



**REVISTA**  
**Congreso de Ciencia y Tecnología**

**MEMORIAS**  
**SESIONES TÉCNICAS**

**Junio 2018**

Ciencias de la Vida y de la Agricultura - Ciencias de la Tierra y Construcción  
Energía y Mecánica - Eléctrica y Electrónica  
Ciencias de la Computación - Ciencias Económicas, Administrativas y Comercio -  
Ciencias Humanas y Sociales - Ciencias Exactas  
Seguridad y Defensa - Ingeniería Automotriz- Ingeniería Petroquímica

**Volumen 13**

# ***Equipo Editorial***

## **Editor General**

*Diego Arcos Avilés*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

## **Editores/as de Sección**

*Jorge Ron Román*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Pablo Ramos*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Aída Bedón*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*José Bucheli*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Débora Simón-Baile*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*María Emilia Medina*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Byron Andrés Guerrero*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Kléver Antonio Bravo*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Edison Lascano*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Thelvia Ramos*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*David Rivas*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Sergio Castillo*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Oscar Bladimir Arteaga López*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Eduardo David Luna Ortiz*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Diego Marcillo*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Graciela Guerrero*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Giovanni Herrera*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Segundo Cargua*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

*Xavier Sánchez*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

## **Edición**

*Diego Arcos Avilés, Isabel Llumiquinga, Jonathan Cellere, Carlos Moncayo, Víctor Zambrano*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

# **Revisores**

<i>Aída Bedón</i>	<i>Darwin Aguilar</i>	<i>Graciela Guerrero</i>
<i>Alfonso Tierra</i>	<i>Darwin Alulema</i>	<i>Hugo Bonifaz</i>
<i>Alexander Ibarra</i>	<i>Débora Simón-Baile</i>	<i>Isabel Pazmiño</i>
<i>Amparo Martínez</i>	<i>Derlin Morocho</i>	<i>Izar Sinde González</i>
<i>Ana Haro Báez</i>	<i>Diego Villamarín</i>	<i>Jacqueline Arroyo</i>
<i>Ana Guamán</i>	<i>Eddy Castillo</i>	<i>Jaime Villacís</i>
<i>Angélica Contreras</i>	<i>Edison Lascano</i>	<i>Jorge Ron</i>
<i>Angie Fernández</i>	<i>Eduardo Gutierrez</i>	<i>José Albuja</i>
<i>Arturo De La Torre</i>	<i>Eduardo Kirby</i>	<i>Juan Giacometti</i>
<i>Blanca Naranjo</i>	<i>Eduardo Luna</i>	<i>Juan Ortiz</i>
<i>Borys Culqui</i>	<i>Emilio Basantes</i>	<i>Juan Rocha</i>
<i>Byron Guerrero</i>	<i>Enrique Morales</i>	<i>Julio Pazmiño</i>
<i>Byron Omar</i>	<i>Enrique Carrera</i>	<i>Karina Cela</i>
<i>Carina Stael Muñoz</i>	<i>Erika Murgueitio</i>	<i>Kervin Chunga</i>
<i>Carlos Noceda</i>	<i>Estevan Gómez</i>	<i>Kléver Bravo</i>
<i>Carlos Ponce</i>	<i>Euro Mena</i>	<i>Lenin Abatta</i>
<i>Carlos Prócel</i>	<i>Fabian Rodriguez</i>	<i>Leonardo Goyos</i>
<i>Cesar Leiva</i>	<i>Fausto Ludeña</i>	<i>Lourdes Ponce</i>
<i>César Villacís</i>	<i>Fernando Olmedo</i>	<i>Luis Carrión</i>
<i>Christian Narvárez</i>	<i>Flavio Pineda</i>	<i>Luis Escobar</i>
<i>Cristian Molina-Quinteros</i>	<i>Freddy Tapia</i>	<i>Luis Simbaña</i>
<i>Cristian Moncayo</i>	<i>Gabriel Larrea</i>	<i>Luis Trujillo</i>
<i>Cristina Vinueza</i>	<i>Gabriel Orozco</i>	<i>Magda Cejas</i>
<i>Danny Zambrano</i>	<i>Ginella Jácome</i>	<i>Manolo Paredes</i>
<i>Darío Bolaños</i>	<i>Giovanni Herrera</i>	<i>Marco Flores</i>

<i>Marco Masabanda</i>	<i>Oswaldo Padilla</i>	<i>Rodolfo Fernando</i>
<i>María Cárdenas</i>	<i>Pablo Araujo</i>	<i>Rodrigo Fonseca</i>
<i>María Medina</i>	<i>Pablo Caiza</i>	<i>Román Lara</i>
<i>Mariela Vera</i>	<i>Pablo Landázuri</i>	<i>Sandra Arla</i>
<i>Mario Almache</i>	<i>Pablo Ramos</i>	<i>Sang Guun Yoo</i>
<i>Mario Cruz D´Howitt</i>	<i>Patricio Romero</i>	<i>Santiago Castellanos</i>
<i>Martha Vargas</i>	<i>Patricio Quezada</i>	<i>Sergio Castillo</i>
<i>Maurizio Mulas</i>	<i>Patricio Riofrío</i>	<i>Tatiana Gualotuña</i>
<i>Miguel Flores</i>	<i>Patricio Vizcaino</i>	<i>Theofilos Toulkeridis</i>
<i>Nancy Paredes</i>	<i>Paúl Bernal</i>	<i>Víctor Andrade</i>
<i>Neptali Echeverria</i>	<i>Paul Díaz</i>	<i>Víctor Zambrano</i>
<i>Nikolai Espinosa</i>	<i>Paulina Guevara</i>	<i>Washington Erazo</i>
<i>Oliva Atiaga</i>	<i>Pedro Rachid Romero</i>	<i>Wilmer Pozo</i>
<i>Omar Flor</i>	<i>Ramiro Delgado</i>	<i>Xavier Sánchez</i>
<i>Oscar Arteaga</i>	<i>Raúl Pro Zambrano</i>	
<i>Oswaldo Díaz</i>	<i>Ricardo Pachacama</i>	

# ***Tabla de contenidos***

## *Ciencias de la Vida*

***Chairs: María Emilia Medina, Jorge Ron Roman, Thelvia Ramos***

1. **Diseño estadístico para evaluar el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas**

*Juan Carlos De la Vega Quintero, Ignacio Angós Iturgaiz, Mairett Rodriguez Balza,  
Wilfre Machado* *Pág. 1-4*

# Ciencias de la Tierra y Construcción

**Chairs: Débora Simón-Baile**

- 1. Análisis de la presencia de islas de calor en el Cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landsat 7 ETM+**  
*Jenny Lisseth Jami Aymacaña, María Belén Mora Paspuezán, Oswaldo Padilla Almeida, Eduardo Patricio Kirby Powney* *Pág. 5-8*
- 2. Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación in situ en comunas del volcán Ilaló**  
*Iván Fernando Palacios Orejuela, Dennis Paúl Ushiña Huera, David Vinicio Carrera Villacrés* *Pág. 9-12*
- 3. Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos mediante redes neuronales en la avenida Simón Bolívar**  
*Cristian Andrés Betancourt, Andrea Castro* *Pág. 13-16*
- 4. Comportamiento histerético del acero de refuerzo longitudinal en elementos de borde de muros estructurales de hormigón armado**  
*Jessica Sarango, Ana Gabriela Haro* *Pág. 17-20*
- 5. Ubicación potencial de los recursos minerales en zonas de posible extensión de la plataforma continental ecuatoriana**  
*Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Isabel García, Karla Tituana, Andrea Suárez, Carolina Rivas* *Pág. 21-24*
- 6. Caracterización de la geoforma submarina Galera durante el proceso de extensión de plataforma continental ecuatoriana**  
*Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Karla Tituana, Isabel García, Carolina Rivas, Andrea Suárez* *Pág. 25-28*
- 7. Compilación y análisis de data batimétrica relevante previo a la determinación de la plataforma continental jurídica del Ecuador**  
*Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Karla Tituana, Isabel García, Carolina Rivas, Andrea Suárez* *Pág. 29-32*
- 8. Vulnerabilidad de estructuras en base a los periodos de vibración**  
*Andrea Cevallos, Angie Burbano, Ronny Moreano, Pablo Caiza Sánchez* *Pág. 33-36*

**9. Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone**

*David Carrera Villacrés, Edgar Guerrón Varela, Leidy Cajas Morales, Tania González Farinango, Érika Guamán Pineda, Paul Adrián Velarde Salazar Pág. 37-40*

# Energía y Mecánica

**Chairs: Byron Guerrero, Xavier Sánchez**

1. **Evaluación en Ruta de las Emisiones Vehiculares en Frío a 2850 msnm con Oxigenación de Gasolina a Base de Etanol**  
*Edison Wilmer Calero, Helmer Edison Campoverde, Edilberto Llanes Cedeño, Santiago Celi, Diana Peralta, Juan Carlos Rocha* *Pág. 41-44*
2. **Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo implementado por el método de triangulación espacial**  
*David Del Castillo Vivanco, David Cesar Loza Matovelle, Byron Hernán Cortez Pazmiño, Víctor Erazo* *Pág. 45-48*
3. **“Tecnologías creativas” Formación de habilidades y conocimientos relacionadas a las plataformas Scratch y Arduino en los niños y jóvenes de la comunidad urbano marginal del Distrito Metropolitano de Quito**  
*Carlos Francisco Terneus Páez, Johanna Belén Tobar Quevedo, David Cesar Loza Matovelle, Fernando Naranjo Herrera* *Pág. 49-52*
4. **Incremento de dureza y resistencia al desgaste de un acero al manganeso para la industria minera**  
*Lorena Córdova Morales, Julio Villavicencio Cevallos* *Pág. 53-56*
5. **Aceros inoxidables dúplex sometidos a tratamiento térmico de normalizado**  
*L. Sáenz, J. Chávez, R. González, A. Corona, Z. Tineo* *Pág. 57-60*
6. **Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (Ochroma Pyramidale) Ecuatoriana**  
*Carla Nathaly Villacís Núñez, Germán Moncayo, Christian Narváez Muñoz, Jorge Gabriel Melo* *Pág. 61-64*
7. **Effect of organic solvents in morphology and mechanical properties of electrospun polyvinylpyrrolidone fibers**  
*Carla Nathaly Villacís Núñez, Diego Narváez, Christian Narváez, Karla Vizquete, Carlos Arroyo* *Pág. 65-68*
8. **Análisis de desgaste para el fresado de muestras de aluminio AA 7075-T6**  
*Byron Hernán Cortez Pazmiño, Augusto Coque* *Pág. 69-72*

9. **Diseño y Construcción de una plataforma de robot móvil teleoperada a bajo costo para interiores**  
*Andrés Gaona, David Loza, Byron Cortez, Luis Segura* *Pág. 73-76*
  
10. **Desinfección bacteriana de aguas residuales utilizando cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi**  
*Esteban Lafuente Flores, Héctor López Cevallos* *Pág. 77-80*
  
11. **Capacidad de carga estática de una viga armada tipo I con soldadura intermitente en la unión alma-patín**  
*Carlos Naranjo-Guatemala, Xavier Espinosa, María Alcívar Vaca* *Pág. 81-84*
  
12. **Usos de la Sangre de drago (Croton Lechleri Müll) en apósitos para heridas crónicas obtenidos mediante la técnica de Electrospinning**  
*Gabriel Melo, Carla Nathaly Villacís Núñez, Karla Vizuite, Carlos Arroyo, Christian Narváez* *Pág. 85-88*
  
13. **Estrategia de mecanizado óptima en operaciones de fresado 3D en superficies inclinadas, con alta velocidad de corte (HSM) en el aluminio 7075 T6**  
*Xavier Vaca, Borys Hernan Culqui* *Pág. 89-92*
  
14. **Electrospinning de fibras submicrométricas de Fibroína de seda con Sangre de drago (Croton Lechleri Müll) para la producción de apósitos**  
*Gabriel Melo, Carla Nathaly Villacís Núñez, Karla Vizuite, Carlos Arroyo, Christian Narváez* *Pág. 93-96*
  
15. **Análisis de la reproducibilidad y repetitividad en ensayos reológicos I suspensiones de óxido de silicio y etilenglicol**  
*Carla Nathaly Villacís Núñez, Luis Fernando Naranjo Herrera, Reinaldo Delgado García, Francisco Rubio Hernández, Nicolás Páez Flor, Gabriel Melo* *Pág. 97-100*
  
16. **The Effect of Machining on Surface Integrity of AISI 1018**  
*Carlos Diaz, Carlos Vila Pastor, César Ayabaca, Orlando Calle* *Pág. 101-104*

# *Eléctrica y Electrónica*

*Chairs: Pablo Ramos*

1. Circuitos integrados fotónicos para la generación de frecuencias ópticas (OFCG)  
*Vinicio Fabián Corral Carrera, Guillermo Carpintero* *Pág. 105-108*
2. Tamaño óptimo de la ventana en un filtro de media móvil para RSSI: mejorando la estimación de la distancia con Bluetooth  
*Diego Ordóñez-Camacho, Estevan Gómez, Héctor Ávalos* *Pág. 109-112*
3. 3D ray launching simulation of urban vehicle to infrastructure radio propagation links  
*Fausto Lenin Granda, Leyre Azpilicueta, Darwin Aguilar, Cesar Vargas* *Pág. 113-116*
4. Implementación del caster experimental para la distribución de medidas de GPS en tiempo real a través de NTRIP  
*Mónica Zabala* *Pág. 117-120*

# Ciencias de la Computación

**Chairs: Edison Lascano, Graciela Guerrero, Diego Marcillo**

1. **Red neuronal para clasificación de riesgo en cooperativas de ahorro y crédito**  
*Mario Patricio Peña, José Miguel Orellana* *Pág. 121-124*
2. **Minería de datos para descubrir tendencias en la clasificación de los trabajos de titulación**  
*Silvia Haro, Rubén Pazmiño, Miguel Conde, Francisco Peñalvo* *Pág. 125-128*
3. **Técnicas de programación segura para mitigar vulnerabilidades en aplicaciones web**  
*Joffre Monar, Danilo Pastor, Gloria Arcos, Mayra Oñate* *Pág. 129-132*
4. **El ciudadano digital y redes sociales en época electoral: Aprendizajes y desafíos en Ecuador**  
*Héctor Revelo, Walter Fuertes* *Pág. 133-136*
5. **Métodos de agrupamiento LA & SIA: Comparación computacional**  
*Mauricio Naranjo, Rubén Pazmiño, Miguel Conde, Francisco Peñalvo* *Pág. 137-140*

# Ciencias Administrativas

**Chairs: Giovanni Herrera, Segundo Cargua**

1. **Un modelo de simulación para una pyme acorde a dinámica de sistemas**  
*Hernán Samaniego* *Pág. 141-144*
2. **Análisis de las actitudes de los estudiantes de ciencias exactas de la Universidad de Guadalajara ante el emprendimiento de empresas**  
*Angélica Contreras Cueva, Olga Gonzáles, Fernando Carrillo* *Pág. 145-148*
3. **Análisis distribucional de riesgo de los atractivos turísticos, por el lahar sur del volcán Cotopaxi**  
*Wilson Fonseca, Klever Muñoz, Milton Sampetro, Matius Mendoza, Alejandra Rodas, David Almeida, Marcela Almeida* *Pág. 149-152*
4. **Análisis correlacional entre el nivel de ingresos y los canales de comercialización de los artesanos del Cantón Gualaceo que utilizan la técnica Ikat**  
*Gabriela Amoroso, María Calle, Rosario Campoverde, Mónica Rosales* *Pág. 153-156*
5. **Filosofía Lean y Gerencia de Operaciones: El caso de las empresas de Ambato, Ecuador**  
*Yanet Ortega, Sergio Vaca* *Pág. 157-160*
6. **Gastronomía tradicional: la cocina de los páramos, la sazón del chagra del cantón Mejía**  
*Cristina Nasimba, Joffre Guanoluisa* *Pág. 161-163*

# Ciencias Humanas

**Chairs: Aída Bedón**

1. **Uso de una aplicación social como complemento a la enseñanza del francés como lengua extranjera**  
*Alicia Marie Ramos* *Pág. 164-167*
2. **Breve estudio académico de las Escuelas Iwias, soldados nativos de la Amazonía ecuatoriana**  
*Kléver Bravo, Ana Elizabeth Cobos, Fanny Cevallos* *Pág. 168-169*
3. **Modelo de formación en educación ambiental y turística para el desarrollo del ecoturismo sustentable en la comuna ancestral de indígenas pasto la libertad, provincia del Carchi**  
*Jesús Aranguren, Lenin Burbano* *Pág. 170-173*
4. **Desarrollo de competencias investigativas en los estudios de Postgrado**  
*Ítala María Paredes, Lourdes Yépez* *Pág. 174-177*
5. **Competencia tecnológica pedagógica del contenido en el área de Lengua y Literatura**  
*Fabiola Cando, Ivon Tituaña, Bernardo Cando, Yessica Lema* *Pág. 178-181*
6. **Ecuador: Educación e inclusión social de los niños de 1 a 3 años, periodo 1995-2015**  
*Pablo Esparza, Karina Fonzeca Naranjo* *Pág. 182-184*
7. **Evaluación cuantitativa de patrones de aprendizaje presencial y en línea, de un curso de CAD 2D, utilizando ANOVA**  
*Hernán Jácome Paneluisa, Wellington Ernesto Valdivieso, Alexander Omar Baldeón Andrade, Walter Marcelo Fuertes Díaz* *Pág. 185-188*
8. **Desafíos de la educación cultural y artística en los niveles de educación obligatoria de Ecuador**  
*Campo Chandi Pulles, Alexei Calispa, María del Carmen Vinueza* *Pág. 189-192*

# Ingeniería Petroquímica

**Chairs: Jose Bucheli, Eduardo Luna Ortiz**

1. Evaluación de inhibidores de hidratos en sistemas a presión atmosférica y alta presión  
*Marvin Ricaurte, Oswaldo Castillo, Darío Vilorio* *Pág. 193-196*
2. Algas marinas: una biomasa subutilizada como fuente de precursores petroquímicos  
*Jessenia López, Eduardo Vyhmeister, Roman Rodríguez* *Pág. 197-200*
3. Síntesis de un polímero biodegradable, como alternativa a los polímeros sintéticos  
*Johana Troya, Roman Rodríguez, Daniela Calvache* *Pág. 201-204*
4. Determinación de propiedades térmicas de aceites esenciales  
*Daniela Calvache, Roman Rodríguez, Johana Troya* *Pág. 205-207*
5. Desarrollo de bioplásticos a partir de tortas residuales y gomas naturales  
*Jonathan Sayavedra, Roman Rodríguez* *Pág. 208-211*
6. Producción de ácidos orgánicos y alginato de sodio a partir de tratamientos hidrotermales empleando agua de mar  
*Jonatan Gordón, Eduardo Vyhmeister, Roman Rodríguez* *Pág. 212-215*
7. Aplicación de la química verde para la obtención de bases lubricantes  
*Roman Rodríguez, David Luna, Jonathan André Álvarez* *Pág. 216-219*

# Diseño estadístico para evaluar el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas

Juan C. De la Vega-Quintero<sup>a</sup>, Ignacio Angos<sup>b</sup>, Mairett Y. Rodríguez-Balza<sup>c</sup>, Wilfre S. Machado T.<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte. GIDIBAN- Grupo de

<sup>b</sup>Investigación en Desarrollo e Innovación Bioalimentaria y Nutraceutica, Universidad Técnica de Ambato

<sup>c</sup>Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CUICYT), Universidad Técnica del Norte

<sup>d</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra – Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Ibarra – Ecuador.

jcdeavega@utn.edu.ec, ia.angos@uta.edu.ec, mayrodba@gmail.com, wilfre.machado@gmail.com

**Resumen**—Se desarrolló la ruta metodológica para estudios que evalúan el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas. Para ello se empleó el diagrama de flujo de la ANSI, describiendo detalladamente cada paso, estableciendo una guía específica para los investigadores interesados en realizar estudios en esta área de investigación con un diseño estadístico claro, confiable y preciso.

**Palabras Claves**—Efecto inhibitor, diseño estadístico, tasa de respiración.

**Abstract**—The methodological route was developed for studies that evaluate the inhibitory effect of CO<sub>2</sub> on the respiration rate of fruits and vegetables. For this purpose, the ANSI flow diagram was used, describing each step in detail, establishing a detailed guide for researchers interested in performing Studies in this area of research with a clear, reliable and accurate statistical design.

**Keywords**—Inhibitory effect, statistical design, respiration rate.

## I. INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas poseen procesos fisiológicos y bioquímicos que continúan luego de su cosecha. Estos procesos están estrechamente ligados con su senescencia luego de ser cosechados, afectando características como el color, la textura, el olor, el sabor, su composición entre otras. El enfoque de los ingenieros asociados a los alimentos siempre ha sido el incrementar el tiempo en el que esta acción de senescencia ocurre. Para ello se han desarrollado numerosos métodos de conservación que van desde procesos convencionales como reducción de temperatura o adición de sal al alimento, hasta procesos complejos como irradiación, o atmósferas controladas [1].

Uno de los procesos fisiológicos que están relacionados con la degradación de la fruta u hortaliza es la tasa de respiración, esta se define como la cantidad de gas que es capaz de producir (CO<sub>2</sub>) o consumir (O<sub>2</sub>) una determinada cantidad de fruta durante un intervalo de tiempo. Las frutas respiran ya que los procesos enzimáticos que ocurren luego de la cosecha, generan dióxido de carbono a partir de la reacción entre compuestos presentes en la fruta y oxígeno. Pero se conoce que altas tasas de respiración reducen su tiempo de vida útil, es así que se han desarrollado alternativas que puedan minimizar la tasa de respiración; entre las más relevantes está el empleo de atmósferas controladas, cuyo principio es reducir la concentración del

oxígeno y aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> que compone la atmósfera en la cual está almacenada la fruta [2]. Este último compuesto en muchos casos también genera un efecto inhibitor en el aumento de la tasa de respiración de productos vegetales sometidos a procesado [3], [4] y [5].

En principio, la reducción del O<sub>2</sub> disminuiría la tasa de respiración de la fruta dado el hecho que no existe oxígeno suficiente, sin embargo, reducir la concentración de O<sub>2</sub> a valores cercanos a cero también es contraproducente, ya que en estas condiciones se generan procesos anaeróbicos en la fruta que inducen a la aceleración de su deterioro. Por lo que es necesario no sólo evaluar la concentración de oxígeno sino también la concentración de dióxido de carbono presente en la atmósfera de almacenamiento para limitar la tasa de respiración de la fruta. Pero no todas las frutas poseen el mismo comportamiento y por ende su tasa de respiración es distinta a diferentes condiciones [2], así como su posible comportamiento ante concentraciones bajas de oxígeno y concentraciones altas de dióxido de carbono. La forma de conocer si el dióxido de carbono efectivamente posee un efecto inhibitor en la tasa de respiración del alimento es descartando su presencia en la atmósfera de almacenamiento para poder observar si reduce o no la tasa de respiración a lo largo del tiempo.

Este tipo de estudios es de gran relevancia en el campo de la conservación de alimentos, para lo cual se requiere una ruta metodológica clara y procedimientos de experimentación adecuados que permitan a investigadores del área alcanzar los resultados esperados de manera más eficiente y confiable. Es por ello que en este artículo se desarrolla el esquema metodológico para evaluar el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas. Generalmente en la metodología de este tipo de investigaciones se enfatiza el procedimiento experimental, subestimando u obviando las herramientas estadísticas apropiadas. En la literatura internacional, son cada vez más frecuentes los estudios sobre el adecuado uso de las herramientas estadísticas que permitan realizar investigaciones con mayor eficacia, tanto en el análisis de resultados como en la transferencia de los mismos [6], [7], [8], [9] y [10]. En la siguiente sección se ofrecen detalles de la metodología propuesta.

## II. MÉTODO

Autores como Grimes y Schulz [11], Correa y Núñez

[12], Dawson y Trapp [13] y Dawson [14] han empleado flujogramas, algoritmos o diagramas para decidir sobre la prueba estadística más apropiada.

En este artículo, se propone la descripción de la ruta metodológica de investigación para coadyuvar de manera efectiva al logro del objetivo planteado, empleando el diagrama de flujo estándar de la ANSI, con énfasis en: el diseño de investigación, diseño estadístico, alcance, variable respuesta y criterios de decisión sobre las pruebas estadísticas apropiadas para el análisis de datos.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Fig. 1 se puede apreciar el diagrama de flujo del diseño estadístico para evaluar el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas. La descripción de cada uno de los pasos del diagrama, se muestra en la Tabla I.

TABLA I

DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS DEL DIAGRAMA DE FLUJO PARA EVALUAR EL EFECTO INHIBIDOR DEL CO<sub>2</sub> SOBRE LA TASA DE RESPIRACIÓN DE FRUTAS Y HORTALIZAS

Paso	Descripción
1. Definir el objetivo de investigación	Es un enunciado que expresa lo que se desea indagar y conocer para responder a un problema planteado [20]. Para el caso de estudio el objetivo de investigación planteado es evaluar el efecto inhibitor del CO <sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas. La hipótesis de trabajo, es una afirmación que efectúa el investigador en la que expresa su posición u opinión sobre los posibles resultados de la investigación o potenciales soluciones al problema de investigación, con base en su conocimiento, experiencia e investigaciones previas. La Hipótesis de trabajo planteada para el caso de estudio es si el CO <sub>2</sub> genera un efecto inhibitor sobre la tasa de respiración de las frutas y hortalizas.
2. Plantear la hipótesis de trabajo	En general se confunde la hipótesis de trabajo con la hipótesis estadística; esta última se refiere a las afirmaciones sobre uno o más parámetros de una o más poblaciones de interés (paramétrica), o a alguna forma funcional no conocida de la distribución de interés a partir de la cual se obtiene una muestra (no paramétrica). La esencia de probar una hipótesis estadística es el decidir si la afirmación se apoya en la evidencia experimental obtenida mediante una muestra aleatoria. En la hipótesis estadística es en la que se debe definir una hipótesis nula H <sub>0</sub> (hipótesis de "no efecto", negación del aspecto que se desea probar) y una hipótesis alternativa H <sub>1</sub> , que refleje el valor posible o intervalo de valores si H <sub>0</sub> es falsa [22] y [21].
3. ¿El investigador modifica condiciones para generar una respuesta?	Permite identificar si el diseño de investigación es de tipo experimental o no experimental.
4. Diseño de investigación no experimental	Cuando la recolección de datos es directamente donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar alguna variable, el experimentador no altera las condiciones. No es el caso del presente estudio. El investigador manipula variables, por lo que modifica condiciones durante el experimento.
5. Diseño de investigación experimental	Diseño plausible para el logro del objetivo de la presente investigación, pues se evalúa el efecto de la presencia del CO <sub>2</sub> .
6. ¿Hay aleatorización?	Se refiere a si es posible efectuar la asignación de los tratamientos a las unidades experimentales por medio de un procedimiento aleatorio.
7. Diseño estadístico: pre experimental o experimental	Se ejerce poco o ningún control de las condiciones en las que se lleva a cabo el estudio. No es posible conformar unidades experimentales similares, ni realizar aleatorización.

8. Diseño estadístico: experimento puro

9. Alcance explicativo o causal

10. Ensayo en blanco para definir la unidad experimental

11. Condiciones de experimentación

12. ¿Se requiere el control de factores no pertinentes?

13. Dos o más factores no pertinentes

Es posible conformar unidades experimentales relativamente similares para garantizar que las diferencias entre tratamientos se deban al efecto de los mismos y no a algún otro factor atribuible a la heterogeneidad entre unidades experimentales (principio fundamental de la experimentación).

Esta investigación se llevará a cabo en condiciones de laboratorio, en las cuales es posible minimizar el efecto de factores perturbadores y por tanto es posible constituir unidades experimentales con bajos niveles de heterogeneidad. De allí que el diseño estadístico seleccionado es el Diseño Experimental.

Según Arias [20], las investigaciones de tipo explicativo permiten relacionar los hechos de un experimento mediante la correspondencia causa efecto a través de la prueba de la hipótesis. Los resultados y conclusiones de este tipo de alcance constituyen el nivel más profundo de conocimientos.

Para este trabajo de investigación, el diseño de investigación experimental seleccionado (3), permite un alcance explicativo, ya que se pretende revelar el efecto que genera la acumulación de CO<sub>2</sub> en el ambiente de almacenamiento de las frutas y hortalizas.

La unidad experimental es la entidad física independiente que es expuesta al tratamiento [18]. Las unidades experimentales heterogéneas producen valores grandes en la varianza del error experimental. El tamaño adecuado, reduce significativamente el impacto de fuentes de variación no deseables [19]. Como se carece de la información previa sobre el tamaño de unidad experimental para investigaciones como la que se pretende realizar, se debe desarrollar un ensayo en blanco con diferentes masas de la fruta de estudio, siempre y cuando puedan ser contenidas en el espacio del envase que se utilizará para garantizar la hermeticidad. Se aconseja emplear envases de vidrio ya que evitan que la atmósfera se contamine con los gases externos y genera inocuidad durante el período de estudio. Debe asegurarse que exista espacio libre suficiente para realizar las tomas de muestras gaseosas, ya que, si se satura el envase con la fruta, el experimento no generará los resultados esperados.

Las condiciones de experimentación determinarán en el siguiente paso la identificación de factores perturbadores y la necesidad o no de efectuar control de los mismos.

En función de cumplir con el objetivo de estudio, se utilizará fruta u hortaliza con similar índice de madurez, ubicándola en un sistema cerrado e impermeable, con posibilidad de muestreo de la atmósfera interna sin afectar la impermeabilidad. La temperatura debe mantenerse estable; además, se requiere establecer un método que asegure la absorción selectiva del CO<sub>2</sub>, lo cual se alcanza por medio de envases impermeables con la presencia de un absorbedor o reactivo (por ejemplo, KOH).

Con base en la experiencia en el área de investigación, se debe tener conocimiento y verificar la presencia o no de posibles factores perturbadores bajo las condiciones de experimentación. Estos factores son aquellos que pudiesen incidir en los resultados. Suelen clasificarse en factores controlables (los niveles pueden ser ajustados por el investigador), no controlables o de ruido (si se pueden medir, se puede emplear el análisis de covarianza para compensar este efecto o tratar de fijar el factor para el experimento) [19].

En función del número de factores a controlar puede ser: diseño en bloques al azar (d.b.a.), diseño cuadrado latino (d.c.l.), diseño greco latino (d.g.l.) u otro.

14. Un factor <b>no pertinente</b>	Con base en las condiciones de experimentación, no se identifican factores no pertinentes a controlar. Por esta razón se seleccionó un diseño completamente aleatorizado (d.c.a.), es el más sencillo de los diseños de experimentos, en el cual los tratamientos se asignan al azar a las unidades experimentales; cada unidad experimental tiene la misma posibilidad de recibir cualquier tratamiento [18].
15. ¿Hay más de un factor <b>pertinente</b> ?	Se define la cantidad de factores de interés a evaluar en el experimento. Factores pertinentes, también conocido como factores potenciales del diseño, son aquellos que el investigador pueda hacer variar en el experimento y de cuyo efecto se tiene interés en la investigación [19].
16. Dos o más factores <b>pertinentes</b>	Diseño de tratamientos factoriales. Un factor es un grupo específico de tratamientos. Las diversas categorías de un factor se denomina niveles del factor [18].
17. Un factor <b>pertinente</b>	Experimento de factor único. En el caso de estudio, el CO <sub>2</sub> es el factor cuyo efecto se desea evaluar. Para ello, se emplearán dos tratamientos, uno con el reactivo o absorbedor y el segundo en ausencia de este.
18. Variable respuesta	Tasa de respiración en ml.kg-1.h-1. Esta variable es cuantitativa, medida en escala de proporción. Calculada a partir de las concentraciones de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> , en la atmósfera de la unidad experimental a través de la ecuación indicada por Angós, Fernández y Vírseda [3]. El equipo a emplear para analizar estos gases es el MAPY 4.0 LE SP O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> Zr con ± 0.5% de precisión, también se puede utilizar equipos tipo MAP (Modified Atmosphere packaging) [15], [16] y [17].
19. ¿Se cumplen los supuestos del análisis de varianza?	Se aplican las pruebas correspondientes para verificar el cumplimiento de los supuestos del análisis de varianza: independencia, normalidad, homogeneidad de la varianza de los errores y aditividad de los efectos del modelo. Si no se cumplen los supuestos del análisis de varianza aún con la aplicación de transformación de los datos, se aplica la prueba no paramétrica de Kruskal y Wallis. Esta técnica prueba la hipótesis nula de que las k muestras provienen de la misma población o de poblaciones idénticas con la misma mediana [21]. Si se evidencian diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, se debe emplear una prueba no paramétrica de comparaciones múltiples, que permite determinar a cuál grupo asignar las diferencias detectadas por la prueba de Kruskal y Wallis. Si se cumplen los supuestos del análisis de varianza, se aplica esta prueba y un procedimiento complementario de comparación de medias si es necesario.
20. Kruskal-Wallis	El análisis de varianza es un procedimiento estadístico, que consiste en la separación de varianzas de un conjunto de observaciones explicadas por un modelo subyacente, con el objetivo de hacer estimación y pruebas de hipótesis.
21. Análisis de la varianza	Con base en 20 ó 21, se realiza la discusión de resultados considerando el estado del arte, verificando el cumplimiento o no de la hipótesis de trabajo, emitiendo las conclusiones correspondientes.
22. Interpretación de resultados y conclusiones	

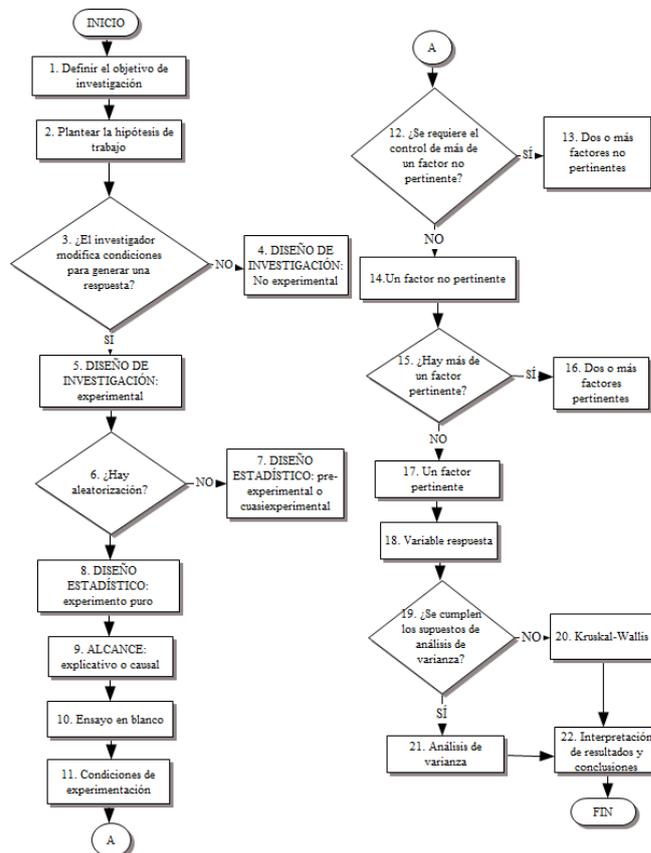


Fig. 1. Diagrama de flujo para evaluar el efecto inhibitor del CO<sub>2</sub> sobre la tasa de respiración de frutas y hortalizas.

#### IV. CONCLUSIONES

El esquema metodológico desarrollado en el presente artículos puede guiar a los investigadores del área y facilitar la toma de decisiones especialmente en el diseño estadístico.

El mayor énfasis del esquema planteado es para investigaciones con experimentos puros, cuyo alcance es explicativo.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Pinto, M. Cañarejo y J. De la Vega, "Utilización del método de conservación bajo Atmósferas Controladas en Frutas y Hortalizas", *Agroindustrial Science*, vol. 6, pp. 231-238, 2016.
- [2] J. De la Vega, N. Pinto y M. Cañarejo, "Avances en tecnología de Atmósferas Controladas y sus Aplicaciones en la Industria. Una Revisión". *Información Tecnológica*, vol. 28, no. 3, pp. 75-86, 2017.
- [3] I. A. Angós, T. Fernández, y P. Vírseda, Efecto de diversas atmósferas modificadas en la tasa respiratoria de patata mínimamente procesada (cv. Monalisa) en condiciones de refrigeración. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, vol. 209, pp. 70-75, 2006.
- [4] I. Angós, P. Vírseda y T. Fernández, "Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> atmospheres". *Postharvest Biology and Technology*, vol 48, pp. 422-430, 2008.
- [5] Angós, I. A., Leránoz, P., Fernández, T. y Vírseda, P. Efecto del CO<sub>2</sub> en la respiración y propiedades físicas de patatas mínimamente procesadas, conservadas en atmósferas con baja concentración de oxígeno. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, vol. 216, pp. 62-68, 2006
- [6] M. Rodríguez, W. Machado e I. Paredes, "Diseño de muestreo con fines de investigación en educación: una experiencia de formación en posgrado". En I Congreso Latinoamericano de Investigación y Postgrado, Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú. Agosto 2017.
- [7] W. Machado y M. Rodríguez, "Criterios para la selección y aplicación de herramientas estadísticas en la investigación educativa". En I Congreso Latinoamericano de Investigación y Postgrado, Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú. Agosto 2017.

- [8] J. Gil. "La estadística en la investigación educativa". *Revista de Investigación Educativa*, vol. 21, no. 1, pp. 231-248, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://revistas.um.es/rie/article/viewFile/99191/94791> [Accedido: 18-abr-2018]
- [9] P. Arteaga, C. Batanero, J.M. Contreras, y G. Cañadas, "Evaluación de errores en la construcción de gráficos. Estadísticos elementales por futuros profesores". *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, vol. 19, no. 1, pp.15- 40, 2016. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-24362016000100015](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-24362016000100015). [Accedido: 19-abr-2018]. DOI: 10.12802/relime.13.
- [10] D. A. Díaz, C. G. Aguayo y C. I. Cortés, Enseñanza de la estadística mediante proyectos y su relación con teorías de aprendizaje. *Revista Premisa*, vol. 16, no. 62, pp. 16 – 23, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://funes.uniandes.edu.co/6154/> [Accedido: 15-abr-2018]
- [11] D. Grimes y K. Schulz, "An overview of clinical research: the lay of the land". *The Lancet*, vol. 359, pp. 57-61, 2002.
- [12] G. Correa y L. Nuñez, "Propuesta pedagógica para mejorar la capacidad de análisis estadísticos autónomos en estudiantes de Odontología de la Universidad de Talca". en XI Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística, XLI Jornadas Nacionales de Estadística, XLII Coloquio Argentino de Estadística. Universidad de la Serena, La Serena, Chile, 2014, pp.35.
- [13] B. Dawson y R. Trapp, *Bioestadística médica*. México: El Manual Moderno, S.A. de C.V., 1997.
- [14] Gail F. Dawson, MD, MS, FAAEP, *Interpretación fácil de la Bioestadística, la conexión entre la evidencia y las decisiones médicas*. España: Elsevier, 2009.
- [15] E. Torrieri, N. Perone, S. Cavella y P. Masi, "Modelling the respiration rate of minimally processed broccoli (*Brassica rapa* var. *sylvestris*) for modified atmosphere package design", *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 25, pp. 2186-2193, 2010.
- [16] O. Caleb, P. Mahajan, U. Opara y C. Witthuhn, "Modelling the respiration rate of pomegranate fruit and arils", *Postharvest Biology and Technology*, vol. 64, pp. 49-54, 2012.
- [17] J. Reales y J. Zapata, "Modelado de la velocidad de respiración del mango cv. Vallenato en un sistema cerrado", *Agronomía*, vol. 22, no. 2, pp. 71-82, 2014.
- [18] R. Kuehl, *Diseño de experimentos, Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. México: Thomson Editores, S.A. de C.V., 2001.
- [19] D. Montgomery, *Diseño y análisis de experimento*. México: Editorial Limusa S.A. de C.V., 2004.
- [20] F. Arias, *El Proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica*. Venezuela: Editorial Episteme, C.A., 2012.
- [21] S. Siegel y N. Castellan, *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. México: Editorial Trillas, 1995.
- [22] G. Canavos, *Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos*. México: McGraw-Hill/Interamericana de México S.A. de C.V., 1988

# Análisis de la presencia de islas de calor en el Cantón Rumiñahui mediante el tratamiento de imágenes Landsat 7 ETM+

Lisseth Jami, María Belén Mora, Oswaldo Padilla, Eduardo Kirby

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE/Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción/Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente/ Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador

liseth\_dic@hotmail.com, mabelenmorap@gmail.com, ovpadilla@espe.edu.ec, epkirby@espe.edu.ec

**Resumen**—Se considera que en los últimos años la temperatura superficial ha aumentado, este fenómeno puede deberse al cambio de uso de suelo, crecimiento de zonas urbanas y densidad poblacional dando lugar a fenómenos térmicos tales como las islas de calor. Mediante el uso de sensores remotos con banda térmica, es posible determinar las variaciones de temperatura superficial, su extensión e intensidad. El cantón Rumiñahui se encuentra ubicado en Ecuador, en la provincia de Pichincha, en el valle de Los Chillos, donde los asentamientos en las zonas urbanas ha ido en aumento en los últimos años, es por ello que se hace necesario el análisis de temperatura superficial además de su relación con otros factores tales como vegetación, agua y construcciones para determinar si estos son incidentes en la variación de la misma. Para ello se utilizaron dos imágenes Landsat 7 ETM+ la primera correspondiente al año 2001 y la segunda al año 2016 a partir de las cuales se determinó temperatura superficial e índices tales como NDVI (Índice Diferencial Normalizado de Vegetación), NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua), NDBI (Índice Diferencial Normalizado de Construcciones) para establecer si existe una relación entre ellos mediante un análisis de correlación de variables obteniéndose que estos factores presentan una fuerte correlación con valores que varían entre 0,6 a 0,9. Finalmente, se determinó que las zonas con mayor temperatura se encuentran en el centro de la ciudad de Sangolquí y San Rafael.

**Palabras Claves**—Agua, construcción, índices, temperatura, vegetación.

**Abstract**—The superficial temperature is a phenomenon that in recent years, has increased considerably as well as the growth of urban areas and population density, all these factors lead to a number of climatic changes including the increase in surface temperature. Through the use of remote sensors with thermal band, it is possible to determine the variations in the surface temperature patterns, their extension and intensity. Rumiñahui canton is located in Ecuador, in the province of Pichincha, where settlements in urban areas has been increasing in recent years, which is why it is necessary to analyze surface temperature in addition to its relationship with other factors such as vegetation, water and buildings to determine if these are incidents in the variation thereof. To do this, two Landsat 7 ETM + images were used, the first corresponding to 2001 and the second to 2016, from which surface temperature was determined and indexes such as NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), NDWI (Normalized Differential Water Index), NDBI (Normalized Differential Building Index) to establish if there is a relationship between them by means of a correlation analysis of variables, obtaining that these factors present a strong correlation with values that vary between 0.6 to 0.9. Finally, it was determined that the zones with the highest temperature are in the center of the city of Sangolquí and San Rafael.

**Keywords**— water, building, index, temperature, vegetation.

## I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización y cambio de uso del suelo son constantes, lo que trae una serie de problemas relacionados con el cambio climático, siendo uno de estos, el fenómeno de islas de calor. [1]

En los últimos años, el análisis de islas térmicas ha tomado interés de organizaciones enfocadas a estudios ambientales, de la misma manera organismos como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC [2] y la Organización Mundial de Meteorología [3] analiza el incremento en la ocurrencia de olas de calor que puede estar vinculada a efectos de cambio climático.

Para el estudio de estas islas de calor, es necesario una red completa de estaciones hidroclimáticas, radiómetros y sondeos verticales atmosféricos [4], lo cual implica un alto costo de adquisición y mantenimiento de los mismos, por lo que el uso de sensores remotos y la aplicación de técnicas de percepción remota se ha convertido en una opción viable [5].

El impacto ambiental al darse el fenómeno de islas de calor es evidente, ya que puede aumentar el uso de sistemas de climatización, lo que involucraría la calidad del aire por la huella de carbono asociada al uso de electricidad y por los contaminantes emanados y, e implicaría en el bienestar de la población que habita en el sector como en la salud.

Existen estudios realizados del fenómeno de islas de calor en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca para los cuales se aplicaron diferentes técnicas, de cualquier forma se llegó a conclusiones similares en cuanto a la influencia de áreas urbanas en la temperatura superficial, sin embargo nuestra área de estudio presenta condiciones climáticas específicas por situarse en un valle andino; por lo que el desarrollo de esta investigación contribuye a tener una referencia adicional en la presencia de islas de calor en las zonas que se encuentren ubicadas en valles andinos.

En el cantón Rumiñahui hay un notable crecimiento urbanístico, también se puede encontrar vegetación a lo largo de todo el sector. Por ello, el objetivo de este trabajo es calcular la temperatura superficial para determinar las islas de calor e índices como Diferenciado de Vegetación Normalizada (NDVI) con el fin de realzar las áreas con mayor vigor vegetal, Diferenciado de Construcción Normalizada (NDBI) con el que se identifica qué tan sensible es el área urbanizada en la zona de estudio y Diferenciado de Agua Normalizada (NDWI) que permite

identificar la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo [5]. Para ello, se trabajó con dos imágenes Landsat 7 ETM+ correspondientes a octubre de 2001 y noviembre de 2016 con resolución espacial de 60m de la zona de estudio para así determinar si existe cambio en la cobertura del suelo ya sea de aumento o disminución de vegetación, agua y construcciones, y si los índices mencionados tienen influencia en la presencia de islas de calor mediante un análisis de correlación.

## II. MÉTODO

Las islas de calor se definen como la diferencia de temperatura existente entre espacios urbanos ocupados por un número considerable de construcciones y sus alrededores, la identificación de estas islas se basa en el cálculo de la temperatura superficial. [1]

### A. Cálculo de Temperatura Superficial

Se seleccionaron dos imágenes LANDSAT 7 ETM+, que corresponden a octubre del año 2001 y noviembre del año 2016, la cuales al ser de nivel L1, ya incorporan correcciones geométricas razón por lo cual se llevó a un proceso de corrección radiométrica.

Los valores de temperatura superficial se obtienen de la banda 6 del infrarrojo térmico (10,44 – 12,42  $\mu\text{m}$ ) en modo de alta ganancia (6-2 high gain), que tiene una resolución espacial de 60m. Para ello es necesario convertir los números digitales de la banda térmica en radiancia espectral en el techo de la atmósfera ( $L_{TOA}$ ) mediante (1) dada por [6]:

$$L_{TOA} = \tau \cdot \varepsilon \cdot L_T + L_U + \tau \cdot (1 - \varepsilon) \cdot L_d \quad (1)$$

donde  $\tau$  es la transmisividad atmosférica,  $L_T$  es la banda de radiancias calibradas,  $\varepsilon$  es la emisividad,  $L_U$  y  $L_d$  son las radiancias ascendente y descendente,  $L_{TOA}$  es determinado por la radiancia espectral en el techo de la atmósfera.

Entre los parámetros que se requieren para la corrección atmosférica se encuentran: emisividad, la cual se estableció a partir de las tablas propuestas por [7] según el tipo de cobertura y; los restantes parámetros como transmisividad, radiancia ascendente y descendente se la obtuvo de la plataforma de la NASA [8].

Mediante las constantes de calibración térmica de Landsat 7 ETM+ obtenidas de los metadatos de la imagen, se transforma los valores de radiancia de la banda térmica a temperatura de brillo ( $T_b$ ), mediante (2) dada por [9]:

$$T_b = \frac{K_1}{\ln\left(\frac{K_2}{L} + 1\right)} \quad (2)$$

donde  $L$  es el valor de radiancia [ $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ ],  $K_1$  y  $K_2$  son constantes de calibración [ $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr } \mu\text{m})$ ],  $T_b$  es determinado por la temperatura de brillo [K] del área en cuestión.

A continuación se calcula la temperatura superficial para la cual se tuvo en cuenta la corrección de la emisividad espectral. Esta se calculó mediante el uso de (3) dada por [9]:

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda \cdot T_b}{\rho}\right) \cdot \ln(\varepsilon)} \quad (3)$$

donde  $\lambda$  es el centro de longitud de onda [ $\mu\text{m}$ ], la constante  $\rho = 13608.6956$  [ $\mu\text{m}/\text{K}$ ],  $T_s$  es determinada por la temperatura superficial [K] del área.

### B. Cálculo de Índices

Para realizar el cálculo de los índices fue necesario realizar una corrección radiométrica de reflectancias a las imágenes.

#### 1) NDVI

El Índice Diferenciado de Vegetación Normalizada (NDVI), es un cociente empleado para discriminar masas vegetales, calculado mediante (4) dada por [10]:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (4)$$

donde  $NIR$  es la banda infrarrojo cercano,  $R$  es la banda de visible rojo,  $NDVI$  es determinado por el índice diferenciado de vegetación normalizada del área en cuestión.

#### 2) NDWI

El índice diferenciado de agua normalizada (NDWI) se utiliza como una medida de la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo, calculado mediante (5) dada por [11].

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR_1}{NIR + SWIR_1} \quad (5)$$

donde  $SWIR_1$  es la banda del infrarrojo de onda corta,  $NDWI$  es determinado por el índice diferenciado de agua normalizada del área en cuestión.

#### 3) NDBI

El índice diferenciado de construcciones normalizado (NDBI) es ideal para mapear áreas urbanas ya que estas se destacan de los demás elementos de la imagen satelital, se calculó mediante el uso de (6) dada por [12].

$$NDBI = \frac{SWIR_2 - NIR}{SWIR_1 + NIR} \quad (6)$$

donde  $SWIR_2$  es la banda del infrarrojo de onda corta,  $NDBI$  es determinado por el índice diferenciado de construcciones normalizado del área en cuestión.

### C. Análisis Estadístico

Como parte de estudio se realizó un análisis de correlación entre las variables temperatura y los índices obtenidos para determinar si estos influyen en su comportamiento.

Para ello se partió de los datos obtenidos de los diferentes procesos y se analizó si dentro de estos existen valores atípicos que puedan influenciar en los resultados y se procedió a eliminarlos mediante un análisis por cuantiles. Finalmente, se obtuvo el coeficiente de correlación lineal entre las diferentes variables mediante (7) dada por [13].

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{(n - 1) \cdot S_x \cdot S_y} \quad (7)$$

donde  $x$ ,  $y$  representan las variables,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  son las medias de cada variable,  $n$  es el tamaño de la muestra y  $S_x$ ,  $S_y$  son las desviaciones estándar de cada muestra.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### A. Cuantificación Temperatura Superficial

Se evidencia un aumento de temperatura superficial en varias zonas del cantón durante los años tomados para el estudio. En la imagen del año 2016, la isla formada en la parte urbana del cantón Rumiñahui no muestra el patrón clásico concéntrico, ésta presenta un carácter geométrico en la ciudad de Sangolquí y San Rafael, mientras que en las poblaciones de Amaguaña y Cotogchoa de cierta forma si es concéntrica como se muestra en la Fig. 1, las temperaturas oscilan entre 25 y 28°C. Se nota que los espacios densamente ocupados y por ende con poca vegetación tienen una mayor temperatura superficial que las zonas de la periferia urbana.

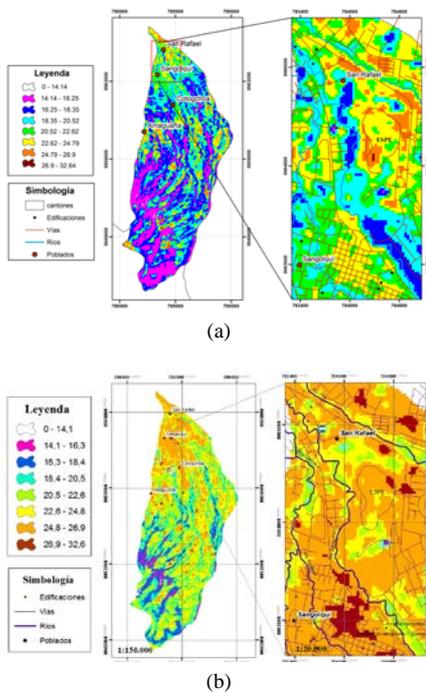


Fig. 1. Temperatura superficial (a) 2001 y (b) 2016

Las áreas con una temperatura relativamente fresca (14-18°C) se han visto disminuidas notablemente, aumentando considerablemente el área de temperaturas altas. Para este estudio se ha considerado como islas de calor a aquellas áreas cuya temperatura sobrepasa los 26°C dando como resultado que estas se hallan en el cantón Rumiñahui en las áreas urbanas de Sangolquí y San Rafael además se encontraron pequeñas islas a lo largo de la parte rural, como se muestra en la Fig. 2 donde se nota la diferencia de islas de calor del año 2001 al 2016.

De la misma manera existen diferencias en cuanto al valor de los índices: en los valores de NDVI de la imagen del año 2001 se encuentra un gran porcentaje de vegetación saludable y en crecimiento, en las zonas urbanas (Sangolquí, Amaguaña, Cotogchoa) se encuentra suelo desnudo con poca vegetación, pero en menor proporción comparado al año 2016 como se muestra en la Fig. 3. En cuanto a los valores de NDWI, existe una mayor presencia de agua en la

imagen del 2001 frente a la del año 2016 mostrado en la Fig. 4, esto es consistente de acuerdo a los valores de vegetación mostrados en ambas imágenes. El NDBI en la imagen del año 2001 es en su mayoría valores bajos, lo que evidencia que existe poca presencia de construcciones mientras que en el año 2016 existe un incremento especialmente en los sectores Sangolquí y San Rafael como se observa en la Fig. 5.

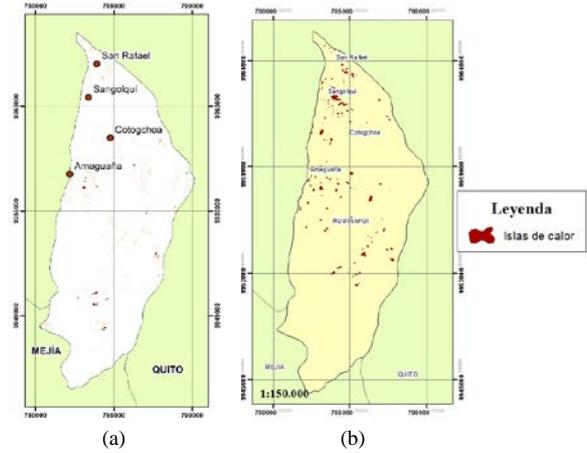


Fig. 2. Islas de calor (a) 2001 y (b) 2016

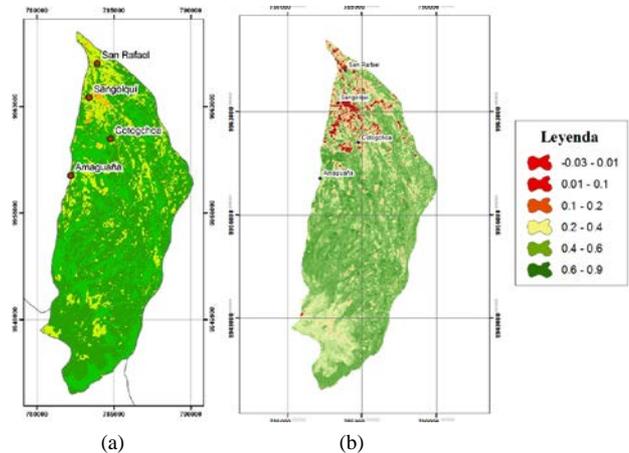


Fig. 3. NDVI: Índice Diferenciado de Vegetación Normalizada (a) 2001 y (b) 2016

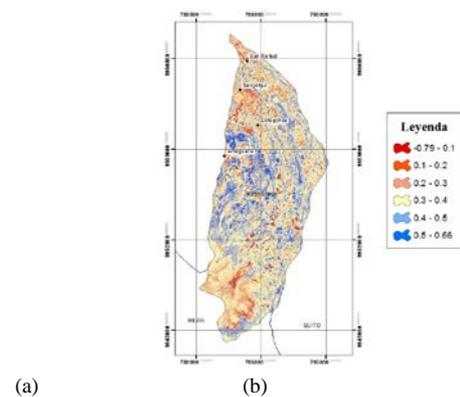


Fig. 4. NDWI: Índice Diferenciado de Agua Normalizada (a) 2001 y (b) 2016

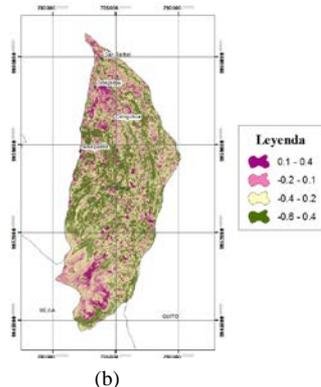


Fig. 5. NDBI: Índice Diferenciado de Construcciones Normalizadas (a) 2001 y (b) 2016

### B. Análisis Estadístico

Con los datos depurados se realizó el análisis de correlación entre las variables temperatura e índices, y su fuerza de correlación se evaluó de acuerdo con los valores establecidos en [14]

En la imagen del año 2001, entre temperatura superficial y NDVI el coeficiente de correlación fue de  $-0,95$ , lo que indica una excelente correlación inversa entre las dos variables, entre temperatura superficial y NDWI la correlación dio un valor de  $-0,67$  lo que indica que existe una correlación regular inversa; por último, entre temperatura superficial y NDBI dio un valor de  $0,68$ , es decir una correlación regular directa.

En cuanto a la imagen del año 2016 la correlación se mostró notablemente más fuerte dando como resultado un coeficiente de correlación de  $-0,92$  entre Temperatura y NDVI. En cuanto de NDWI se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable de  $-0,85$  y con respecto a NDBI se obtuvo un coeficiente de correlación aceptable de  $0,87$ . Las relaciones de proporcionalidad se mantienen iguales que en la imagen del año 2001 entre las variables e índices.

## IV. CONCLUSIONES

La distribución espacial de la temperatura superficial en el Cantón Rumiñahui, indica que existe presencia de islas de calor en los sectores de Sangolquí y San Rafael tanto en el año 2001 como en el año 2016, cabe recalcar que en el año 2001 su porcentaje era  $0,12\%$  equivalente a  $16,7$  Ha mientras que en el año 2016 aumentó al  $0,25\%$  lo que equivale a aproximadamente  $34$  Ha del área total del cantón. El NDVI y NDWI muestran una relación inversa con la temperatura, es decir, mientras la vegetación y agua presentes en el sector sean bajos, mayores temperaturas se encuentran en el mismo. Esta relación de proporcionalidad se muestra estable para las dos fechas tomadas pero en cuanto al NDWI para el año 2016 la correlación se mostró más fuerte. El NDBI tiene relación alta con la temperatura superficial, al aumentar el índice de construcciones la temperatura también incrementa, en el cantón existe aumento del dosel urbano y reducción de vegetación al pasar los años, este es un claro ejemplo del cambio en el uso del suelo. Con la obligatoriedad del desarrollo de planes de desarrollo y ordenamiento territorial para los gobiernos autónomos, el desarrollo de este proyecto aporta como un insumo para el desarrollo de una planificación urbana sostenible del cantón Rumiñahui.

## REFERENCIAS

- [1] M. Moreno y J. Serra, "El estudio de la isla de calor urbana en el ámbito mediterráneo: una revisión bibliográfica," *GeoCritica*, vol. XXI, n° 1.179, 25 Nov. 2016.
- [2] IPCC, "Cambio climático 2007; Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II, III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático," Ginebra, Suiza, 2007.
- [3] OMM, "Statement on the status of the global climate in 2009," Ginebra, Suiza, 2010.
- [4] EPA, "Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies", Environmental Protection Agency, U.S., [Online], Terra, 2009.
- [5] M. Preciado y A. Aldana, "Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de Teledetección.," Manizales-Colombia, 2011.
- [6] J. Barsi, "Validation of a Web-Based Atmospheric Correction Tool for Single Thermal Band Instruments," p. 2, 2005.
- [7] V. Caselles, "Desarrollo de una ecuación operativa para el cartografiado de emisividad," *Teledetección*, pp. 2-5, 2001.
- [8] NASA, 2017. [En línea]. Available: [https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/atm\\_corr/atm\\_corr.pl](https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/atm_corr/atm_corr.pl).
- [9] E. Chuvieco, *Teledetección Ambiental*, Barcelona: Planeta, 2010.
- [10] F. Marini, "Análisis del estado de la vegetación en el área de influencia de la EEA," 2008.
- [11] SNIA, "SNIA," 2016. [En línea]. Available: [http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Monitoreo\\_Agroclimatico/INDI\\_CES\\_VEGETACION/NDWI/](http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Monitoreo_Agroclimatico/INDI_CES_VEGETACION/NDWI/). [Último acceso: 10 5 2017].
- [12] B. Gao, "A normalized difference water index for remote sensing of vegetation," *Remote Sensing of Environment*, pp. 257-266, 1996.
- [13] D. Montgomery, *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*, Wiley, 2006.
- [14] D. Montgomery, *Probabilidad y Estadísticas aplicadas a la Ingeniería*, New York: John Wiley, 2011.
- [15] SNI, "Cifras generales 2010," p. 2, 2010.
- [16] K. Córdova, "Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas," *Urban Climate News*, pp. 15-21, 2011.
- [17] United Nations, "World urbanization prospects," 2009.
- [18] M. E. Sosa, "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico.," Universidad Central de Venezuela, 2004.
- [19] M. Preciado y A. Aldana, "Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección.," Manizales (Colombia), 2011.
- [20] M. Moreno, "Estudio del clima urbano de Barcelona: la «isla de calor»,," 1993.
- [21] C. Carreras y J. Martín, «Modificaciones térmicas en las ciudades. Avances sobre la isla de calor en Barcelona.», *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, vol. 17, pp. 51-77, 1990.
- [22] M. Noro y R. Lazzarin, «Urban heat island in Padua, Italy: simulation analysis and mitigation strategies.», *Urban Climate*, vol. 14, pp. 187-196, 2015.
- [23] I. Stewart, "A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature," *International Journal of Climatology*, vol. 31, n° 2, pp. 200-217, 2011.
- [24] C. Palacios, V. González, S. Zambrano y M. Coello, "La Forma Espacial de la Isla de Calor en la Ciudad de Guayaquil," *Investigatio*, n° 9, p. 93, 2017.

# Identificación de Cangahuas para su recuperación mediante estudio multicriterio y constatación *in situ* en comunas del volcán Ilaló

Iván Palacios-Orejuela<sup>a</sup>, Dennis Ushiña-Huera<sup>a</sup>, David Carrera-Villacrés<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, CIGMA, Grupo de Investigación en Contaminación Ambiental (GICA), Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería Geológica, Minas, Petróleo y Ambiental. FIGEMPA, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador

ifpalacios@espe.edu.ec, dpushiña@espe.edu.ec, dvcarrera@espe.edu.ec

**Resumen**—En la Sierra del Ecuador se ha agravado el problema de erosión del suelo como consecuencia de malas prácticas agrícolas, presencia de fuertes pendientes y su propia composición. Debido al origen volcánico de los suelos andinos es común encontrar cangahuas, tobas endurecidas que al aflorar ocasionan problemas a la agricultura. La falta de nuevas tierras productivas, en conjunto con la expansión agrícola, generan la necesidad de rehabilitar las áreas afectadas para mejorar la calidad de vida de los habitantes y recuperar el paisaje. Un claro ejemplo son las laderas del Volcán Ilaló, cantón Quito, donde la cobertura vegetal y tierras productivas han venido en decremento en las últimas décadas, así nace el proyecto de recuperación de cangahuas para evitar el deterioro del terreno, este consiste en la roturación del suelo para permitir la oxigenación e ingreso de nutrientes y agua, convirtiéndolo en tierra productiva. El objetivo del presente estudio fue encontrar áreas adecuadas para su recuperación y creación de huertos comunales, en las comunas de Angamarca, Alangasí, San Francisco de Baños y La Toglla localizadas a las faldas del volcán Ilaló, mediante la aplicación del Análisis Multicriterio específicamente el método del Proceso Analítico Jerárquico de Thomas Saaty. Para esto fueron identificadas cinco variables geográficas con mayor relevancia: pendiente, hidrografía, vialidad, población y forma del relieve. En las parcelas resultantes se aplicó muestreo aleatorio simple para a través de la construcción de calicatas y perfiles, verificar la presencia de cangahua con espesor de al menos 60 cm. La existencia de parcelas consideradas como óptimas por cumplir las condiciones establecidas para la remediación fue constatada en tres de las comunas, con una profundidad promedio de cangahua mayor al metro y un área total para implementar la remediación de 20.86 ha. Finalmente, se propuso este trabajo como base para posteriores proyectos.

**Palabras Claves**—Análisis multicriterio, cangahua, comunas, muestreo, recuperación.

**Abstract**—The problem of soil erosion has worsened as a result of bad agricultural practices, the presence of steep slopes and its own composition in the highlands of Ecuador. Cangahuas are common to find due to the volcanic origin of Andean soils. When they appear cause serious problems to agriculture production. Because of lack of new productive lands, together with the agricultural expansion, restore affected areas by cangahua formation and soil erosion has become a priority. Recovering soils production is needed to improve the quality of life of the inhabitants and recover the landscape. An example of this is the slopes of the Ilaló Volcano in Quito, where the vegetation and productive land have been decreasing in recent decades. Cangahuas recovery project began in 2017 to prevent land worsening and it involves clearing the soil to allow oxygenation and nutrients and water

go into soils converting it into productive land. The objective of this study was to find suitable areas to recovery cangahua soils degradation and creation of community orchards, in the communes of Angamarca, Alangasí, San Francisco de Baños and La Toglla. These communities are located at the foot of the Ilaló volcano. Recovery areas were selected by application of Multicriteria Analysis, specifically the Analytical Hierarchy Process method by Thomas Saaty. Five geographic variables were identified: slope, hydrography, roads, population and topography. A simple random sampling was applied to pits and soil profiles to verify cangahua soils with a thickness of at least 60 cm. The optimal land parcels that met soils conditions to remediation was found in three of the communities. These communities presented an average over a meter of depth in cangahua. Total area to implement the remediation was 20.86 ha. Finally, this work was proposed as a basis for subsequent projects.

**Keywords**—Cangahua, communities, multicriteria analysis, recovery, sampling.

## I. INTRODUCCIÓN

Mantener los suelos aptos para la agricultura y reducir la erosión son desafíos que afronta actualmente la sierra centro del Ecuador, donde se buscan medios y tecnologías para el máximo aprovechamiento del espacio. Precisamente en esta región, su pasado volcánico ha originado formaciones edafológicas con características físicas y químicas que impiden su labranza. La cangahua, vocablo quichua que significa “tierra dura estéril”, es una formación geológica derivada de los piroclastos del Cuaternario, que se encuentra en la superficie del suelo con un alto grado de endurecimiento [1]. Se las define como suelos volcánicos endurecidos ubicados en la parte septentrional del callejón interandino formados por piroclastos [2]. Vera y López (1992), la describen como una roca blanda y porosa resultante de la diagénesis parcial del material volcánico explosivo fino procedente de flujos piroclásticos la cual es originada por caídas piroclásticas, con tamaño de ceniza < 2mm [3]; definiciones que coinciden con dos grandes naturistas del Ecuador, Woff y Sauer, quienes consideraban a la cangahua como una toba endurecida. Por lo general, las cangahuas se encuentran en los flancos medios y bajos de volcanes, éstas, son capas volcánicas parcialmente alteradas y compactadas tras procesos geológicos y edafológicos, su grosor varía desde los centímetros hasta los metros, de consistencia dura por presencia de carbonatos, silicio,

aluminio y hierro, y falta de precipitación [4]. La penetración del agua es mínima, una simulación demostró que el escurrimiento puede alcanzar hasta un 80% cuando la intensidad de lluvia es de 20 mm/h, lo que la hace susceptible a la erosión hídrica [1]. Desde el punto de vista químico, las cangahuas poseen muy bajo contenido de nitrógeno y materia orgánica (MO) [5], además, los suelos derivados de la cangahua tienen un pH neutro y contienen calcio (9.5 – 14.4 meq/100g) y potasio de intercambio (0.81 – 1.94 meq/100g) [1].

A partir del crecimiento poblacional los agricultores se han visto en la necesidad de expandirse sobre este tipo de subsuelo, es así como un 15% de formaciones de cangahua en el Ecuador son usadas para actividad agrícola [6]. Varios estudios han abordado esta temática, enfocados principalmente en la producción agrícola sobre estos sustratos [7], [8], entre otros. Pese a esto, la información relacionada a las cangahuas en el Ecuador aún es escasa. Cifras obtenidas en estudios anteriores muestran la existencia de aproximadamente 240000 ha., de las cuales 36000 ha., están en la superficie del suelo gracias a la erosión sufrida, y 44000 ha., estarían cubiertas por casi 20 cm de suelo apto para cultivar [9]. En base a lo expuesto, se dice que las cangahuas son un subsuelo infértil y constituyen una problemática para el desarrollo agrícola del sector rural, sin embargo, a través de trabajo manual o con maquinaria es posible cultivar sobre estos con escasos insumos agregados [9]. La recuperación de cangahua implica establecer prácticas de roturación (labranza), que permitan oxigenar la tierra y mejorar la capacidad de suministro de nutrientes al suelo, ya sea por acción humana o natural con sus posteriores labores de conservación para mantener el sustrato [10].

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo fue identificar las parcelas con cangahuas adecuadas para su recuperación y posterior creación de huertas comunales, mediante un estudio multicriterio y constatación *in situ* en comunas del volcán Ilaló, específicamente los asentamientos de Angamarca, Alangasí, San Francisco de Baños y La Toglla.

## II. MÉTODO

### A. Descripción del área de estudio

La zona de estudio correspondió a las parroquias rurales de Alangasí, Guangopolo y La Merced, pertenecientes al cantón Quito, provincia de Pichincha. Dentro de las cuales están localizadas las comunas de Angamarca, Alangasí, San Francisco de Baños y La Toglla, que comprenden una superficie de 29 km<sup>2</sup> [11].

### B. Análisis Multicriterio

Es una herramienta que permite comparar múltiples variables entre ellas para facilitar la toma de decisiones sobre un objetivo planteado [12]. Dentro del Análisis Multicriterio se encuentra el método denominado Proceso Analítico Jerárquico, AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dado por Thomas Saaty, el cual realiza una comparación por pares de los criterios a partir de una matriz  $n \times n$  [13]. Posterior a esta comparación, se establecen los pesos, los cuales proporcionan una medida cuantitativa de los juicios

de valor.

Se trabajó con cinco variables principales para la determinación de las zonas óptimas. La variable “Pendiente” debe ser menor al 25% para permitir el ingreso de maquinaria pesada; la facilidad de acceso a las parcelas está dada por la cercanía a la variable “Vías”. La variable “Población área” se tomó en cuenta para no interferir en zonas pobladas, mientras con “Forma del relieve” se estableció la presencia o ausencia de zonas protegidas, agrícolas o semejantes, y con “Ríos y drenajes” se verificó que no existieran estos accidentes geográficos dentro de la zona de interés. La información base se obtuvo a partir de datos en formato .shp a escala 1:25000 y un modelo digital de elevación (DEM) a escala 1:5000.

Una vez establecidas las variables, se ponderó cada una de las mismas, las que, con mayor influencia al momento de tomar la decisión fueron puntuadas con valores más altos. Para ello se utilizó la matriz de Saaty, cuyos valores se encuentra en un rango de 1 a 9, donde 1 es “igual importancia” y 9 es “extremadamente importante” [14]; se puede delimitar los valores máximos y mínimos en función del número de variables, por lo cual se tomó valores entre 1 y 5, con el mismo significado.

Para dar el peso real en función de la importancia de las variables a relacionar, se utilizó el software IDRISI 17.0, al interior del cual fue ingresada la matriz en la herramienta WEIGHT – AHP. Los pesos resultantes al aplicar la metodología de Saaty se observan en la Fig. 1:

The eigenvector of weights is :

rios	: 0.0667
vias	: 0.1998
poblado	: 0.1335
pendiente	: 0.2665
relieve	: 0.3335

Consistency ratio = 0.00  
Consistency is acceptable.

Fig. 1. Pesos de las variables mediante Saaty con IDRISI 17.0

Una vez calculados los pesos se procedió a hallar las zonas adecuadas para la recuperación de cangahua con ayuda del software ArcGis 10.2. Las capas que contenían a las variables “Ríos y drenajes” y “Vías” se añadió un área de influencia mediante buffers de 20 y 100 metros respectivamente. La capa de “Pendientes” fue calculada a partir del DEM de la zona de estudio y se tomó únicamente las pendientes con una inclinación de hasta 25%. En tanto, a las capas de “Poblados área” y “Forma de relieve” no se aplicó ningún buffer. Los archivos fueron transformados de formato vector (.shp) a ráster (.tif) para reclasificar los píxeles en valores de 0 y 1.

Mediante álgebra de mapas de las coberturas reclasificadas se obtuvieron las parcelas que cumplen con las condiciones dadas. A manera de ejemplo se presentan los polígonos obtenidos de la Comuna de Alangasí en la Fig. 2.

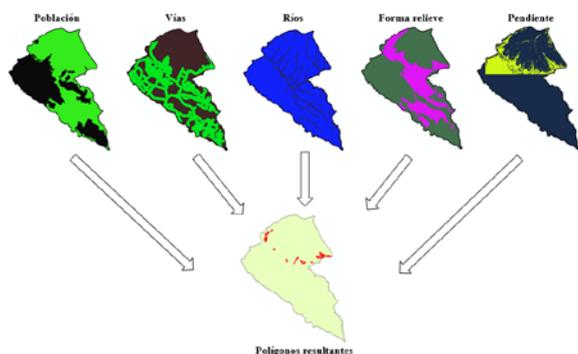


Fig. 2. Álgebra de mapas para la obtención de polígonos finales

### C. Muestreo del suelo

Debido a la escasa información acerca de la población, que, para casos de este estudio fue el desconocimiento de la distribución de la cangahua en el terreno, se eligió un muestreo aleatorio simple, mismo que basado en estadística de probabilidad permite estudiar poblaciones relativamente pequeñas y homogéneas [15].

Antes del muestreo, se realizó una visita de campo exploratoria de las parcelas determinadas en la sección II-B, con la ayuda de los comuneros para seleccionar aquellas parcelas localizadas dentro de los límites de las comunas (límites no muy claros) y que presenten a su vez, las mejores condiciones para el trabajo en cada comuna. Como ejemplo, en la Alangasí, de las 16 parcelas obtenidas, únicamente se ubicaron 3 parcelas útiles, las cuales se pueden observar en la Fig. 3:



Fig. 3. Parcelas dentro de la Comuna de Alangasí

A través de un GPS navegador Garmin Etrex 20, se tomó las coordenadas de los límites de los terrenos seleccionados al interior de las parcelas, en los cuales se trazó una grilla de 3x3 metros sobre el mismo. Según lo establecido en la Norma ecuatoriana de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, se hizo un muestreo aleatorio en el que se escogió un cuadrante para aplicar nuevamente un muestreo aleatorio simple con polígonos de 1x1m<sup>2</sup>. Dentro del cuadrante seleccionado y en base al TULSMA, se cavó una calicata con una profundidad mínima de 60 cm, para observar los horizontes y la profundidad a la que se encontraba la cangahua desde la superficie.

Además, se realizaron varios perfiles, con ayuda de cunetas y zanjas ya existentes en la zona, que tenían alturas de hasta 3 m. Se procedió a limpiar y cavar la pared de los perfiles para observar el material sin alteración y realizar el mismo análisis de profundidad y cambio de horizonte en el suelo, efectuado en las calicatas. Finalmente, se recolectó muestras de suelos de todos los puntos escogidos para el estudio, con un total de 5 en cada comuna, de acuerdo con el TULSMA, libro VI y Anexo 2.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis multicriterio determinó para la comuna de Alangasí un total de 3 polígonos óptimos para su intervención, en los que se realizó 2 calicatas (70 cm de profundidad) y 3 perfiles con una profundidad de 2.10 m, donde el horizonte visible fue en su mayoría cangahua de color café claro amarillento y textura arcillosa. Para efectos de este trabajo, era necesaria una profundidad mínima de 60 cm., que permita el uso de maquinaria pesada.

En promedio la profundidad de la cangahua fue de 1.12 m, además, se consideró un posible cuarto lote en el cual se visualizó la presencia de cangahua y se propuso como opción adicional. En la Tabla I se presentan los polígonos resultantes para esta comuna. El área total que se obtuvo de terreno apto para la recuperación fue de 1.02 ha., y si se considera la parcela opcional, el área de trabajo aumenta a 1.58 ha.

TABLA I  
ÁREA DE LAS PARCELAS

Parcela	Propietario	Área (m <sup>2</sup> )
1	Comuna	2931.68
2	Comunero	4183.91
3	Comunero	5566.61
4	Comunero	3133.02

Para las tres comunas restantes se determinaron 4 parcelas en cada una. Las áreas totales y el espesor promedio de la cangahua (EPC) para Angamarca y San Francisco de Baños se muestran en la Tabla II. Los ocho polígonos de estas comunas se ubican en terrenos de propiedad comunal con cangahuas a florante y subaflorante, de iguales características físicas a las de la comuna de Alangasí.

TABLA II  
RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS COMUNAS

	Angamarca	San Francisco de Baños
Calicatas	3	5
Perfiles	2	0
EPC (m)	1	1.2
Área total (ha)	16.24	3.05

En La Toglla, no se halló cangahua cerca de la superficie en ninguno de los cuatro polígonos, mediante las 2 calicatas y 3 perfiles realizados, se determinó como horizonte predominante al A, es decir suelo con contenido de MO, cuyo espesor promedio fue de 1 m. Sin embargo, se constató el deterioro de los mismos por las condiciones adversas que afectan a toda el área de las laderas del volcán y propensos a la erosión. El área total de los cuatro polígonos en La Toglla fue de 3.63 ha.

De acuerdo al trabajo de campo realizado, se determinó que la tipología de cangahua predominante en el estudio, según la clasificación dada por Vera y López (1992), correspondió al tipo primario de flujo de ceniza, debido a su color café amarillento, presencia de MO (>1%), bimodal de arena a limo, con presencia de líticos de pómez [3], lo que coincide con trabajos anteriores [16].

Finalmente, en las comunas estudiadas fueron construidas 12 calicatas y 8 perfiles, en los cuales se verificó la presencia de cangahua para las comunas de Alangasí, Angamarca y San Francisco de Baños con una extensión de

20.86 ha., donde Angamarca fue la comuna con la mayor área (16.23 ha.).

#### IV. CONCLUSIONES

A través del estudio multicriterio realizado en base a cinco variables y al muestreo aplicado se definieron al menos cuatro parcelas óptimas para la recuperación de cangahuas y la creación de huertos de uso comunal, dentro de las comunas de Alangasí, Angamarca y San Francisco de Baños. En la comuna La Toggla, se determinó que las parcelas aún poseen un adecuado horizonte agrícola, por lo que no es necesaria una roturación, pero si es indispensable el implementar prácticas agrícolas que mejoren sus características y protejan el recurso suelo de la erosión. La cangahua en su mayoría se encuentra aflorante con una profundidad promedio de 1.12 m, lo que permitirá llevar a cabo la roturación del suelo con uso de maquinaria sin problemas de encontrarse con roca madre. Pese a la presencia de cangahuas en gran parte de las comunas, las principales limitaciones son las pendientes pronunciadas y el difícil acceso, para estas áreas es posible realizar una recuperación sin el uso de maquinaria pesada. Finalmente, se propuso este trabajo como base para posteriores proyectos.

#### REFERENCIAS

- [1] E. Custode, G. De Noni, G. Trujillo y M. Viennot, "La cangahua en el Ecuador: caracterización morfo-edafológica y comportamiento frente a la erosión The cangahua in Ecuador: morpho-edaphologic characterization and susceptibility to erosion," *Terra*, vol. 10, pp. 332–346, 1992.
- [2] C. Zebrowski, "Los suelos con cangahua en el Ecuador." *Memorias del III Simposio Internacional sobre Suelos volcánicos endurecidos*, pp. 128–137, 1997.
- [3] R. Vera y R. López, "Tipología de la cangahua," *Terra*, vol. 10, pp. 113–119, 1992.
- [4] J. Hidrobo, M. Da Costa, C. Prat, G. Trujillo, J. Moreno y C. Ortega, "Sistemas de producción en áreas con cangahua habilitada en la Sierra Norte del Ecuador," *Siembra*, vol. 2, pp. 116–127, 2015.
- [5] C. Prat, R. Duponnois y S. Caquineau, "CANGAHUAS. Recuperación agrícola participativa de suelos erosionados de la sierra ecuatoriana," 2013. [En línea]. Available: <http://www.ecuador.ird.fr/actividades/proyectos-de-investigacion/agricultura/cangahuas.-recuperacion-agricola-participativa-de-suelos-erosionados-de-la-sierra-ecuatoriana>.
- [6] P. Podwojewski y N. Germain, "Short-term effects of management on the soil structure in a deep tilled hardened volcanic-ash soil (cangahua) in Ecuador," *European Journal of Soil Science*, vol. 56, pp. 39–51, 2004. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2004.00638.x
- [7] D. Benítez y H. Navarro, "Rendimiento de maíz-frijol en un tepetate en el segundo año de rehabilitación agrícola," *Memorias del III Simposio Internacional sobre Suelos volcánicos endurecidos*, pp. 279–286, 1996.
- [8] M. Da Costa, "Etude exploratoire des modes de mise en valeur agroécologiques en terrains de cangahua habilités dans le nord de la sierra équatorienne, canton de Cayambe," *Memoire de fin de curs. Istom-CTI-UCE.*, p. 83, 2014.
- [9] C. Zebrowski y A. Vicuña, "El cultivo de la cangahua en el medio campesino tradicional en el Ecuador," *Memorias del III Simposio Internacional sobre Suelos volcánicos endurecidos*, pp. 472–481, 1996.
- [10] C. Castillo, "Evaluación de tres fuentes de materia orgánica (Champiñonaza, Bovinaza y Lombrihumus) en la habilitación de cangahua tipo C," Tesis de grado: Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015.
- [11] Gobierno de Pichincha, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Alangasí 2012-2025," 2012. [En línea]. Available: [http://www.pichincha.gob.ec/phocodownload/leytransparencia/literal\\_k/ppot/dmq/ppdot\\_alangasi.pdf](http://www.pichincha.gob.ec/phocodownload/leytransparencia/literal_k/ppot/dmq/ppdot_alangasi.pdf).

- [12] J. Moreno, J. Aguarón, F. Cano y M. Ecobar, "Validez, robustez y estabilidad en decisión multicriterio. Análisis de sensibilidad en el proceso analítico jerárquico," *Rev. R. Acad. Cien. Exact. Fis. Nat.*, vol. 92, n° 4, pp. 387–397, 1998.
- [13] M. Ramírez, "El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del Chaco," *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste*, Corrientes, Argentina, 2004.
- [14] J. Osorio y J. Orejuela, "El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación," *Scientia Et Technica*, vol. 14, n° 39, pp. 247–252, 2008.
- [15] Z. Lozano, "Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos," *Venesuelos*, vol. 14, n° 1, pp. 70–79, 2006.
- [16] J. Valverde, J. Fernández, E. Jiménez, T. Vaca y F. Alarcón, "Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito metropolitano de la ciudad de Quito," 2001. [En línea]. Available: <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51554.pdf>.

# Evaluación de susceptibilidad a deslizamientos mediante redes neuronales en la avenida Simón Bolívar

Andrés Betancourt, Andrea Castro

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
andresbetancourt\_10@hotmail.com, andreacastro0996@gmail.com

**Resumen**—Dentro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) los deslizamientos de tierra se han presentado como una de las amenazas naturales más frecuentes, generalmente en zonas de carácter antrópico, como es el caso de la red vial, generando un impacto al transporte, a la economía y sobre todo a la seguridad ciudadana. Por tal motivo, el siguiente estudio busca brindar soporte en la evaluación de susceptibilidad a deslizamientos para el territorio aledaño a la Avenida Simón Bolívar, una de las zonas más afectadas por este fenómeno. El análisis se desarrolla en torno a la metodología de Redes Neuronales Artificiales (RNA), en el cual se desarrolló un modelamiento en función de los deslizamientos previos registrados, correlacionándolos con los factores influyentes sobre el fenómeno que son presentados como variables independientes (pendiente, precipitación, cobertura vegetal, distancia a fallas geológicas, ríos y red vial), mismos que fueron normalizados, ponderados y clasificados de acuerdo al nivel de deslizamiento (alto, medio y bajo). El mapa de susceptibilidad para esta metodología resultó del entrenamiento y validación de una red Perceptrón Multicapa, la cual se probó con distintas capas ocultas cada una con su respectivo número de neuronas obteniendo como conclusión que la red que más se adapta a los datos es aquella de dos capas ocultas con 19 y 7 neuronas respectivamente. Las parroquias que presentaron una alta susceptibilidad a deslizamientos son La Ferroviaria, Cumbayá y Llano Chico.

**Palabras Claves**—Deslizamiento, perceptrón multicapa, RNA.

**Abstract**—Landslides are one the most frequent threats in the Metropolitan District of Quito (MDQ). They generally occur in anthropic areas such as the road network, which affects the transport, the economy, but above all, the citizen security. Therefore, this study aims at offering support to the susceptibility evaluation to landslides nearby the Simon Bolivar Avenue, a very affected area, regarding to this phenomenon. The analysis was carried out using Neuronal Network Artificial Methodology (NNA) which developed a modeling focused on the previous landslides registered, connecting them with influential factors on the phenomenon as independent variables (slope, precipitation, vegetation coverage, distance to geological faults, rivers and road network). They were standardized, weighted and classified according to the level of landslide threat (high, medium and low). The susceptibility mapping for this methodology came out from the training and validation of a Multi-layer Perceptron Network which was tested with different layers hidden each with its corresponding number of neurons. As a conclusion, the most adaptable network to the data is the one that has two hidden lawyers with 19 and 7 neurons respectively. The areas that showed a high susceptibility to landslides are La Ferroviaria, Cumbayá y Llano Chico.

**Keywords**—Landslides, multi-layer perceptron, NNA.

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) a lo largo del tiempo ha sido imprescindible el estudio de la susceptibilidad de riegos, siendo una de las ciudades más grandes y con mayor demografía del Ecuador [1]. Dentro del tópic, el deslizamiento de tierras es de gran influencia e impacto para esta comunidad, no solo por el tema de seguridad urbana sino también por el factor transporte. La Avenida Simón Bolívar es clasificada como la de mayor circulación vehicular en la ciudad, con aproximadamente 74 469 automóviles por día [2], entre octubre del 2016 y mayo del 2017, el DMQ atendió 443 emergencias por deslizamientos [3], USD\$ 14,7 millones de dólares fueron destinados al plan de prevención y respuesta por temporada de lluvias, más de USD\$ 2 millones de dólares del Fondo de Emergencia donde se movilizaron a 1870 funcionarios para atención y prevención de desastres [4], viendo esta problemática se ha planteado modelar las zonas susceptibles a deslizamientos en la Av. Simón Bolívar a través de Redes Neuronales, ya que una vez identificadas dichas zonas se podrán tratar con anticipación y evitar pérdidas humanas y económicas que ha sido recurrente a través de los años.

## II. MÉTODO

La información para la realización de esta investigación, fue un aporte de diferentes instituciones que estudian las diversas variables que influyen en la ocurrencia de deslizamientos, en la Tabla I se detalla el tipo y escala de información utilizada.

TABLA I  
LISTA Y FUENTE DE CADA VARIABLE USADA EN EL ESTUDIO [5]

Capas de datos	Fuente de Información
Inventario de deslizamientos Escala 1:5000	Ortofotos: Ministerio de la Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca; Proyecto Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica SIGTIERRAS y Trabajo en campo
Topografía, Red Hídrica Escala 1:5000	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS)
Precipitación	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)
Red Vial Escala 1:5000	Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP)

Capas de datos	Fuente de Información
Fallas Geológicas	Secretaría del Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
Escala 1:50000	
Litología	
Escala 1:50000	
Cobertura Vegetal	
Escala 1:25000	

### A. Pendiente y Precipitación

Las variables normalizadas de pendiente y precipitación se usaron del proyecto de investigación [5].

### B. Redes Hídricas, Fallas Geológicas, y Redes Viales

Las variables Redes Hídricas, Fallas Geológicas, y Redes Viales se normalizan de acuerdo al valor de la distancia euclidiana, calculada desde cada una de ellas hacia toda el área de estudio, para la normalización (1) se debe considerar que estas variables son inversamente proporcionales, mientras la distancia calculada sea menor, mayor influencia tendrá a la ocurrencia de un deslizamiento de tierras.

$$X' = 1 - \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

donde  $X'$  es el valor normalizado,  $X_{min}$  es el valor mínimo,  $X_{max}$  es el valor máximo y  $X$  es el valor a normalizar.

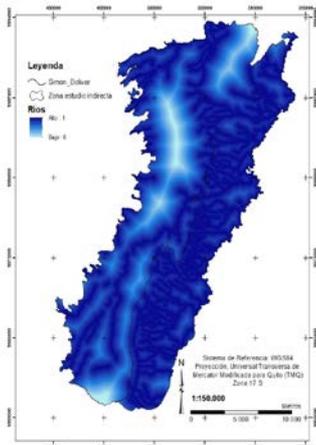


Fig. 1. Mapa de distancia a redes hídricas normalizado

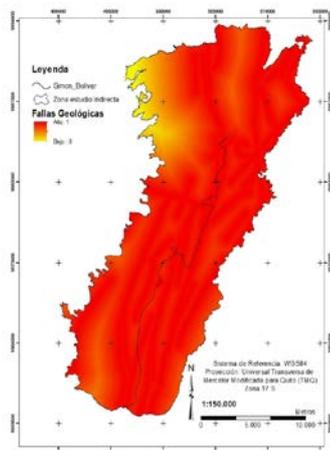


Fig. 2. Mapa de distancia a fallas geológicas normalizado

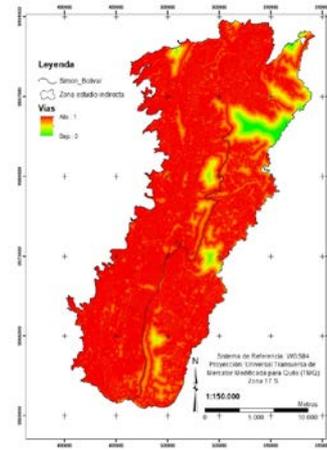


Fig. 3. Mapa de distancia a redes viales normalizado

### C. Cobertura Vegetal y Litología

Estas dos variables fueron ponderadas de acuerdo a estudios similares dentro de la zona de estudio y experiencia en campo [5].

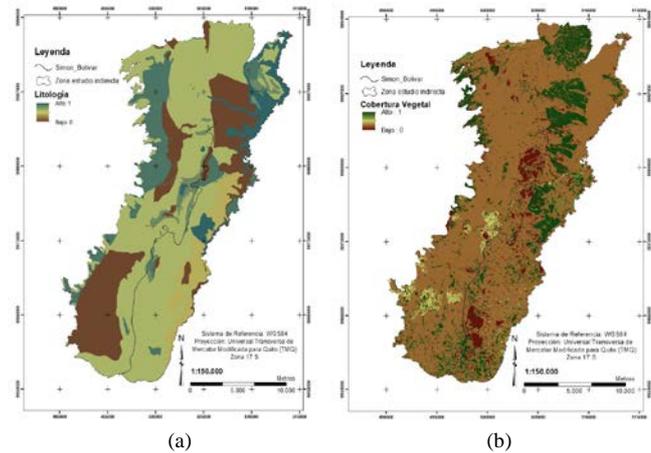


Fig. 4. (a) Mapa de cobertura vegetal ponderado. (b) Mapa de litología ponderado

### D. Entrenamiento de la Red Neuronal

A partir de las variables normalizadas se procede a realizar el entrenamiento de la red neuronal, que en la presente investigación fue por el método *backpropagation* que consta de que cada neurona en una capa está conectada por un peso a una neurona en la siguiente capa [6], para lo cual se dividió a los 100 registros de deslizamientos inventariados en la Avenida Simón Bolívar según su nivel en tres clases: A, B y C que significan Alto, Medio y Bajo respectivamente, de los cuales se utilizaron un 70 % de los datos totales para el entrenamiento de la red neuronal, 15 % para la prueba y 15 % para la validación de la predicción.

Para el entrenamiento de la red se probó algunas estructuras con diversos números de capas ocultas y diferentes cantidades de neuronas en cada una de ellas, hasta llegar a la arquitectura que proporciona el resultado óptimo para los conjuntos de aprendizaje y de test [7], se realizaron algunas pruebas, pero todas dentro de la red Perceptrón Multicapa la cual se entrena utilizando un conjunto de datos de entrada asociados con los valores de salida [8] y siguiendo la función de transición sigmoideal ya que esta se utiliza cuando la clase es cualitativa [9], de los cuales se obtienen el porcentaje de verdaderos positivos, falsos

positivos y uno de los más importantes el denominado “roc área”, el cual muestra la relación entre los dos estadísticos anteriores, a partir de ello se genera una matriz de confusión, que señala las predicciones correctas e incorrectas que presenta la red neuronal.

La primera estructura se basa es una capa oculta con un numero de neuronas igual a 7 con un error mínimo recomendable de 0.3, un avance de la red de 0.2 y con el número de iteraciones en 500, la segunda estructura se basa en dos capas ocultas con un número de neuronas igual a 19 y 7 respectivamente con un error mínimo recomendable de 0.3, un avance de la red de 0.2 y con el número de iteraciones en 500.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados presentan tres aspectos, el primero es el área bajo la curva entre falsos positivos y falsos negativos, el segundo es el error cuadrático medio y el tercero es una matriz de confusión, que se obtiene a través de los datos apartados para realizar la prueba de la red, los que corresponden al 15% del total.

La primera estructura con una sola capa oculta presenta un porcentaje de área bajo la curva de 0.991, un error cuadrático medio de 0.0856 y la matriz de confusión muestra que de los 26 datos que se usó de prueba, solo dos los clasificó en una categoría incorrecta.

En la segunda estructura con dos capas ocultas presenta un porcentaje de área bajo la curva de 1, un error cuadrático medio de 0.0492 y la matriz de confusión muestra que de los 26 datos que se usó de prueba, todos los clasificó de forma correcta.

Para validar cuán efectivo es la predicción, se trabaja con 15 datos apartados que no fueron usados ni en el entrenamiento, ni en la etapa de prueba de la red neuronal, en el cual se obtuvieron resultados de predicción como se observa en la Tabla II.

TABLA II  
COMPARACIÓN DE LOS DATOS DE REGISTRADOS DE DESLIZAMIENTOS INVENTARIADOS EN LA AV. SIMÓN BOLÍVAR (CLASE) CON LOS MODELADOS MEDIANTE LA RED NEURONAL (PREDICCIÓN)

# Punto	Clase	Predicción
Punto 1	Medio	Medio
Punto 2	Bajo	Bajo
Punto 3	Medio	Medio
Punto 4	Bajo	Bajo
Punto 5	Bajo	Bajo
Punto 6	Medio	Medio
Punto 7	Bajo	Medio
Punto 8	Medio	Medio
Punto 9	Bajo	Bajo
Punto 10	Bajo	Bajo
Punto 11	Medio	Medio
Punto 12	Bajo	Bajo
Punto 13	Bajo	Bajo
Punto 14	Alto	Medio
Punto 15	Medio	Medio

Como se puede observar los resultados de la predicción difieren en apenas dos puntos, que corresponden a un 10% de error que presenta el modelo.

En base a la segunda estructura de red, que fue la que mejor predicción tuvo, se puede realizar el modelamiento de las zonas que son propensas a movimientos de tierras.

Dentro del área de estudio, se analizó 80 puntos al azar, de los cuales se determinó de cada uno los valores normalizados que presentan las variables: pendiente, precipitación, redes hídricas, fallas geológicas, redes viales, cobertura vegetal y litología, con lo cual se predice mediante la red neuronal el nivel de susceptibilidad a deslizamientos que pueden presentar dichos puntos.

La predicción espacial se realizó mediante Kriging con los 80 puntos seleccionados, ya que este método de interpolación supera muchas de las deficiencias de los métodos matemáticos de interpolación, debido a que toma en cuenta la forma en que una propiedad varía en el espacio a través del variograma o la función covarianza. [10]

Pero el interés práctico más importante del Kriging es que proviene, no del hecho que asegura la mejor precisión posible, sino más bien porque permite evitar errores sistemáticos. [11]

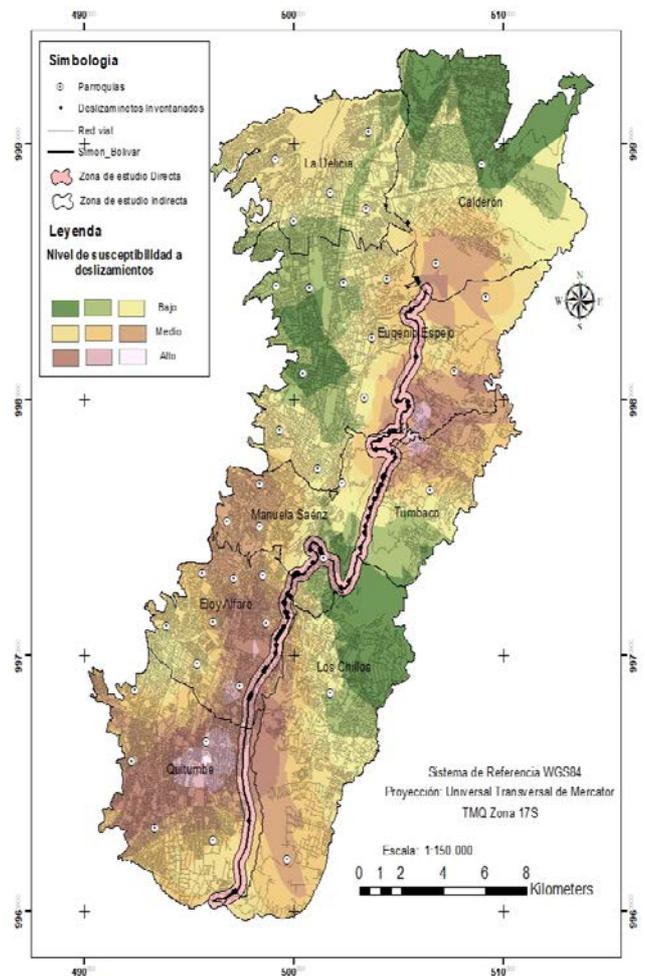


Fig. 5. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos mediante redes neuronales

### IV. CONCLUSIONES

La arquitectura de la red neuronal que más se adaptó al tipo y cantidad de datos presentes en la investigación fue la segunda estructura probada, la cual consta de 19 neuronas en la primera capa y 7 neuronas en la capa oculta con un error cuadrático medio de 0.0492, con la cual se realizó la predicción en toda la zona de estudio que comprende la Av. Simón Bolívar y sus alrededores. Los resultados mostraron que las parroquias con una alta susceptibilidad a

deslizamientos son: La Ferroviaria, Cumbayá y Llano Chico, zonas que reúnen características proclives a la ocurrencia de este tipo de movimiento de tierras. Salcedo et al. (2017) [5] estudiaron también la susceptibilidad a deslizamientos en la Avenida Simón Bolívar, concluyendo que los sectores más críticos se ubican en las parroquias: La Ferroviaria, Puengasí e Itchimbía. Al comparar sus resultados con nuestro trabajo, coincide la parroquia de La Ferroviaria, la cual por sus características confirma una alta probabilidad de que sufra movimientos de tierras. El mapa de susceptibilidad a deslizamientos de la Avenida Simón Bolívar es un gran aporte para las autoridades municipales y personas que pueden verse afectadas por estos movimientos de tierras. Este análisis debe servir para tomar acciones preventivas en zonas que presentan un nivel de susceptibilidad a deslizamientos alto y medio, lo cual serviría para evitar o minimizar pérdidas económicas a futuro y dar tranquilidad a los conductores al momento de transitar por la avenida.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos por la ayuda y colaboración al Ing. Oswaldo Padilla y al Dr. Noel Pérez por habernos brindado sus conocimientos, material didáctico y sobre todo tiempo necesario para la realización e implementación del presente proyecto.

#### REFERENCIAS

- [1] MetroEcuador, "Dos ciudades ecuatorianas, entre las 100 localidades con más tráfico," 08 09 2017. [En línea]. Available: <https://www.metroecuador.com.ec/ec/noticias/2017/09/08/ciudades-ecuatorianas-100-localidades-mas-trafico.html>. [Último acceso: 07 11 2017].
- [2] El Comercio, "La Mariscal Sucre, Segundo Puesto En El 'Top Ten' De Las Más Transitadas De Quito," 06 10 2015. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito-transito-avmariscalsucre-congestion.html>. [Último acceso: 06 11 2017].
- [3] "El Universo," 11 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/06/11/nota/6227731/municipio-quito-destino-mas-15-millones-dolares-epoca-invernal>.
- [4] "El Comercio," 23 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/emergencia-quito-lluvias-clima-mauriciorodas.html>.
- [5] D. Salcedo, O. Padilla, B. Morales y T. Toulkeridis, "Evaluación de susceptibilidad a desplazamientos mediante lógica Fuzzy y técnicas de evaluación multicriterios en la avenida Simón Bolívar, Quito," Quito, 2017.
- [6] Hyun-Joo Oh y Saro Lee, "Shallow Landslide Susceptibility Modeling Using the Data Mining Models Artificial Neural Network and Boosted Tree," *Applied Sciences*, 2017.
- [7] R. Ríos, "Estimación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en el área metropolitana de San Salvador (AMSS) utilizando redes neuronales artificiales," p. 19, 2012.
- [8] E. Turban y J. Aronson, *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, de *Principles of Artificial Neural Networks*, Prentice Hall, 2001.
- [9] J. Dou, H. Yamagishi y H. Pourghasemi, "An integrated artificial neural network model for the landslide susceptibility assessment of Osado Island," Japan, Japón: CrossMark, 2015.
- [10] C. Leiva, "Determinación de modelos de predicción espacial de la variable ondulación geoidal, para la zona urbana del cantón Quito y la zona rural del cantón Guayaquil, utilizando técnicas geoestadísticas," p. 40, 2014.
- [11] M. Alfaro, "Estimación de Recursos Mineros," 2007. Ava.: [http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/cgibin/public/bibli\\_index.cgi](http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/cgibin/public/bibli_index.cgi).

# Comportamiento histerético del acero de refuerzo longitudinal en elementos de borde de muros estructurales de hormigón armado

Jessica Sarango<sup>a</sup>, Ana G. Haro<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

<sup>b</sup> Profesora, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

jfsarango@espe.edu.ec, agharo@espe.edu.ec

**Resumen**—El pandeo inelástico fuera de plano en muros estructurales de hormigón armado es un mecanismo de falla que había sido observado únicamente en laboratorios hasta antes de los sismos de Chile (2010) y Nueva Zelanda (2011). Solicitaciones reversibles en el plano de resistencia concentran el daño en los elementos de borde a lo largo de la zona plástica. Es en esta región donde el comportamiento histerético del refuerzo longitudinal juega un rol fundamental en el mecanismo en mención. Estudios previos han demostrado que, al limitar la deformación por tensión a un valor máximo en función del contenido de refuerzo, las propiedades mecánicas y geométricas de la zona de compresión, se podría garantizar un desempeño estructural estable. En base a estos estudios donde se ensayaron elementos de borde ante cargas axiales cíclicas, en la presente investigación se realiza una comparación de resultados para las componentes que caracterizan al comportamiento histerético del refuerzo principal con aquellos arrojados de un modelamiento con elementos finitos. Del análisis se observa que los resultados del modelo computacional son similares a aquellos de la fase experimental del proyecto base, constituyéndose en una herramienta eficiente para el estudio del pandeo fuera de plano en muros estructurales.

**Palabras Claves**—Comportamiento histerético del refuerzo, pandeo inelástico, elementos de borde de muros estructurales de HA.

**Abstract**—The out-of-plane buckling instability in reinforced concrete structural walls is a failure mechanism that had only been observed in laboratories until the Chile (2010) and New Zealand (2011) earthquakes. Load reversals applied in the resistance plane concentrate the damage in boundary elements along the plastic zone. It is in this region where the hysteretic behavior of the longitudinal reinforcement plays a primary role within the mentioned mechanism. Previous studies have demonstrated that if tensile strains are limited to a maximum value as a function of steel ratio, the mechanical and geometric properties of the compression zone, a stable structural performance could be guaranteed. Based on these studies where boundary elements were subjected to axial cyclic loading, a comparison of results is made in this research for the components that characterize the hysteretic behavior of the main reinforcement with those determined from a finite element modeling. From the analysis it is observed that the results of the computational model are similar to those of the experimental phase of the base project, constituting an efficient tool for the study of out-of-plane buckling in structural walls.

**Keywords**—Reinforcement hysteretic behavior, inelastic buckling, boundary element of RC structural walls.

## I. INTRODUCCIÓN

El 22 de febrero del 2010, Chile sufrió las consecuencias

catastróficas de un evento sísmico, de magnitud 8.8 y una aceleración de suelo de 0.6g, que duró aproximadamente tres minutos, afectando a más de 300,000 estructuras [1]. Se observó un fenómeno repetido en edificios de varios pisos que contaban con un sistema de muros estructurales de hormigón armado (MEHA), mismo que únicamente había sido capturado y estudiado en laboratorio. Este modo de falla fue identificado como pandeo fuera de plano, que se desarrolla en los ciclos inelásticos ante solicitaciones en el plano, concentrando el mayor daño en los elementos de borde [2]–[7].

El pandeo fuera de plano fue estudiado por primera vez por Goodsir en 1985 [2], quien observó que las varillas longitudinales servían como única fuente de estabilidad en la región de compresión, tras el desarrollo de fisuras amplias, producto de grandes deformaciones unitarias inelásticas de tensión a lo largo de la zona plástica [3]. Esta investigación sirvió de base para los modelos fenomenológicos creados por Paulay & Priestley (1993) [4] y Chai & Elayer (1999) [5] que asociaron los efectos de las cargas en el plano con las deformaciones fuera del plano en MEHA. Estos modelos consideran un criterio de estabilidad en función de las propiedades mecánicas del material y la cuantía de refuerzo en la zona de compresión, sin embargo, las predicciones resultarían conservadoras de acuerdo con [2], [5], [7], [8].

Más tarde, Herrick & Kowalsky (2016), Haro, Kowalsky & Chai (2017) y Rosso-Almeida-Beyer (2018) propusieron modelos en base a [4] y [5], limitando las deformaciones máximas unitarias a fin de garantizar la estabilidad en MEHA. Debido a que el refuerzo longitudinal en los elementos de borde sería el único que resiste las cargas de compresión durante la etapa previa al cierre de las fisuras, el análisis de su comportamiento histerético es esencial, y es por ello que en esta investigación se comparan las diferentes componentes de deformación, fundamentándose en los modelos propuestos por Chai & Elayer (C&E) [5] y Haro, Kowalsky & Chai (HKC) [2], que por su forma representarían una alternativa fácil de implementar en procesos de diseño y evaluación.

## II. MÉTODO

El modelo planteado para el análisis del comportamiento histerético del acero es el de C&E [5] que captura el pandeo inelástico en elementos de borde (EB) de MEHA expuestos a ciclos de compresión y tracción axial. Esta propuesta

plantea que la inestabilidad se produce antes de que el muro alcance su capacidad en el plano y que la amplitud de las grietas desarrolladas en una etapa posterior a la cedencia se cierre. En esta fase las deformaciones unitarias por tensión en el refuerzo longitudinal son un parámetro crítico que gobierna la estabilidad fuera del plano.

Es así que este fenómeno puede ser controlado al limitar las deformaciones unitarias por tensión ( $\epsilon_s$ ), y para ello es necesario determinar la magnitud máxima previa al aplastamiento del concreto bajo esfuerzos de compresión en la zona de pandeo donde se produce la máxima deflexión fuera de plano.

La deformación unitaria máxima ( $\epsilon_{sm}$ ) se estima utilizando la repuesta idealizada presentada en la Fig. 1, en donde se distinguen tres componentes de deformación que describen el comportamiento histórico del acero longitudinal, y a partir de ello se plantea la ecuación (1) [5].

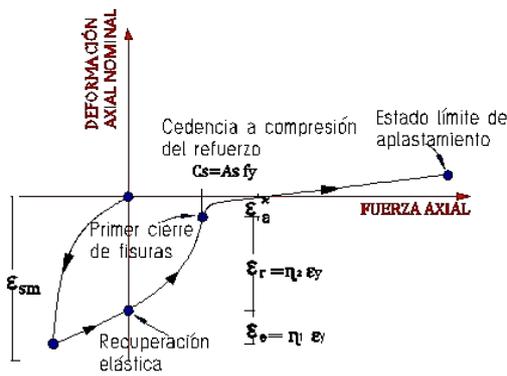


Fig. 1. Estimación de  $\epsilon_{sm}$  en un prisma de H.A. Deformación nominal axial vs fuerza axial [5].

donde  $\epsilon_a^*$  es la componente que corresponde a la deformación axial en el primer cierre de fisuras,  $\epsilon_e$  es la deformación elástica de recuperación por una excursión en tensión y  $\epsilon_r$  es la deformación en la recarga asociada a la cedencia del refuerzo longitudinal en compresión.

$$\epsilon_{sm} = \epsilon_a^* + \epsilon_e + \epsilon_r \quad (1)$$

$\epsilon_e$  depende de la conexión de transferencia entre el acero y el concreto, principalmente de la contracción del acero, es por ello que esta componente al igual que  $\epsilon_r$  puede ser expresada en términos de la cedencia del acero  $\epsilon_y$ , así:  $\epsilon_e = \eta_1 \cdot \epsilon_y$  y  $\epsilon_r = \eta_2 \cdot \epsilon_y$ . Para los coeficientes  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  se recomiendan valores de 1 y 2, respectivamente [5], con fines de diseño.

Para la estimación de la deformación en el primer cierre de ancho de grietas, se considera una distribución sinusoidal de la curvatura transversal a lo largo de la zona de pandeo. Además, se adopta el criterio de estabilidad planteado por Paulay & Priestley [4]:

$\xi_c = 0.5 \cdot \left(1 + 2.35m - \sqrt{5.53m^2 + 4.7m}\right)$ , donde  $m$  es la relación de refuerzo mecánico  $\rho f_y / f'_c$ ,  $\rho$  es la cuantía de acero y  $f_y$ ,  $f'_c$  son los esfuerzos de cedencia del acero y de compresión del concreto, respectivamente [4]. Es así que

$$\epsilon_a^* = \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{b_w}{L_o}\right)^2 \cdot \xi_c, \text{ donde } b_w \text{ corresponde al espesor del}$$

muro y  $L_o$  a la longitud de pandeo que se considera igual a la altura de entrepiso sobre la raíz de tres  $h_s / \sqrt{3}$  de acuerdo con [2].

Así (2) se replantea al tomar en cuenta los parámetros ya mencionados:

$$\epsilon_{sm} = \frac{\pi^2}{2} \left(\frac{b_w}{L_o}\right)^2 \cdot \xi_c + \eta_1 \cdot \epsilon_y + \eta_2 \cdot \epsilon_y \quad (2)$$

Mediante (2), se determina la deformación unitaria máxima por tensión de un EB mostrado en la Fig. 2 cuya geometría, disposición de armado y propiedades mecánicas de los materiales se tomó en función del prisma 2 (P2) de la fase experimental más reciente ensayada en EB con dos capas de refuerzo [2].

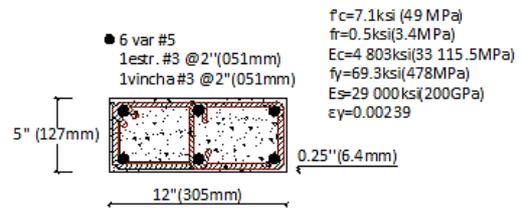


Fig. 2. Sección transversal del EB a analizar.

Al utilizar lo detallado en la Fig. 2, se llevó a cabo la modelación computacional de P2 en el software SeismoStruct, un paquete de elementos finitos (EF) capaz de predecir el comportamiento de estructuras bajo cargas dinámicas y estáticas así como su desempeño tanto en el rango elástico como inelástico, que utiliza una distribución optimizada de Gauss-Lobatto como método de integración numérica, el mismo que comprende al menos un punto de control en cada extremo de un miembro [6]. Mediante este programa se condujo un análisis no lineal Time-history estático con elementos basados en fuerzas que ha demostrado ser una formulación más confiable, ya que, siempre proporciona una solución exacta para los elementos tipo prismáticos debido a que es independiente del comportamiento constitutivo del material [7], [8]. Para hacer más preciso este modelo se utiliza EF, para representar a un EB con apoyos fijos en ambos extremos. Como se espera que se desempeñe en el rango inelástico, se considera 200 fibras de sección y 6 secciones de integración.

En cuanto a los materiales, el modelo utilizado para el concreto es el de Mander (con\_man), mientras que, para el acero se considera el modelo de Menegotto & Pinto (stl\_mp), que se ajustan más al comportamiento inelástico de análisis. Los parámetros de ajuste considerados para definir el refuerzo longitudinal y transversal se obtienen de la experimentación y calibración llevadas a cabo por [3], como se muestra en la Tabla I.

TABLA I  
PARÁMETROS MECÁNICOS DE LA ARMADURA PARA EL MODELADO EN SEISMOSTRUCT [3]

Parámetro	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$R_o$
Valor	2.0	18	0.15	0.025	2.0

El parámetro  $R_o$  controla la forma de transición de la curva entre la rigidez inicial y la post cedencia, esto toma en

cuenta el efecto Bauschinger y los picos de los bucles de las curvas de histéresis. Los coeficientes  $a_1$ ,  $a_2$  gradúan los cambios de  $R_o$  para establecer el parámetro de curvatura actualizado  $R_n$ . Los coeficientes  $a_3$ ,  $a_4$  definen el grado en que se incluye el endurecimiento isotrópico en la respuesta del material de tensión-deformación [6].

En cuanto a la parte experimental, el comportamiento histérico de las caras sur y norte de P2 sujeto a cargas cíclicas axiales se presenta en la Fig. 3 y Fig. 4, respectivamente. En estas figuras se visualiza diferentes etapas de la respuesta axial del prisma, capturadas durante el último ciclo donde se produjo inestabilidad de pandeo fuera de plano, misma que se ilustra en la Fig. 5 con la identificación respectiva de las caras del prisma.

El modelo HKC se fundamentó en el de Chai & Elayer [5] con la diferenciación en la distribución de la curvatura transversal a lo largo de la zona de pandeo considerada como polinomial de segundo grado, adicionalmente se toma en cuenta el efecto de la cuantía de acero en las componentes  $\epsilon_e$  y  $\epsilon_r$ . Este modelo fue calibrado y validado a través de los resultados de estudios experimentales y analíticos que conformaron parte de dicha investigación [2], y está representado por (3), donde  $\rho_{lbe}$  corresponde a la cuantía de armado longitudinal y el resto de parámetros son los ya mencionados previamente.

$$\epsilon_{sm} \leq \frac{8}{3} \left( \frac{b_w}{L_o} \right)^2 \cdot \xi_c + \left[ -2.4 + 160 \left( \frac{b_w}{L_o} \right)^2 - 1.9 \ln(\rho_{lbe}) \right] \cdot \epsilon_y \quad (3)$$

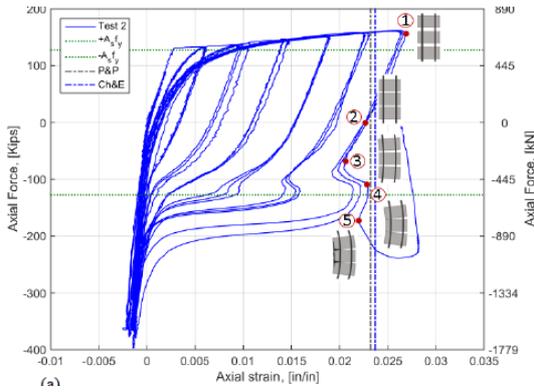


Fig. 3. Fases de la respuesta axial del P2 cara sur [2].

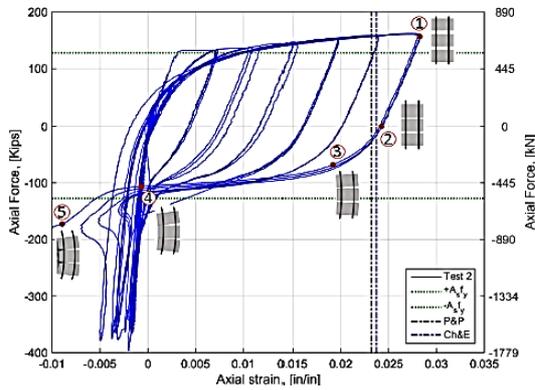


Fig. 4. Fases de la respuesta axial del P2 cara norte [2].

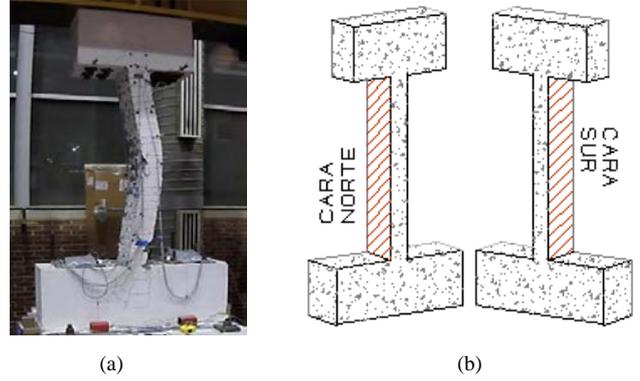


Fig. 5. (a) Fase final de la experimentación del P2 [2] (b) Ubicación de las caras del prisma.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La estimación de la deformación máxima unitaria por tensión y sus componentes obtenida mediante el método planteado por Chai & Elayer (C&E) y por el método HKC se presenta en la Tabla II.

TABLA I  
COMPONENTES DE LA DEFORMACIÓN MÁXIMA,  $\epsilon_{sm}$

Método	$\epsilon_{sm}$	$\epsilon_a^*$	$\epsilon_e$	$\epsilon_r$
C&E	0.02374	0.01657	0.00239	0.00478
HKC	0.02704	0.00896		0.01809

El resultado obtenido de la modelación en SeismoStruct se visualiza en la curva de histéresis presentada en la Fig. 6, en la cual  $\epsilon_{sm} = 0.02776$  corresponde a la cara convexa y  $\epsilon_{sm} = 0.02748$  a la cara cóncava, donde la falla por pandeo se produjo en el tercer ciclo correspondiente a  $12\epsilon_y$ .

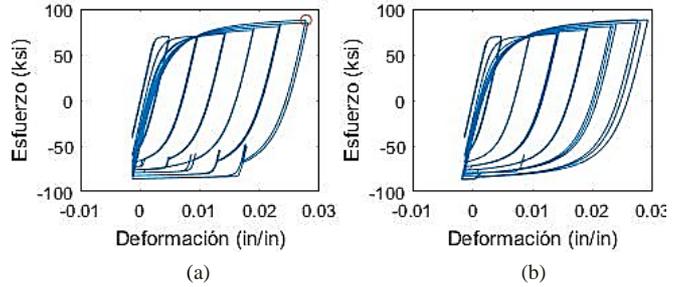


Fig. 6. Curva de histéresis obtenida de SeismoStruct (a) Cara convexa (b) Cara cóncava.

En cuanto a la experimentación de P2 los valores obtenidos de las curvas de histéresis presentadas en las Fig. 3 y Fig. 4, se sintetiza en la Tabla III.

TABLA II  
COMPONENTES EXPERIMENTALES DE  $\epsilon_{sm}$ . ADAPTACIÓN [3].

Cara	$\epsilon_{sm}$	$\epsilon_e$	$\epsilon_a^*$	$\epsilon_r$
Sur	0.02699	0.00411	0.00902	0.01386
Norte	0.02835	0.00416	0.01033	0.01386
Prom.	<b>0.02767</b>	<b>0.00414</b>	<b>0.00968</b>	<b>0.01386</b>

En cuanto al valor de  $\epsilon_{sm}$  y sus componentes la Tabla IV muestra una comparación entre las distintas formas de

estimación y la variación en base a la experimentación. El análisis refleja que las predicciones del modelo HKC se aproximan más a los resultados experimentales.

TABLA III  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Método	$\bar{\epsilon}_{sm}$	$\epsilon_a^*$	$\epsilon_e + \epsilon_r$	Variación (%)		
P2	0.02767	0.00968	0.01800	$\epsilon_{sm}$	$\epsilon_a^*$	$\epsilon_e + \epsilon_r$
C&E	0.02374	0.01657	0.00717	14.2	71.3	60.2
HKC	0.02704	0.00896	0.01809	2.3	7.4	0.5
SS	0.02762	0.00896	0.01866	0.2	7.4	3.7

El modo de falla por pandeo fuera de plano se produjo durante el tercer ciclo de  $12\epsilon_y$ , tanto en la fase experimental, como en el modelo computacional que reportó una deformación unitaria máxima promedio de  $\epsilon_{sm} = 0.02762$ , con un error de 0.2%. El modelo HKC fue capaz de predecir la máxima respuesta con un error de 2.3%. El modelo C&E resultó conservador reportando un error de 14.2%.

En lo referente a las componentes de la deformación unitaria máxima, se observa que el modelo de C&E estima valores en extremo alejados de la respuesta experimental, mientras que las componentes de los modelos HKC y computacional, reportan como máximo un porcentaje de diferencia en orden del 7%.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis de la respuesta ante acciones cíclicas axiales de prismas de hormigón armado que simulan elementos de bordes de muros estructurales. Al comparar las deformaciones de tensión máximas capturadas previo a la falla por pandeo fuera de plano se concluye que tanto el modelo HKC y el modelo computacional se asemejan a los resultados observados en la fase experimental de [3]. El presente estudio refleja que SeismoStruct constituye una herramienta eficiente para simular acciones sísmicas en elementos de borde de MEHA y capturar el efecto de los parámetros críticos que influyen en el mecanismo de falla asociado al pandeo fuera de plano inelástico.

#### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo es parte del Proyecto de Investigación “Efecto del espesor de muros estructurales de HA en el modo de falla de pandeo fuera de plano”, que se ejecuta en el Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Briseño y N. Carreras, “Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011”, Santiago de Chile: Universidad Católica Andrés Bello, 2013.
- [2] A. Haro, “Assessment of the Out-of-Plane Buckling Instability of Ductile Reinforced Concrete Structural Walls”, Raleigh: North Carolina State University. Doctoral thesis, 2017.
- [3] W. Goodsir, “The design of coupled frame-wall structures for seismic actions”, Ph.D. dissertation, University of Canterbury, 1985.
- [4] T. Paulay y M. Priestley, “Stability of Ductile Structural walls,” *ACI Structural Journal*, pp. 90, 385-392, 1993.
- [5] Y. Chai y D. T. Elayer, “Lateral stability of reinforced concrete columns under axial reversed cyclic tension and compression,” *ACI Structural Journal*, pp. 96(96), 780-789, 1999.
- [6] Seismosoft, *SeismoStruct Manual del Usuario*, Pavia: Seismosoft Ltda., 2016.
- [7] J. P. Almeida, D. Tarquini y K. Beyer, “Modelling Approaches for Inelastic Behaviour of RC Walls: Multi-level Assessment and Dependability of Results,” *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 23, n° 1, p. 69-100., 2014.
- [8] M. D’Aniello, F. Portioli y R. Landolfo, “Modelling issues of steel braces under extreme cyclic actions,” *Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events*, p. 1048, 2010.
- [9] C. K. Herrick y M. J. Kowalsky, “Out-of-Plane Buckling Reinforced Structural Walls due to in Plane Loads,” *Journal of Structural Engineering*, pp. 1-15, 2016.
- [10] A. Rosso, “Out-of-plane instability of thin reinforce concrete walls under seismic loading”, Suiza: École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Doctoral Thesis, 2018.
- [11] A. Rosso, J. P. Almeida y K. Beyer, “Mechanical model to assess the vulnerability to out-of-plane instability of thin walls with a single layer of reinforcement,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 1, n° 10518, 2018.

# Ubicación potencial de los recursos minerales en zonas de posible extensión de la plataforma continental ecuatoriana

Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Isabel García, Karla Tituana, Andrea Suárez, Carolina Rivas  
Unidad de Extensión de la Plataforma Continental/Dirección de Plataforma Continental y Fondo Oceánico  
(DIPAFO)/Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)

nilton.sanchez@inocar.mil.ec, lourdes.munoz@inocar.mil.ec, isabel.garcia@inocar.mil.ec, karla.tituana@inocar.mil.ec,  
andrea.suarez@inocar.mil.ec, carolina.rivas@inocar.mil.ec

**Resumen**—En las últimas décadas ha surgido un interés por los depósitos minerales encontrados en el lecho marino debido a la creciente demanda global de metales. Esto se debe al potencial de las mismas para suplir la futura escasez de las reservas minerales existentes en la corteza continental. Este artículo presenta información concerniente a los recursos minerales potenciales en el fondo marino ecuatoriano, los ambientes geológicos y geotectónicos propicios para su formación y un breve análisis vectorial de la posible ubicación de dichos recursos dentro del área de extensión de plataforma continental de Ecuador, con la aplicación del artículo 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar. Se obtuvieron las áreas potenciales para los sulfuros polimetálicos, cortezas de ferromanganeso y nódulos polimetálicos de 100.756 km<sup>2</sup>, 26.775 km<sup>2</sup> y 184 km<sup>2</sup> respectivamente, las cuales se ubicaron en ciertas secciones de la cordillera del Carnegie, Coco y Colón. Estos recursos minerales proporcionarían diversos beneficios económicos para el país, dependiendo del tipo de mineral y sus concentraciones.

**Palabras Claves**—Depósitos minerales, fondo marino, nódulos polimetálicos, sulfuros masivos, cortezas de manganeso

**Abstract**—In the last few decades there has been an increasing interest on the seabed mineral resources given by the growing demand for metal. This is due to the potential capacity to supply future shortage of continental crust mineral reserves. This article compiles information concerning the potential seabed mineral resources found in the Ecuadorian seabed, the appropriate geological and geotectonical environments for its development and a brief vector analysis of the possible location of these resources within the Ecuadorian continental shelf extension area based on the application of Act. 76 of the United Nations Convention on the Law of the sea. We obtained the potential areas of polymetallic sulphides, ferromanganese crusts and polymetallic nodules which correspond to 100.756 km<sup>2</sup>, 26.775 km<sup>2</sup> and 184 km<sup>2</sup> respectively, and are located in certain sections within the Ridge of Carnegie, Colón and Cocos. These mineral resources would provide different economic benefits to the country depending on the type of minerals in the deposits and their concentrations.

**Keywords**—Mineral deposits, seabed, polymetallic nodules, massive sulphides, manganese crust.

## I. INTRODUCCIÓN

El fondo marino presenta una diversidad de ambientes, muchos de los cuales son propicios para la formación de depósitos minerales. Los tres principales depósitos minerales de aguas profundas son los sulfuros masivos polimetálicos, los nódulos de manganeso y las cortezas de ferromanganeso ricas en cobalto [1].

**Sulfuros masivos polimetálicos:** Los depósitos de sulfuros masivos en los fondos oceánicos se forman sobre y debajo del lecho marino, debido a la acumulación de minerales alrededor de respiraderos hidrotermales y el reemplazo metasomático por fluidos mineralizados ascendentes, situados en ambientes geotectónicos como dorsales mid-oceánicas, dorsales trasarco, arco islas, islas oceánicas, relacionados con la formación de nueva corteza oceánica [2]. Normalmente se forman a profundidades que van desde los 1500 a 3000 m, con temperaturas de hasta 400 °C, precipitando metales como Cobre (Calcopirita), Zinc (Blenda), Plomo (Galena), Oro y Plata [3], [4].

**Nódulos de Manganeso:** Son depósitos cuyo origen puede ser hidrogenético o diagenético. El primero ocurre cuando la precipitación de los minerales se da a partir del agua del mar y el segundo sucede cuando la precipitación mineral se da a partir de fluidos intrasedimentarios en los procesos de compactación y litificación de sedimentos [5], [6].

Existen varios factores que influyen en su formación, entre ellos la tasa de sedimentación, las corrientes de fondo, disponibilidad de núcleos, zonas de alta productividad en la topografía marina, la distancia hasta las fuentes que suministran los metales, el potencial de oxidación y la actividad biológica. Los nódulos se encuentran dispersos en las llanuras oceánicas, dorsales meso-oceánicas activas e inactivas, en el borde continental y pisos oceánicos profundos [7].

**Cortezas de Ferromanganeso ricas en cobalto:** Las costras cobálticas generalmente están dispuestas como incrustaciones en capas individuales, suelen encontrarse como incrustaciones en montes, dorsales y mesetas submarinas y se forman cuando los minerales que se precipitan del agua marina fría caen sobre sustratos de rocas duras a través del tiempo. Los elementos químicos que suelen contener las cortezas ferromanganíferas son: hierro, cobalto, níquel, cobre, manganeso [2], [8].

La Provincia Volcánica de Galápagos (PVG) ha sido objeto de estudio en muchas investigaciones, a causa de la compleja actividad tectónica del área debido a la interacción del hotspot Galápagos y el centro de divergencia Cocos-Nazca; esta interacción promueve una mayor variedad de vulcanismo en sus alrededores, lo que ha permitido la formación de minerales metálicos y fluidos minerales de alta salinidad [4], [9], [10]-[14]. El fondo marino de los espacios marítimos jurisdiccionales del Ecuador es rico en estos minerales, muchos de los cuales son de gran interés

económico, lo que ha despertado el interés del país de extender su plataforma continental y ganar soberanía sobre nuevos espacios que posiblemente contengan dichos minerales [4], [9], [11], [15], [16].

Gracias a la adhesión del Ecuador a la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar (CONVEMAR), el país tiene la oportunidad de extender su territorio marítimo y ganar jurisdicción sobre el suelo y subsuelo del fondo marino (Ver Fig. 1), siguiendo las directrices de la CLCS/11 y aplicando el artículo 76 de la CONVEMAR. Las áreas potenciales de extensión de la plataforma continental ecuatoriana son posibles en las cordilleras submarinas de Carnegie, Coco y Colón.

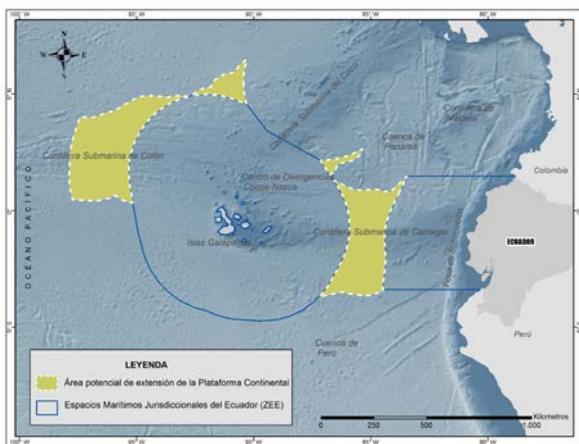


Fig. 1. Mapa de ubicación de las áreas potenciales de extensión de la plataforma continental.

## II. MÉTODO

La selección y cálculo de áreas potenciales de recursos minerales en las zonas de extensión de la plataforma continental, se realizó considerando una metodología de dos fases como muestra la Fig. 2. La primera fase consiste en la recopilación de información científica y técnica de las características y ambientes geológicos propicios para la formación de cada recurso mineral objeto de este estudio; sin embargo, también se recopiló información con respecto a las condiciones geológicas existentes en los espacios marítimos ecuatorianos y en las áreas que pretenden extenderse. Esta primera fase concluye con la obtención de tablas de resultados, tanto como las condiciones generales como las de la zona de estudio. La segunda fase inicia con la comparación de las tablas de resultados, al existir condiciones similares se procede a realizar un análisis de información raster existente del área de estudio, extrayendo aquellas áreas que posean la condiciones favorables para la formación de cada recurso, posteriormente se seleccionan aquellas que se encuentren dentro de las áreas de extensión de la plataforma continental, calculando la superficie que podrían ocupar dichos recursos. Finalmente se elabora cartografía temática que muestra la ubicación potencial de los recursos minerales en las zonas de potencial ampliación de plataforma continental ecuatoriana de conformidad con el artículo 76 de la CONVEMAR.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos utilizados para la elaboración de los mapas temáticos de la ubicación potencial de los recursos

minerales en zonas de posible extensión de la plataforma continental ecuatoriana consisten en base de datos de los principales organismos de investigación a nivel mundial (NOAA, InterRidge) e información vectorial reservada elaborada por la Dirección de Plataforma Continental y Fondo Oceánico del INOCAR. Para la ubicación potencial de los depósitos minerales se realizó un análisis vectorial preliminar, en donde se consideraron rangos favorables de profundidad para cada recurso de acuerdo a la información científica disponible y a los estudios a lo largo del Rift Galápagos.

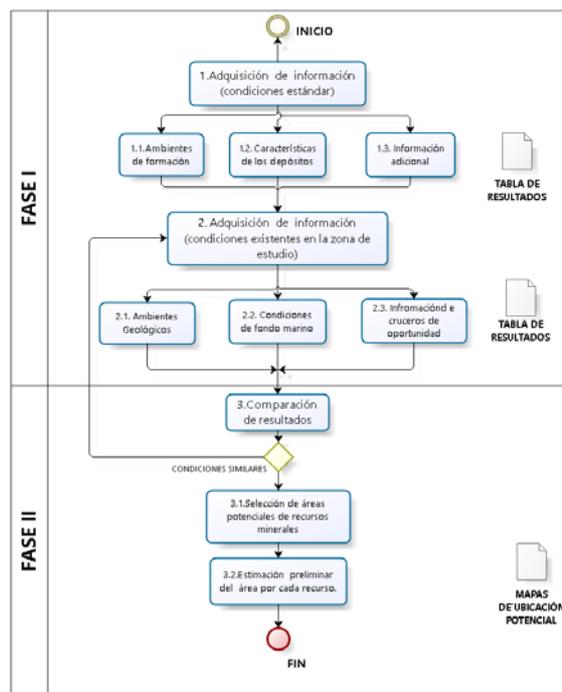


Fig. 2. Metodología para la selección de áreas de ubicación potencial de los recursos minerales en el área de extensión de la plataforma continental ecuatoriana.

Sulfuros masivos polimetálicos: A continuación, se muestra la Tabla I una comparación entre las condiciones generales propicias para la formación de depósitos de sulfuros masivos y las existentes en sitios puntuales donde se ha realizado exploración en el Rift de Galápagos [2], [3], [4], [11], [17], [18].

TABLA I  
COMPARACIÓN ENTRE LAS CONDICIONES DE FORMACIÓN DE LOS SULFUROS MASIVOS POLIMETÁLICOS GENERALES Y LAS EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

	Condiciones generales	Condiciones zona de estudio
Profundidad	3700 m (aproximadamente)	2000 m- 2550 m – 3100 m
Ambientes geotectónicos	Dorsales oceánicas Rifts, tras-arcs montañas submarinas Fumarolas negras Stockworks	Dorsal Cocos Nazca Rift Galápagos Fumarolas negras Montículos de minerales
Formas que suelen presentarse	Depósitos estratificados, Montículos de cientos de metros alrededor de los respiraderos.	precipitados sin forma definida Diseminaciones
Temperatura	hasta 400°C	350° C
Minerales encontrados	Cobre (Calcopirita), Zinc (Blenda), Plomo (Galena), Oro y Plata	Alúmina, Óxido de hierro (II),
Metales de interés		Zinc, cobre y hierro

Los resultados muestran que si bien los valores de profundidad son menores a la media, las estructuras (dorsal) presentes en la zona son capaces de generar condiciones de temperatura dentro del rango establecido para la existencia de estos recursos. Muestras tomadas en estas zonas han sido analizadas y entre sus resultados se tienen concentraciones de Zinc, Cobre y Hierro [4]. Las fotografías y videos tomados de las diferencias campañas de exploración confirman la existencia de fumarolas negras, diseminaciones y acumulación de minerales en el piso oceánico; en la Fig. 3 se observan imágenes del fondo marino Rift de Galápagos, cortesía de la Expedición Nautilus del 2015. Los resultados obtenidos en el mapa de la Fig. 4 muestran que los sulfuros masivos polimetálicos se encuentran en las áreas de extensión en el flanco sureste de la Cordillera de Cocos y a lo largo de la Cordillera de Carnegie y Colón, con una superficie total de 100.756 km<sup>2</sup>.

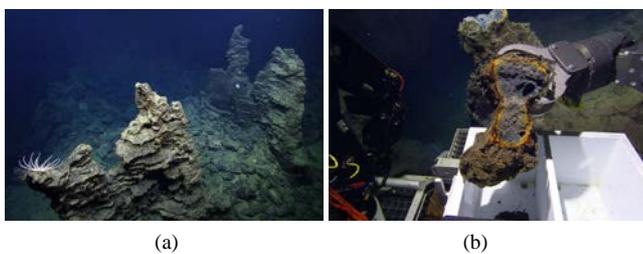


Fig. 3. (a) Sección del Rift Galápagos con chimeneas hidrotermales extintas. (b) Muestra de roca del fondo marino tomada con un ROV. Fuente: OET/NautilusLive, Campaña de exploración del 2015.

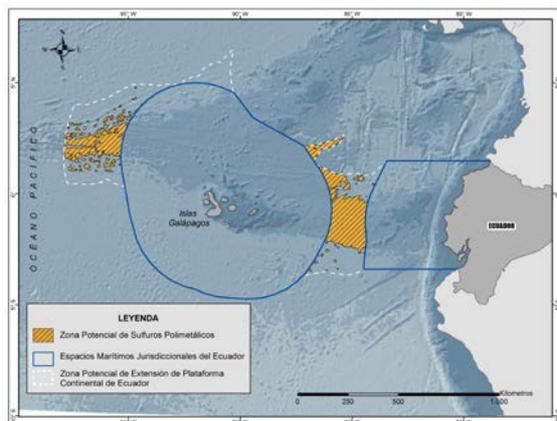


Fig. 4. Zonas de posible ubicación de sulfuros masivos polimetálicos en las áreas potenciales de extensión de la plataforma ecuatorialiana.

**Nódulos de Manganeso:** En la tabla II se presentan de forma puntual algunas condiciones generales que deben existir en los fondos oceánicos para la formación de depósitos de nódulos polimetálicos [19], [20].

TABLA II CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS NÓDULOS DE MANGANESO	
<b>Profundidad</b>	4000 - 6000 metros. (aproximadamente)
<b>Ambientes</b>	Sedimentario marino Depósito de origen hidrogenético y diagenético
<b>Estructuras que suelen presentarse</b>	Llanuras oceánicas, dorsales meso-oceánicas activas e inactivas, borde continental, piso oceánico profundo.
<b>Elementos concentrados en minerales</b>	Hierro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Manganeso (Mn), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Plata (Ag).

La Fig. 5 muestra la ubicación potencial de los nódulos de manganeso en las zonas de extensión. Se observa que los nódulos se presentan en pequeñas áreas a lo largo del centro de la Cordillera de Colón, ocupando una superficie de 184 km<sup>2</sup>.

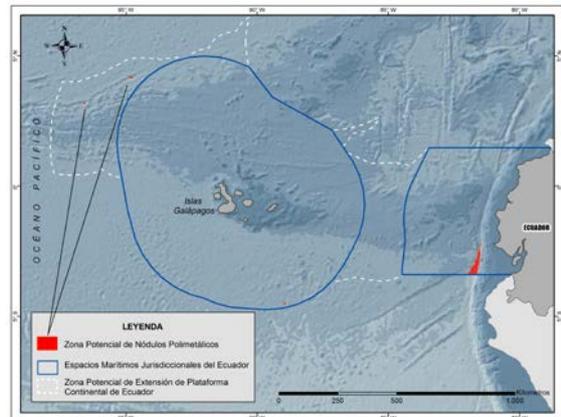


Fig. 5. Zonas de posible ubicación de Nódulos de Manganeso sobre la corteza oceánica en las áreas potenciales de extensión de la plataforma ecuatorialiana.

**Cortezas de Ferromanganeso ricas en cobalto:** Las principales características, mineralogía y estructuras presentes en los ambientes de formación de los depósitos de costras ferromanganosas en los fondos marinos se presentan en la Tabla III [2], [21].

TABLA III CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CORTEZAS DE FERROMANGANESO	
<b>Profundidad</b>	800 – 2500 m. (Enriquecidas en Cobalto)
<b>Estructuras que suelen presentarse</b>	Montes submarinos, cordilleras y mesetas (rocas limpias de sedimentos durante millones de años).
<b>Elementos concentrados en minerales</b>	Cobalto (Co), Titanio (Ti), Cerio (Ce), Níquel (Ni), Platino (Pt), Manganeso (Mn), Talio, Teluro (Te).

Por último, las cortezas de ferromanganeso se ubican en las áreas de extensión a lo largo de la cordillera de Carnegie y en pequeñas secciones de la cordillera de Colón tal como se muestra en la Fig. 6, con una superficie total de 26.775 km<sup>2</sup>.

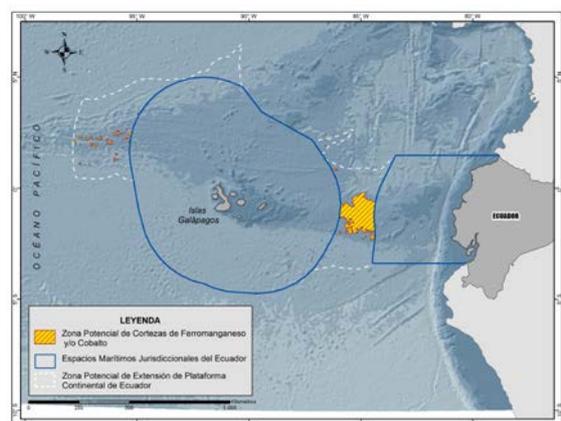


Fig. 6. Zonas de posible ubicación de Corteza Ferromanganeso en las áreas potenciales de extensión de la plataforma ecuatorialiana.

Las áreas identificadas en el presente artículo corresponden a una referencia preliminar que pueden ser consideradas previamente a la exploración. Si bien la ubicación de los depósitos minerales corresponde a la potencial área de extensión de la plataforma continental del Ecuador, esas áreas de no ser consideradas como territorio ecuatoriano estarían bajo la regulación de la Autoridad Internacional de Fondos Marinos (ISA). Sin embargo, las áreas sobre las cuales se ubican los depósitos minerales son conocidas por ser zonas con alta biodiversidad y endemismo, especialmente aquellos fondos marinos con depósitos de fumarolas hidrotermales que poseen potencial biotecnológico y de explotación de recursos genéticos marinos [22], [23]. Adicionalmente, aún se desconoce la duración y escala de los impactos asociados a la extracción de minerales de fondos marinos y aquello supondría mayores filtros en el proceso de concesión de la exploración [24].

#### IV. CONCLUSIONES

El fondo marino de las áreas potenciales de extensión de la plataforma continental ecuatoriana, debido a sus condiciones geológicas, es favorable para la formación de sulfuros masivos polimetálicos, nódulos polimetálicos y cortezas de ferromanganeso. El análisis vectorial de la superficie batimétrica considerando el factor profundidad, mostró que existen áreas potenciales de estos recursos en ciertas secciones de la cordillera del Carnegie, Coco y Colón. Las áreas potenciales para los sulfuros polimetálicos, cortezas de ferromanganeso y nódulos polimetálicos corresponden a 100.756 km<sup>2</sup>, 26.775 km<sup>2</sup> y 184 km<sup>2</sup> respectivamente. Sin embargo, también es importante no considerar únicamente los recursos minerales, sino también los recursos marinos vivos y genéticos y el impacto que la explotación de minerales de fondos marinos pudiera ocasionar, de no aplicar técnicas de explotación que reduzcan el impacto ambiental y de no existir regulaciones que controlen dichas actividades.

#### REFERENCIAS

- [1] S. Petersen, A. Krätschell, N. Augustin, J. Jamieson, J. R. Hein, and M. D. Hannington, "News from the seabed – Geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources," *Mar. Policy*, vol. 70, no. March, pp. 175–187, 2016.
- [2] P. M. Herzig, S. Petersen, and M. D. Hannington, *Polymetallic Massive Sulphides and Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts: Status and Prospects*. 2002.
- [3] R. E. Boschen, A. A. Rowden, M. R. Clark, A. Pallentin, and J. P. A. Gardner, "Seafloor massive sulfide deposits support unique megafaunal assemblages: Implications for seabed mining and conservation," *Mar. Environ. Res.*, vol. 115, pp. 78–88, 2016.
- [4] A. Malahoff, "A Comparison of the Massive Submarine Polymetallic Sulfides of the Galapagos Rift With Some Continental Deposits," pp. 39–45, 1975.
- [5] J. R. Hein, A. Koschinsky, P. Halbach, F. T. Manheim, M. Bau, J.-K. Kang, and N. Lubick, "Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific," *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, vol. 119, no. 1, pp. 123–138, 1997.
- [6] D. Report, "Blue Nodules Deliverable report Deliverable 7. 1 : Initial Risk Management Plan," no. 688975, pp. 1–3, 2016.
- [7] B. J. Murton, L. M. Parsons, P. Hunter, and P. Miles, "Global Non-Living Resources on the Extended Continental Shelf: Prospects at the year 2000. Technical Study No. 1." p. 161, 2001.
- [8] P. A. Rona, "The changing vision of marine minerals," *Ore Geol. Rev.*, vol. 33, no. 3–4, pp. 618–666, 2008.
- [9] P. Goyes, *Fondos marinos de soberanía y jurisdicción del Ecuador*, Comisión N. Guayaquil, Ecuador, 2009.
- [10] D. J. Geist, D. J. Fornari, M. D. Kurz, K. S. Harpp, S. A. Soule, M. R. Perfit, and A. M. Koleszar, "Submarine Fernandina: Magmatism at the leading edge of the Galapagos hot spot," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 7, no. 12, 2006.
- [11] L. Cnrs-cea and D. Cnrs, "The Galapagos hydrothermal mounds : history from about 600 , 000 years to Present," pp. 261–270, 1984.
- [12] K. Harpp, "Wolf–Darwin lineament and plume–ridge interaction in northern Galapagos," *Geochemistry Geophys. Geosystems*, vol. 3, no. 11, 2002.
- [13] D. Geist, W. M. White, F. Albarede, K. Harpp, R. Reynolds, J. Blichert-Toft, and M. D. Kurz, "Volcanic evolution in the Galapagos: The dissected shield of Volcan Ecuador," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 3, no. 10, 2002.
- [14] K. S. Harpp, "Genovesa Submarine Ridge: A manifestation of plume-ridge interaction in the northern Galapagos Islands," *Geochemistry, Geophys. Geosystems*, vol. 4, no. 9, pp. 1–27, 2003.
- [15] J. B. Corliss, J. Dymond, L. I. Gordon, J. M. Edmond, R. P. Von Herzen, R. D. Ballard, K. Green, D. Williams, A. Bainbridge, K. Crane, and T. H. Van Andel, "Submarine Thermal Springs on the Galapagos Rift," *Science (80-. )*, vol. 203, no. 4385, pp. 1073–1083, 1979.
- [16] C. Lalou, E. Brichet, and J. Lange, "Fossil hydrothermal sulfide deposits at the Galapagos Spreading Centre near 85°00 West: geological setting, mineralogy and chronology," *Oceanol. acta*, vol. 12, no. 1, pp. 1–8, 1989.
- [17] ISA, "Proposed Technologies for Deep Seabed Mining of Polymetallic Nodules." pp. 1–456, 2001.
- [18] R. W. Embley, I. R. Jonasson, M. R. Perfit, J. M. Franklin, M. A. Tivey, A. Malahoff, M. F. Smith, and T. J. G. Francis, "Submersible investigation of an extinct hydrothermal system on the Galapagos Ridge: sulfide mounds, stockwork zone, and differentiated lavas," *Can. Mineral.*, vol. 26 pt 3, pp. 517–539, 1988.
- [19] ISA, "Decision of the Assembly of the International Seabed Authority regarding the amendments to the Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area," vol. 27176, no. March, pp. 1–10, 2013.
- [20] S. E. Volkmann and F. Lehnen, "Production key figures for planning the mining of manganese nodules," *Mar. Georesources Geotechnol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–16, 2017.
- [21] International Seabed Authority, "ISBA/16a/12/rev1 Decision of the Assembly of the International Seabed Authority relating to the regulations on prospecting and exploration for polymetallic sulphides in the Area." [https://www.isa.org.jm/sites/default/files/files/documents/isba-16a-12rev1\\_0](https://www.isa.org.jm/sites/default/files/files/documents/isba-16a-12rev1_0)," *English*, vol. 2010, no. May, pp. 1–49, 2010.
- [22] D. J. Amon, A. F. Ziegler, T. G. Dahlgren, A. G. Glover, A. Goineau, A. J. Gooday, H. Wiklund, and C. R. Smith, "Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone," *Sci. Rep.*, vol. 6, no. July, pp. 1–12, 2016.
- [23] J. Escobar, "El impacto producido por la actividad minera en los fondos profundos oceánicos sobre los recursos genéticos y el Reglamento para la prospección y exploración de nódulos polimetálicos en la Zona," *Com. Económica para América Lat. y el Caribe*, pp. 1–78, 2004.
- [24] K. M. Gjerde, P. Weaver, D. Billett, G. Paterson, A. Colaco, A. Dale, J. Greinert, C. Hauton, F. Jansen, P. M. Arbizu, K. Murphy, and A. Sweetman, "Report on the implications of MIDAS results for policy makers with recommendations for future regulations to be adopted by the EU and the ISA," no. December, p. 61, 2016.

# Caracterización de la geoforma submarina Galera durante el proceso de extensión de plataforma continental ecuatoriana

Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Karla Tituana, Isabel García-Arévalo, Carolina Rivas, Andrea Suárez  
Grupo de Extensión de la Plataforma Continental/Dirección de Plataforma Continental y Fondo Oceánico  
(DIPAFO)/Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)

nilton.sanchez@inocar.mil.ec, lourdes.munoz@inocar.mil.ec, karla.tituana@inocar.mil.ec, isabel.garcia@inocar.mil.ec,  
carolina.rivas@inocar.mil.ec, andrea.suarez@inocar.mil.ec

**Resumen**—El fondo marino presenta un sin número de rasgos submarinos que forman parte de la estructura de la corteza oceánica. Dichos rasgos se nombran en múltiples estudios y publicaciones de acuerdo al nombre otorgado por cada investigador. Sin embargo, a medida que se extiende el estudio del fondo marino es necesario asignarles un nombre mediante consideraciones técnicas que actualmente son estandarizadas por la Organización Hidrográfica Internacional y el Subcomité de los Nombres de las Formas del Relieve Submarino de la GEBCO para la temática de la toponimia submarina. En el presente trabajo, a través del modelado de la data batimétrica con la herramienta en Sistemas de Información Geográfica “ArcGis”, se encuentra la determinación de la existencia del monte submarino Galera, que fue aprobado por la SCUFN en 2017 por presentar una elevación de más de 1000 m (1027) con respecto al relieve circundante. El comportamiento geodinámico del monte Galera es de importancia regional porque se estima que en ~15000 años podría encontrarse en el límite de la fosa.

**Palabras Claves**— Asperidades, batimetría, fondo oceánico, montes submarinos

**Abstract**— The seabed has a variety of underwater features that conform the structure of the ocean crust. These features are named in studies and publications in a disorganized way. As the study of the seabed extends, it is necessary to assign a name to them using technical considerations that have been standardized by the International Hydrographic Organization (IHO) and the Sub-Committee on Undersea Feature Names (SCUFN) for the thematic underwater toponymy. In the present work, the existence of the Galera seamount was determined through bathymetric data modelling with the Geographic Information System tool “ArcGis”, which was approved by SCUFN in 2017 because it shows an elevation higher than 1000m (1027) with respect to the surroundings. The geodynamic behaviour of mount Galera is of regional importance because it is estimated that it could be in the limit of the trench in ~15000 years.

**Keywords**— Asperities, bathymetry, seabed, seamounts.

## I. INTRODUCCIÓN

La designación desordenada de las formas de relieve submarino, que frecuentemente aparecen en publicaciones científicas o en las cartas y mapas oceánicos, sin un estudio minucioso para conocer si el nombre asignado es apropiado o si la forma ya ha sido nombrada y descubierta, ha generado seria preocupación durante los últimos años [1], [2].

A medida que la recolección de información batimétrica a nivel mundial mejora, se descubren y definen más

características geomorfológicas en los fondos oceánicos, por lo que es importante conseguir una mayor uniformidad y estandarización oficial en los nombres geográficos de las formas del relieve submarino descubiertas [2].

Con el fin de remediar esta situación, la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), publicó varias directrices incluyendo el “Formulario de Propuesta de nombres” y la “Lista de Términos y Definiciones para la normalización de las formas del relieve submarino”, elaborados gracias a la colaboración del Subcomité de los Nombres de las Formas del Relieve Submarino de la GEBCO (SCUFN por sus siglas en inglés), y el Grupo de Expertos de las Naciones Unidas sobre los Nombres Geográficos (UNGEGN), conforme a las disposiciones de las Resoluciones de las Conferencias de las Naciones Unidas sobre los Nombres Geográficos [1].

El Comité encargado de estandarizar y acreditar la toponimia submarina, que es descubierta y reportada por diversos investigadores oceanográficos e hidrográficos en todo el mundo, es el Sub-Committee on Undersea Feature Names (SCUFN). La preparación de propuestas de nombres de formas del relieve submarino debe seguir las directrices contenidas en la publicación B6, la misma que en su sección 2 muestra los términos y definiciones de las formas de relieve submarino, considerando hasta ahora 44 términos genéricos propuestos por la SCUFN y 12 términos genéricos usados para armonización con otras definiciones y gacetillas de nombres submarinos [1].

Los países ribereños son generalmente responsables del mapeo de los espacios marítimos sobre los cuales posee soberanía como parte de los compromisos descritos en la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho de mar (CONVEMAR) [3]. Adicionalmente, en los últimos años, muchos países costeros han llevado a cabo ambiciosos programas de mapeo de fondo marino con el fin de extender los derechos soberanos más allá de las 200 millas náuticas, además de proyectos enmarcados en la caracterización de todos los fondos marinos como el proyecto SeaBed 2030 [4].

Por su parte, Ecuador realiza cada año un levantamiento de información batimétrica en sus espacios marítimos jurisdiccionales y en zonas aledañas que posean potencial de extensión de plataforma continental. Con la data batimétrica obtenida por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), es posible descubrir y sustentar los diferentes rasgos geomorfológicos que se encuentran en el fondo

marino.

Desde el año 2010, el Ecuador a través del INOCAR ha enviado 9 propuestas para nombrar formas de relieve submarino descubiertas por personal técnico y científico ecuatoriano, cuyos términos genéricos corresponden a montes submarinos, colinas, lomas, entre otros [5]. Sin embargo, existen otros rasgos submarinos en zonas ecuatorianas que se encuentran nombrados en Gacetilla de Nombres de Formas del Relieve Submarino de GEBCO, esto ocurre debido a que al iniciarse el proceso de estandarización, la SCUFN integró información de base de datos de investigación existentes hasta ese momento.

Los nombres de las geoformas aprobadas hasta la presente fecha por la SCUFN en los espacios marítimos ecuatorianos y áreas de potencial extensión son: Amadeus, Carnegie, Galera, INOCAR, Libertad, Galápagos y Sun Ray (en la categoría de montes submarinos); Aromo, Orión y Flamingo, con dos picos (clasificados como colinas submarinas); Hancock y Pinta (clasificados como bancos); Bajo MacGowen (clasificado como reef), y Megaprint (clasificado como loma).

## II. MÉTODO

Para sustentar la existencia de las formas de relieve submarino, se ha establecido una metodología de tres fases, como se observa en la Fig. 1. La Fase I corresponde a la identificación, posición y extensión de la morfología del rasgo, continuando con la revisión de la *Gacetilla de Nombres de Formas del Relieve Submarino de GEBCO*, para conocer si dicha geoforma ha sido ya propuesta, caso contrario se procede a realizar la búsqueda de información fidedigna disponible, que sustente la existencia de dicha geoforma.

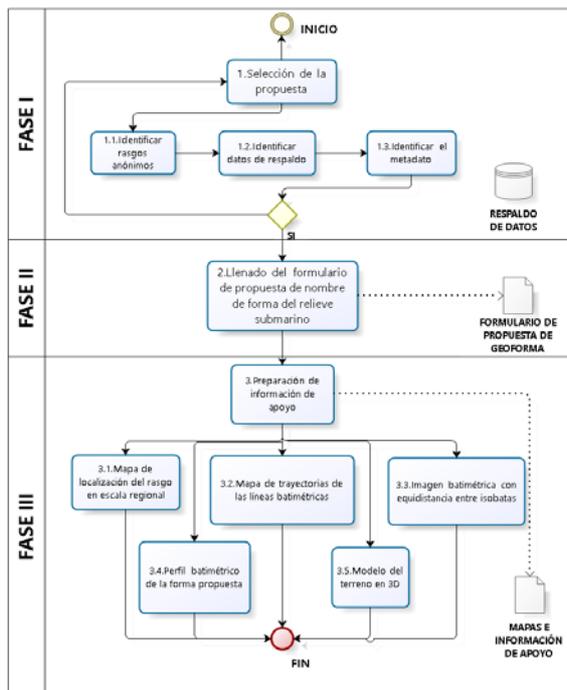


Fig. 1. Metodología para la elaboración de sustentos a fin de nombrar geoformas submarinas.

La Fase II consiste en completar el formulario proporcionado por la SCUFN, para la propuesta del rasgo

submarino, siguiendo las directrices contenidas en la publicación B6 de la OHI-COI. En dicho formulario debe especificarse el nombre propuesto y la razón de la elección del nombre, coordenadas de ubicación, geometría, descripción del rasgo, referencias cartográficas, datos relativos al descubrimiento, información de los datos batimétricos de respaldo, entre otras. Existen ciertas secciones en donde será necesaria la inserción de imágenes y perfiles longitudinales o transversales que complementen la información.

La Fase III involucra la elaboración de cartografía temática que deberá suministrarse a la SCUFN para mejor apoyo de la propuesta de nombre de la forma de relieve. Esta cartografía corresponde a:

- Mapa que muestre las trayectorias de todas las líneas del levantamiento batimétrico, dentro del área donde se encuentra la geoforma.
- Imagen batimétrica donde se especifique la equidistancia entre isobatas o su índice de colores según su profundidad.
- Perfil batimétrico de la forma propuesta, indicando en una imagen la localización del perfil.
- Modelo del terreno en 3D

La información batimétrica, los formularios (en inglés) y la información de apoyo, deben enviarse a la OHI o COI, dos meses antes (en físico) o un mes antes (en digital) de la reunión anual de la SCUFN, para que esta sea considerada por sus miembros, previo a la celebración de dicha reunión [1].

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El monte submarino Galera fue descubierto mediante el análisis de datos batimétricos de alta resolución, obtenido en la campaña Amadeus, ejecutada en gran parte del segmento norte del margen ecuatoriano como se observa en la Fig. 2, a bordo del buque francés B/I L'Atalante en el año 2005.

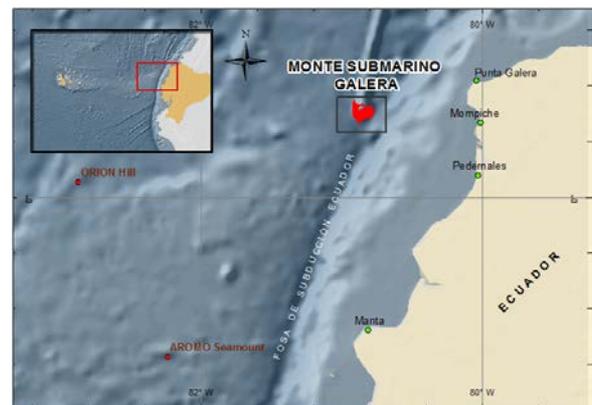


Fig. 2. Mapa de ubicación del monte submarino Galera.

Mediante el empleo de sistemas de información geográfica (SIG) y datos multihaz obtenidos en la campaña Amadeus, se elaboró un raster del modelo digital del terreno, a partir del cual se obtuvo las isobatas, el mapa de sombras y pendientes, como insumos para el análisis geomorfológico. La superficie batimétrica que encierra la geoforma en mención presentó valores que oscilaban entre los 320 y 3 815 metros de profundidad. La Fig. 3 muestra un mapa batimétrico del área de estudio, en donde se observa

que el mayor rasgo submarino encontrado corresponde a una sección de la fosa de subducción Ecuador, específicamente en el segmento central morfoestructural del margen continental ecuatoriano [6]. Desde el borde de esta fosa hacia el noreste, se observaron pequeñas protuberancias o elevaciones, una de las cuales ocupa un área aproximada de 191 km<sup>2</sup>, posee una altura de 1027 m y su isóbata más baja es de 3281 m, como se muestra en el perfil longitudinal del rasgo submarino de la Fig. 3.

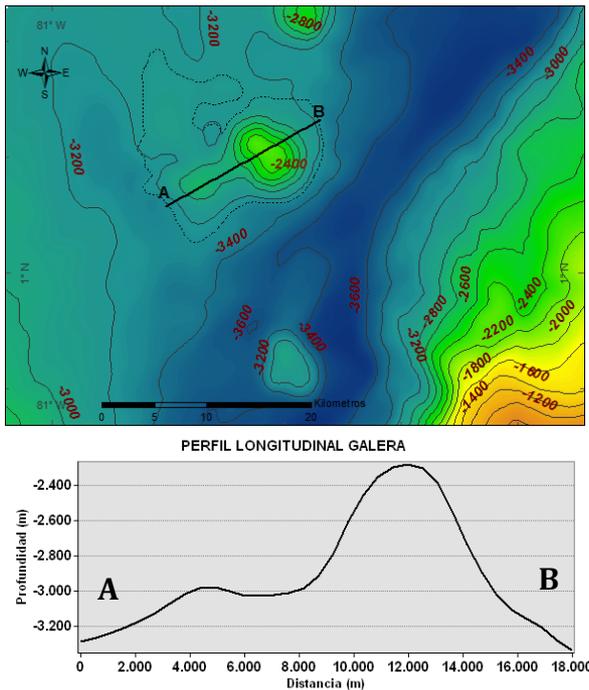


Fig. 3. Mapa batimétrico de la zona de estudio y perfil longitudinal del rasgo submarino.

Según los términos y definiciones de la publicación B-6 de la OHI-COI "Normalización de nombres de características submarinas", un monte submarino se define como "una elevación identificable generalmente equidimensional de más de 1000 m de altura con respecto al relieve circundante, medidos desde la isóbata más profunda que la rodea en su mayor parte". Con base en esta definición, se procedió a verificar los parámetros del rasgo submarino encontrado para corroborar su clasificación dentro de este grupo (ver Fig. 3 y Fig. 4), los datos más importantes que fueron enviados ante la SCUFN se resumen en la Tabla 1.

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS SUSTANCIALES DEL RASGO SUBMARINO

Datos	Valores	
	Latitud	Longitud
Coordenadas de Ubicación	00°41.60'N	80°54.62'W
profundidad máxima	3281 m	
profundidad mínima	2254 m	
Altura de la geoforma	1027 m	
Área	191 km <sup>2</sup>	
Pendiente	75%	
Fecha de levantamiento	Febrero/marzo 2005	
Plataforma científica	RV L'Atalante	
Equipo de sondeo	EM12Dual	
Precisión horizontal estimada	0.027	
Distancia entre líneas	3000 – 140000 m	

Una vez identificada la geoforma y obtenida la información técnica que sustente su existencia, se propuso el nombre de Galera, debido a su cercanía con el rasgo geográfico sobresaliente conocido como Punta Galera, ubicado en el borde costero, al sur de la provincia de Esmeraldas en el Ecuador continental. (Ver Fig. 2).

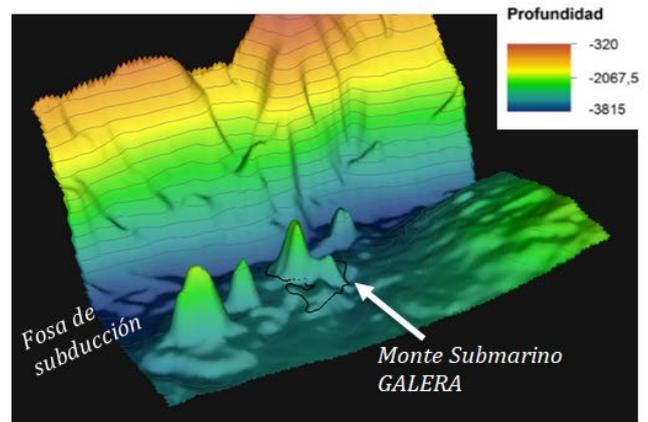


Fig. 4. Vista del modelo del terreno en 3D de la geoforma submarina Galera, donde se observa la cercanía hacia la fosa de subducción.

El monte submarino Galera está ubicado a una distancia aproximada de 9.44 km en el segmento norte de la fosa de subducción ecuatoriana, donde la placa de Nazca se subduce por debajo de la placa sudamericana a razón de 54mm/año [8]. Debido a su proximidad y a la velocidad de subducción es posible que en ~15000 años, este monte submarino se encuentre en el límite de la fosa.

El interés por el rol que desempeñan los montes submarinos está relacionado con los peligros geológicos [7]. Una vez que un monte submarino ingresa en una zona de subducción, se espera que afecte profundamente la morfología, estructura e historia del movimiento vertical de la región del antearco entre el eje de la fosa de subducción y el arco volcánico. La subducción del monte submarino también puede influir en el grado de acoplamiento entre las placas superior e inferior y puede afectar la sismicidad, especialmente la magnitud y la frecuencia de grandes terremotos [7].

Estudios recientes han demostrado que los montes submarinos juegan un papel importante controlando el historial de ruptura de grandes terremotos, en particular, actuando como barreras o como asperezas en los terremotos [9], [10].

Asimismo, la localización de las geoformas permite conocer los sitios de concentración de biodiversidad debido a los diferentes gradientes de profundidad y pendiente. Estas diferencias batimétricas conllevan variaciones en la productividad marina y en los patrones de biodiversidad asociados a la complejidad del hábitat [11].

#### IV. CONCLUSIONES

El monte submarino Galera fue aprobado por la SCUFN e incluido en *Undersea Feature Names Gazetteer* en el año 2017, ocupando una superficie de aproximadamente 191 km<sup>2</sup> y cuya profundidad máxima y mínima corresponde a 3281 m y 2264 m, respectivamente. Hasta 2017, se han descubierto y caracterizado un total de 15 formas del relieve submarino en el territorio marítimo ecuatoriano, 9 de ellas

por parte del INOCAR. Sin embargo, la morfología del fondo marino del espacio marítimo ecuatoriano es muy compleja, por lo que es probable que existan diferentes formas del relieve submarino aún desconocidas. La subducción de los montes submarinos está relacionada con la sismicidad de las placas convergentes, actuando como barrera o asperidad. Futuros trabajos deberían centrarse en un estudio de Galera, mediante levantamiento sísmico, batimétrico, y aplicación de métodos directos de exploración a fin de conocer las propiedades geológicas y para determinar su papel en la sismica de subducción.

#### REFERENCIAS

- [1] P. Form and F. D. E. Propuesta, "Standardization of undersea feature names", Guidelines proposal form terminology. Monaco, 2017.
- [2] A. J. Kerr, "The International Hydrographic Organization and Its Involvement With Geographical Place Names," *Int. Hydrogr. Rev.*, no. 1, 1998.
- [3] NNUU, United Nations Convention on the Law of the Sea. Spanish text, vol. 1834. 1982.
- [4] L. Mayer, M. Jakobsson, G. Allen, B. Dorschel, R. Falconer, V. Ferrini, G. Lamarche, H. Snaithe, and P. Weatherall, "The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030," *Geosciences*, vol. 8, no. 2, p. 63, 2018.
- [5] I. H. O. Intergovernmental Oceanographic Commission (of UNESCO), "Twenty fourth meeting of the GEBCO Sub-Committee on Undersea Feature Names (SCUFN)," Beijing, China, 2011.
- [6] A. P. Jean-Yves Collot, François Michaud, Alexandra Alvarado, Boris Marcaillou, Marc Sosson, Gueorgui Ratzov, "Visión general de la morfología submarina del margen convergente de EcuadorSur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie," *Geol. y Geofísica Mar. y Terr. del Ecuador*, pp. 47–74, 2009.
- [7] A. Watts, A. Koppers, and D. Robinson, "Seamount Subduction and Earthquakes," *Oceanography*, vol. 23, no. 01, pp. 166–173, 2010.
- [8] R. Trenkamp, J. N. Kellogg, J. T. Freymueller, and H. P. Mora, "Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 157–171, 2002.
- [9] A. Nishizawa, K. Kaneda, N. Watanabe, and M. Oikawa, "Seismic structure of the subducting seamounts on the trench axis: Erimo Seamount and Daiichi-Kashima Seamount, northern and southern ends of the Japan Trench," *Earth, Planets Sp.*, vol. 61, no. 3, pp. e5–e8, 2009.
- [10] S. Das and A. B. Watts, "Effect of Subducting Seafloor Topography on the Rupture Characteristics of Great Subduction Zone Earthquakes," in *Subduction Zone Geodynamics*, 2009, pp. 103–118.
- [11] C. R. McClain and L. Lundsten, "Assemblage structure is related to slope and depth on a deep offshore Pacific seamount chain," *Mar. Ecol.*, vol. 36, no. 2, pp. 210–220, 2015.

# Compilación y análisis de data batimétrica relevante previo a la determinación de la plataforma continental jurídica del Ecuador

Nilton Sánchez, Lourdes Muñoz, Karla Tituana, Isabel García, Carolina Rivas, Andrea Suárez  
Grupo de Extensión de la Plataforma Continental/Dirección de Plataforma Continental y Fondo Oceánico  
(DIPAFO)/Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR)

nilton.sanchez@inocar.mil.ec, lourdes.munoz@inocar.mil.ec, isabel.garcia@inocar.mil.ec, karla.tituana@inocar.mil.ec,  
carolina.rivas@inocar.mil.ec, andrea.suarez@inocar.mil.ec

**Resumen**—La Cordillera de Carnegie, originada a partir de la interacción entre el centro de expansión Cocos-Nazca con el punto caliente de Galápagos ~ 23 Ma y considerada una prolongación natural de la Provincia Volcánica de Galápagos, se encuentra localizada entre las Islas Galápagos y la Costa Ecuatoriana Continental con una alineación W-E. Esta cordillera submarina puede ser utilizada para respaldar una nueva delimitación de los límites jurídicos de la plataforma continental aplicando el Art. 76 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR). Bajo esta premisa se crearon perfiles longitudinales a partir de los softwares hidrográficos GeoMapApp, QPS Fledermaus y QPS Quimera a partir de datos existentes tomados por el BAE ORION en los años 2014 y 2016, con el objetivo principal de desarrollar una caracterización preliminar de la cordillera y su extensión en el fondo oceánico. Se pudo observar continuidad de la cordillera después de la estructura de la “Montura de Carnegie” en los perfiles multihaz latitudinales y longitudinales que muestran una diferencia de profundidad de ~ 3 km en ambos flancos hacia las cuencas sedimentarias. Como resultado, debido a las características complejas detectadas en la Cuenca de Panamá (flanco norte) y la Cuenca Peruana (flanco sur), se eligieron 11 pies de talud tentativos (FOS) para extender 60 millas náuticas el límite de la plataforma continental siguiendo las restricciones impuestas por la CONVEMAR, obteniendo un área marítima total extendida de 126,4 km<sup>2</sup>.

**Palabras Claves**—Montura de Carnegie, perfiles multihaz latitudinales y longitudinales.

**Abstract**—The Carnegie Ridge, created from the interaction between the Cocos-Nazca spreading center and Galápagos Hotspot ~23 Ma, and considered as a natural prolongation of Volcanic Galapagos Province, lies between The Galapagos Islands and the Continental Ecuadorian Coast with a W-E lineation. This submarine ridge can be used to support a new delimitation of the juridical continental shelf boundaries applying the Act. 76 of the United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS). Hence, longitudinal profiles were created with hydrographic software such as GeoMapApp, QPS Fledermaus and QPS Quimera from existing data taken by the R/V-91 Orion in 2014 and 2016, with the main purpose of developing a preliminary characterization of the ridge and its extension in the ocean floor. A lateral continuation of the ridge can be seen after the “Galápagos Saddle” structure in the latitudinal and longitudinal multibeam profiles, which also shows a depth difference of ~3 km in both flanks toward the sedimentary basins. As a result, due to complex features spotted in the Panama Basin (northern flank) and Peruvian Basin (southern flank), 11 tentative foot of the slope (FOS) were chosen to extend 60 nautical miles the continental shelf boundary, following the restrictions imposed by UNCLOS, obtaining a total extended maritime area of 126.4 km<sup>2</sup>.

**Keywords**—Carnegie-Galápagos Saddle, latitudinal and longitudinal multibeam profiles.

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el párrafo 1 del Artículo 76 de la CONVEMAR, “la plataforma continental de un Estado ribereño comprende el lecho y el subsuelo de las áreas submarinas que se extienden más allá de su mar territorial y a todo lo largo de la prolongación natural de su territorio hasta el borde exterior del margen continental, o bien hasta una distancia de 200 millas marinas contadas desde las líneas de base a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial” [1]. En el caso de la República del Ecuador, y en base a varios estudios científicos y técnicos ejecutados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) desde el año 2012, y en referencia a las Guías Técnicas establecidas por la Comisión de Límites de la Plataforma Continental (CLCS, por sus siglas en inglés) [2], existen dos escenarios para trazar los límites exteriores aplicando la denominada Prueba de Pertenencia: desde el Ecuador continental y desde las Islas Galápagos. El primer caso no es factible debido a que no se cumple el principio de prolongación natural por la existencia de la Fosa Ecuatoriana. Por el contrario, el Archipiélago de Galápagos y su plataforma forman un alineamiento continuo en dirección W-E, y es allí donde el artículo 76 [1] sí puede ser aplicado.

Desde la plataforma insular de las Islas Galápagos se forma una cordillera submarina llamada Carnegie, la cual se originó hace 23 millones de años aproximadamente [3] como resultado de la interacción tectónica y volcánica continua entre el Centro de Convergencia Cocos-Nazca (CNSC), y el Punto Caliente de Galápagos (Galápagos Hotspot). Acorde con Sallares [3], a pesar de varios estudios efectuados a lo largo de la Cordillera de Carnegie (tales como composición geoquímica, estructura de las cortezas oceánicas, propiedades físicas, geología, y morfología del fondo), la existencia de gradientes de profundidad muy pronunciados e irregulares en sus flancos norte y sur hace difícil la identificación preliminar los puntos del pie de talud continental, con la batimetría disponible. A fin de solventar aquello, el presente trabajo analiza la data batimétrica de los seis primeros cruceros efectuados por el BAE ORION entre los años 2014 y 2016 en el área de posible extensión (denominada RIGHEL), con el objetivo de obtener una caracterización preliminar del fondo oceánico y poder conocer si la Cordillera submarina de Carnegie es

determinante para la potencial extensión de la plataforma continental jurídica del Ecuador [4].

## II. MÉTODO

Para analizar lo indicado, se efectúa 1) la compilación y procesamiento de la data batimétrica disponible hasta el año 2016 en el área RIGHEL, 2) el análisis con perfiles batimétricos latitudinal y longitudinal y posteriormente, 3) el análisis de las superficies obtenidas en complemento a lo descrito en el Artículo 76 de la CONVEMAR, así como la necesidad de información adicional. 1) Conociendo que no existen bases de datos en el Ecuador que contengan información proveniente de ecosondas de haz simple y multihaz, en especial de plataformas de investigación de otros países, se seleccionaron 02 fuentes importantes: a) los datos obtenidos con la ecosonda multihaz Kongsberg EM-302 desde el año 2014, existente en el BAE ORION, ilustrados en la Fig. 1, y b) los datos de NCEI (National Centers for Environmental Information), entidad perteneciente a la NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration) [5], ilustrados en la Fig. 2.

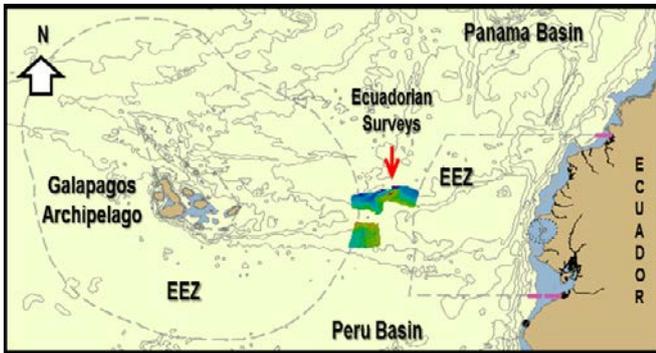


Fig. 1. Ubicación de los 06 levantamientos batimétricos ejecutados por la BAE ORION en el área de potencial extensión.



Fig. 2. Información recopilada de la página web de NCEI, la cual posee un repositorio de todos los levantamientos batimétricos a nivel mundial desde el año 1960 [5].

2) Con la información obtenida, se obtuvieron varios perfiles batimétricos (tal y como se ilustra en la Fig. 3 y Fig. 4), en complemento con los siguientes programas hidrográficos: GeoMapApp (versión 3.6.3), QPS Fledermaus (versión 7.6.3), QPS Quimera y los reportes de los siguientes proyectos de perforación submarina ejecutados cerca del área de estudio (Ruta 16, perforaciones 156 y 157; Ruta 70, perforaciones desde 506 hasta 510; Ruta 54, perforación 425; y Ruta 202, perforaciones 1238, 1239, 1240 y 1241) [6]. Adicional a aquello, se utilizó la información de la página web del SCUFN (GEBCO Sub-

Committee on Undersea Feature Names), con el fin de identificar las principales características del fondo marino en el área de estudio [4].

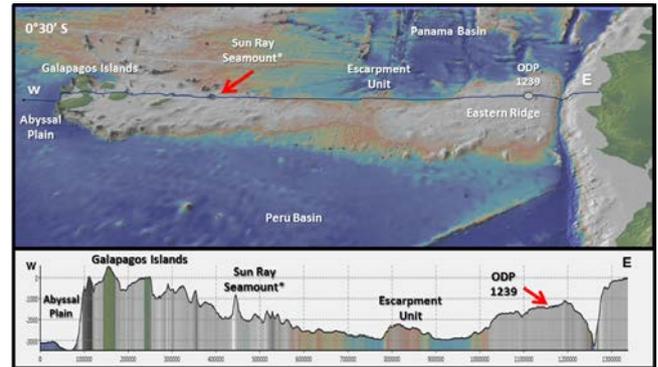


Fig. 3. Perfil latitudinal ( $0^{\circ}30'S$ ) a lo largo de la Cordillera de Carnegie. Se pueden observar que su área central (denominada Montura de Carnegie o Carnegie Saddle) posee cierta continuidad, la cual debe ser demostrada con información adicional.

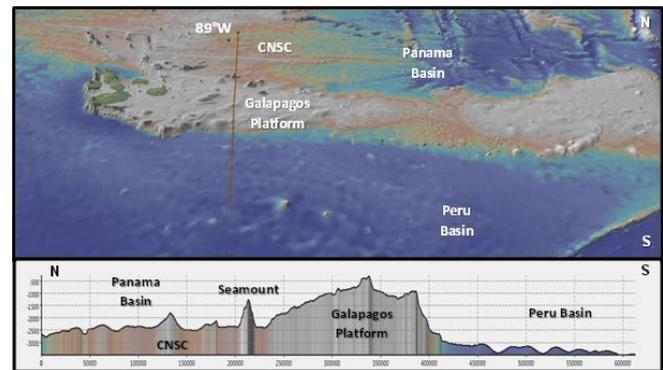


Fig. 4. Perfil longitudinal ( $89^{\circ}W$ ) a través de la Cordillera de Carnegie y plataforma insular. Se pueden observar el contraste existente entre las 02 cuencas oceánicas adyacentes (Panamá y Perú).

Los perfiles latitudinales generados permiten demostrar preliminarmente que la Cordillera submarina de Carnegie es la prolongación natural de la plataforma insular ecuatoriana. Es decir, los datos batimétricos obtenidos a lo largo de la cordillera no presentan ningún corte o interrupción, especialmente en el área central denominada Montura de Carnegie (o Carnegie Saddle). Además, se pudo comprobar que la zona de transición de profundidad entre la cordillera y las cuencas oceánicas adyacentes se encuentra aproximadamente a 3.000 metros [4]. El flanco norte presenta varias elevaciones submarinas cerca de la plataforma insular, además de una zona de escarpe pronunciada ubicada en el área central, tal como se ilustra en la Fig. 5.

De acuerdo con el reporte del proyecto de perforación 1240 (ODP 1240), la influencia de la Corriente Subecuatorial pudo originar varios valles submarinos en el área [6]. De la misma forma, los perfiles longitudinales generados permiten demostrar el contraste existente entre la Cordillera de Carnegie y las cuencas oceánicas adyacentes. En el flanco norte, el veril de 3.100 metros preliminarmente representa la transición entre la cordillera y la cuenca de Panamá, mientras que la transición con la cuenca de Perú se encuentra aproximadamente a 3.000 metros [4]. Aunque la morfología del fondo oceánico en esta cuenca es relativamente plana en comparación a la cuenca de Panamá, la presencia de montañas submarinas dispersas, depresiones

circulares y valles estrechos en el flanco sur (Fig. 6), hacen difícil identificar los puntos de máximo cambio de gradiente [4].

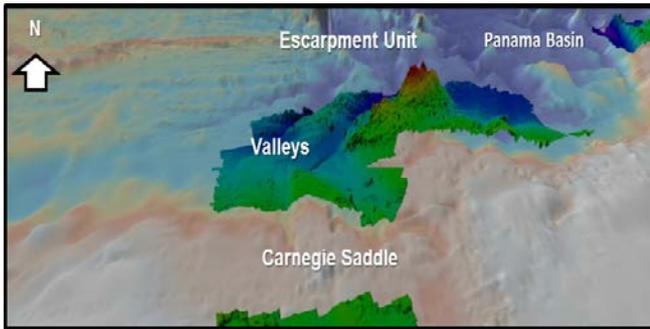


Fig. 5. Principales características geomorfológicas identificadas en el flanco norte de la Cordillera de Carnegie.

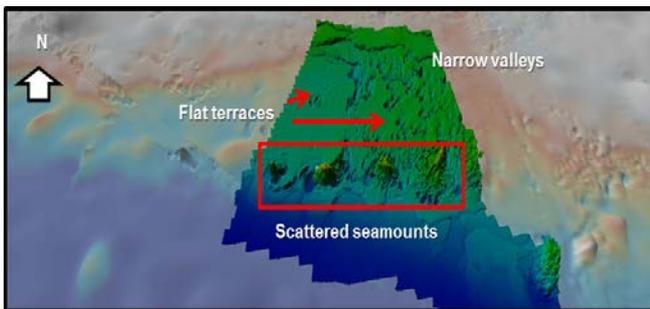


Fig. 6. Principales características geomorfológicas identificadas en el flanco sur de la Cordillera de Carnegie.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La CONVEMAR establece zonas marítimas para los Estados ribereños y Archipelágicos [1]. En el caso de las Islas Galápagos, y aplicando su Parte IV Estados Archipelágicos y 121 Régimen de Islas: los puntos extremos y más alejados de sus islas determinan sus líneas de base (aprobadas por Decreto Ejecutivo del año 1971) y sus aguas interiores; su Mar Territorial se extiende desde su sistema de líneas de base hasta una distancia de 12 millas náuticas; su Zona Contigua se extiende desde el límite de las 12 millas náuticas del Mar Territorial hasta 24 mn; y su Zona Económica Exclusiva se extiende más allá de las 200 millas náuticas desde las líneas de base [2]. Estas áreas, ilustradas en la Fig. 7, corresponden a la plataforma continental jurídica de las Islas Galápagos, mientras que la plataforma continental científica o margen continental está compuesta por la plataforma continental, el talud continental y emersión continental todas ubicadas en la misma corteza continental (en este caso, insular) [2].



Fig. 7. Plataforma continental jurídica aplicada para las Islas Galápagos, basado en lo detallado en el Artículo 121 de la CONVEMAR [7].

Para efectos del presente trabajo y debido a la disponibilidad de la información indicada anteriormente, el cálculo de los límites exteriores más allá de las 200 millas náuticas se generó a partir de puntos hipotéticos de pie de talud, identificados en la zona de la base del pie de talud en ambos flancos de la Cordillera de Carnegie (Fig. 8). Es decir, en la zona de transición de profundidad entre ella y las cuencas oceánicas de Panamá y Perú.

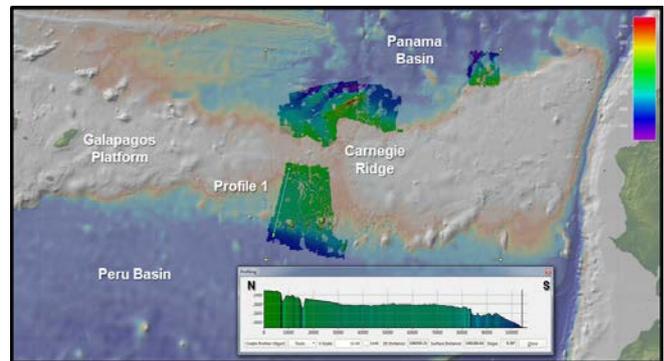
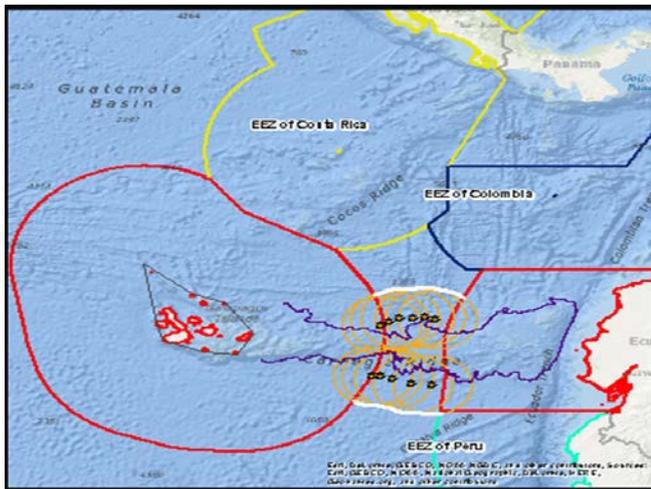
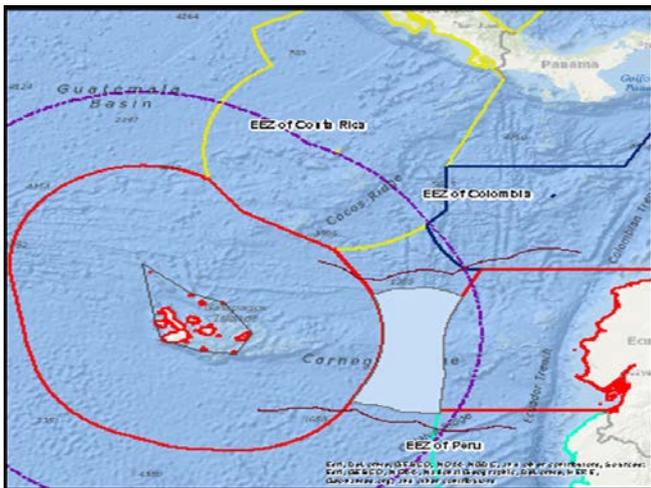


Fig. 8. Identificación de los puntos hipotéticos de pie de talud en ambos flancos de la Cordillera de Carnegie con el programa QPS Quimera.

Tal y como se detalla en el párrafo 4 del Artículo 76, los Estados ribereños pueden establecer los límites exteriores del margen continental más allá de las 200 millas náuticas mediante una línea que una puntos fijos no más de 60 mn del pie de talud continental, o situados donde el espesor de las rocas sedimentarias sea por lo menos 1% de la distancia más corta entre ese punto y el pie de talud continental [1]. En cuanto al límite del área de extensión de la plataforma continental existen dos tipos de restricciones según la geoforma, si se considera a Carnegie como cordillera submarina, su límite exterior no puede exceder las 350 mn medidas desde las líneas de base (lo cual no aplica a elevaciones submarinas); por el contrario, si se considera a la cordillera de Carnegie como una elevación submarina, el párrafo 5 del mismo artículo indica que el límite exterior no debe sobrepasar 100 mn desde la isobata de 2.500 metros [2]. En consecuencia, el proceso para determinar el área de potencial extensión se muestra en la Fig. 9(a) y Fig. 9(b).



(a)



(b)

Fig. 9. Procesamiento en el programa ArcGIS versión 10.3.1 que ilustra el proceso de extensión de plataforma continental desde las Islas Galápagos, tomando en cuenta las Zonas Económicas Exclusivas de los países vecinos (rojo: Ecuador, azul: Colombia y amarillo: Costa Rica).

La Fig. 9(a) muestra la identificación de los puntos hipotéticos de pie de talud (color naranja) y el trazado del límite exterior desde el pie de talud continental (línea color blanco); como referencia se muestra la isóbata de 2.500 m en color púrpura; la Fig. 9(b) muestra en cambio la restricción de 100 millas náuticas a partir de la isóbata de 2500 m (color vino) y la restricción de 350 millas náuticas (líneas púrpuras punteadas). Finalmente, como resultado hipotético del procesamiento, se muestra la plataforma continental extendida (polígono celeste claro), la cual, para efectos del presente estudio, tiene una superficie aproximada de 126.353,5 km<sup>2</sup>.

#### IV. CONCLUSIONES

La presente configuración de la plataforma insular de Galápagos y la Cordillera de Carnegie podrían confirmar que ambas, junto al área de posible extensión, comparten un origen común desde la interacción del CNSC y punto caliente de Galápagos hace 23 millones de años. Los perfiles batimétricos obtenidos permiten demostrar que el área de la Montura de Carnegie es una estructura geológica continua. Por lo tanto, la morfología del fondo oceánico entre la plataforma insular de Galápagos y Cordillera submarina de

Carnegie poseen similares características. Con base a lo establecido en la CONVEMAR y en las Guías Científicas y Técnicas del Comité de Límites de la Plataforma Continental, la identificación de puntos de pie de talud permite determinar una potencial área de extensión de plataforma desde las islas Galápagos de aproximadamente 126.353,5 km<sup>2</sup>. Conociendo que los puntos de máximo cambio de gradiente son difíciles de identificar con la data batimétrica disponible, es mandatorio efectuar campañas batimétricas adicionales para determinar la base del pie de talud, el cual puede ser localizado, basado en la metodología del presente trabajo, en las zonas de transición de profundidad entre la cordillera y las cuencas de Panamá y Perú, de acuerdo a la Fig. 10.

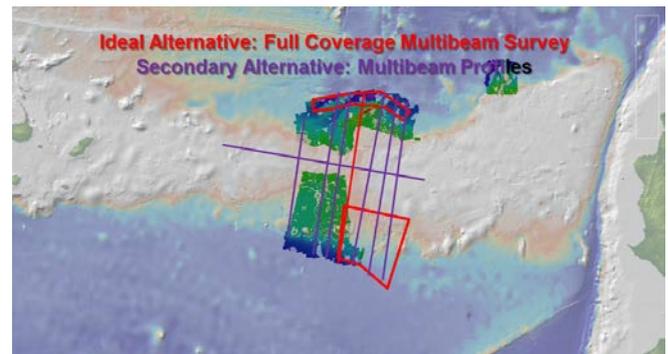


Fig. 10. Áreas donde se recomienda ejecutar campañas batimétricas adicionales, como resultado del presente trabajo.

#### REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas, “Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar,” 1994. [En línea]. Disponible: [http://www.un.org/depts/los/convention\\_agreements/texts/unclos/convemar\\_es.pdf](http://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf).
- [2] Organización de las Naciones Unidas, “Directrices Científicas Y Técnicas De La Comisión De Límites De La Plataforma Continental,” 1999. [En línea]. Disponible: [http://www.un.org/depts/los/clcs\\_new/documents/Guidelines/CLCS\\_11.htm](http://www.un.org/depts/los/clcs_new/documents/Guidelines/CLCS_11.htm).
- [3] V. Sallarès, C. Witt, F. Michaud, A. Calahorrano, S. Hidalgo y P. Samaniego, “Technical and scientific report on the natural prolongation of the Carnegie Ridge with respect to the Galapagos platform,” 2008. [En línea]. Disponible: <https://almud.cmima.csic.es/output/data/files/IDI/Valenti/Convemar/Carnegie/InformeCarnegieConvemar-Abril2008.pdf>.
- [4] N. Sánchez, “The Compilation and Analysis of Bathymetric Relevant Data, Prior the Determination of the Juridical Continental Shelf of Ecuador,” 2016. [En línea]. Disponible: <http://ccom.unh.edu/seminars/compilation-and-analysis-bathymetric-relevant-data-prior-determination-juridical>.
- [5] “National Centers for Environmental Information,” National Oceanic and Atmospheric Administration, [En línea]. Disponible: <https://www.ngdc.noaa.gov/>. [Último acceso: 2016].
- [6] I. O. D. Program, “Mapas y herramientas en formato kml: Archivos de perforaciones de océano profundo de los programas DSDP, ODP, e IODP,” Mapas y herramientas en formato kml: Archivos de perforaciones de océano profundo de los programas DSDP, ODP, e IODP, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.iodp.org/resources/maps-and-kml-tools>.
- [7] J. Batongbacal, “Arbitration 101: Philippines V. China,” 2013. [En línea]. Disponible: <https://amti.csis.org/arbitration-101-philippines-v-china/>.

# Vulnerabilidad de estructuras en base a los periodos de vibración

Andrea Cevallos<sup>a</sup>, Angie Burbano<sup>a</sup>, Ronny Moreano<sup>a</sup>, Pablo Caiza<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante, Carrera de Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí Ecuador.

<sup>b</sup> Profesor, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí Ecuador.

aecevallos7@espe.edu.ec, aeburbano@espe.edu.ec, rjmoreano@espe.edu.ec, pecaiza1@espe.edu.ec

**Resumen**—Se estudia el cociente, alto de la edificación para periodo de vibración, como un indicador de la vulnerabilidad de edificaciones en el Ecuador. En primer lugar, se lo calcula en modelos analíticos de 2 y 3 pisos. Debido a la dificultad en modelar la mampostería, se sugiere la estimación del periodo de vibración por medios experimentales. Se describe una metodología que usa equipos y software ya disponibles en el Ecuador. Se concluye que este cociente H/T es un parámetro relativamente confiable para determinar la vulnerabilidad estructural. Finalmente, para reducir costos, se propone el uso de acelerómetros tipo Arduino.

**Palabras Claves**—Vulnerabilidad estructural, períodos de vibración, acelerómetros.

**Abstract**—The quotient, building height to vibration period, is studied as an indicator of the vulnerability of buildings in Ecuador. First, it is calculated in 2- and 3-story analytical models. Due to the difficulty in modeling the masonry, it is suggested to estimate the period of vibration by experimental means. A methodology is described that uses equipment and software already available in Ecuador. It is concluded that this H / T ratio is a relatively reliable parameter to determine structural vulnerability. Finally, to reduce costs, the use of Arduino type accelerometers is proposed.

**Keywords**—Structural vulnerability, vibration periods, accelerometers.

## I. INTRODUCCIÓN

El sismo de 16 de abril de 2016, en Pedernales, Ecuador, mostró la elevada vulnerabilidad de las edificaciones aporricadas que se usan tradicionalmente en el país. Sobre todo se presentaron fallas en la mampostería, tanto dentro como fuera de su plano, como se muestra en la Figura 1.



Fig. 1. Fallas en la mampostería por el sismo de 16 de abril de 2016

Su abundancia provocó diferentes estudios. Por ejemplo, en el trabajo de Jorge Silva [1] se analiza una muestra de 10 residencias de hormigón armado de 2 y 4 pisos con características tradicionales tales como losas alivianadas con vigas embebidas, columnas relativamente esbeltas y, sobre todo, con mampostería confinada hecha con bloques alivianados de baja calidad.

Los modelos analíticos mostraron que este tipo de estructuras no son capaces de soportar las cargas sísmicas requeridas por la norma ecuatoriana de la construcción actual, NEC-15 [2], si es que no se considera la contribución de la mampostería. Se concluye que el esqueleto de hormigón armado es excesivamente flexible y que colapsaría si no existiera el apoyo de la mampostería. Es decir, por ésta, por la forma de construir en el país, tiene un valor estructural.

Sin embargo, por su mala calidad, se daña mucho, tanto en extensión como en el grosor de fisuras y grietas. En particular, la deriva a partir de la cual ya se observa daño es de 0.005. Una alternativa para disminuir la cantidad de daño es rigidizar la estructura. Puesto que el 90% de las edificaciones en hormigón armado del país tienen esta tipología vulnerable, este reforzamiento es esencial. Pero, en primer lugar, ¿cómo determinar la facilidad o no de sufrir daño, y por tanto el tipo de reforzamiento necesario?

La extensión del daño esperado se puede estimar de manera aproximada por medio de relaciones tales como el alto de la estructura respecto a su periodo de vibración fundamental,  $H$  [m]/ $T$ [seg]. Estudios realizados en Chile [3] muestran que si ésta está entre 20 y 40, la edificación es flexible y por tanto se espera mucho daño. El parámetro clave en el cociente anterior es el periodo de vibración y por tanto debe estimarse de la forma más precisa posible. En efecto, ya se ha indicado, por ejemplo, que los modelos analíticos deben incluir la mampostería, lo que afecta en menos a estos períodos. Sin embargo, la rigidez de la

mampostería es difícil de estimar, pues su comportamiento es no lineal y además está afectada por su forma de construcción.

Este artículo propone estimar la vulnerabilidad estructural a partir de la relación H/T, donde el periodo de vibración se obtiene experimentalmente. Aquí se describirá una metodología basada en los equipos y software disponibles en el país. Vale la pena indicar que el costo de los acelerómetros es un impedimento a la hora de difundir esta técnica de la manera más amplia posible. Por tanto, en este artículo también se propone el uso de acelerómetros basados en la tecnología Arduino, que reduce costos sustancialmente.

Las relaciones H/T obtenidas para una muestra de residencias tipo se describen en la sección II. Luego, el fundamento teórico para la obtención de períodos de vibración a partir de registros acelerográficos se encuentra en la sección III. La metodología de medición de registros acelerográficos y su tratamiento se describen con un caso práctico en la Sección IV. Los resultados se leen en la sección V. El acelerómetro Arduino es descrito en la sección VI. Finalmente, conclusiones relevantes son presentadas en la sección VII.

## II. VALORES H/T EN RESIDENCIAS DEL ECUADOR

La Tabla I muestra alturas y períodos de vibración de 10 residencias de 2 y 4 pisos de alto. Nótese que se muestran los períodos sin y con mampostería y los correspondientes valores, H/Tsin y H/Tcon.

Vale la pena indicar que el modelo analítico considera las vigas y columnas con una reducción en la rigidez de 50 y 20 % respectivamente. Las vigas embebidas tienen dimensiones equivalentes, sumando las dimensiones del primer nervio adyacente de losas nervadas bidireccionales. Estas losas asumen comportamiento de membrana. Las estructuras se consideran empotradas a nivel de la calle. Para las mamposterías se ha considerado el modelo del puntal con las características descritas en FEMA 356 (2000) [5]. Los puntales se encuentran tanto en una dirección como en la opuesta en vanos con paneles completos de mampostería. Los valores de carga permanente, usados según NEC-15 para calcular la masa, incluyen el peso propio de la estructura, y cargas adicionales, por los acabados de construcción y mamposterías, de 300 kgf/m<sup>2</sup>.

TABLA I  
VALORES H/T PARA UNA MUESTRA DE RESIDENCIAS EN ECUADOR.

	H [m]	Tsin [seg]	H/Tsin	Tcon [seg]	H/Tcon
1.	5.36	0.47	11	0.29	18
2.	5.28	0.548	10	0.433	12
3.	5.44	0.45	12	0.279	19
4.	6.23	0.439	14	0.196	32
5.	5.22	0.336	16	0.211	25
6.	7.94	0.647	12	0.449	17
7.	10.36	0.827	13	0.382	27
8.	10.24	0.685	15	0.516	20
9.	10.57	0.567	19	0.371	28
10.	10.60	0.709	15	0.541	20

Se conoce, a partir de resultados analíticos, que las edificaciones de la muestra son muy vulnerables ante sismos y que, si bien en su gran mayoría no colapsan, sí sufren daños extensos en las mamposterías [1]. En la Tabla I se

observa que el cociente H/Tsin que describe este tipo de comportamiento está entre 10 y 19. 10 ó menos indicará daño excesivo y hasta probable colapso, en tanto que 20 ó más indicará daño moderado o leve. El cociente H/Tcon tendrá el comportamiento indicado anteriormente si está entre 18 y 29. 17 o menos indicará probable colapso, y 30 ó más, significará daño moderado o leve. En todo caso, se observa que los periodos son mucho mayores que los usualmente esperados. Adicionalmente, nótese que en este artículo aún no se ha considerado el efecto negativo de posibles irregularidades en planta y en elevación, que al producir esfuerzos adicionales, acelerarían la falla estructural.

## III. OBTENCIÓN DE PERIODOS DE VIBRACIÓN A PARTIR DE REGISTROS ACELEROGRÁFICOS

En la sección anterior se mostraron resultados analíticos de períodos de vibración que varían mucho de acuerdo a los elementos estructurales, en este caso mamposterías, que se consideran o no. Otra forma de calcularlos sería de forma experimental. De esta forma, también se validarían los modelos analíticos.

Obsérvese que los períodos de vibración en edificaciones dependen de su rigidez y masa. Mientras más masa, mayor periodo, y mientras más rigidez, menor periodo. Usualmente unos pocos modos de vibrar controlan el comportamiento estructural, siendo el más importante el de periodo más largo, denominado fundamental. En forma aproximada es igual a 0.11 veces el número de pisos. También es posible obtenerlo a partir del análisis de las aceleraciones ambientales de la edificación. Es necesario sin embargo, que la frecuencia de muestreo de las aceleraciones sea por lo menos dos veces la de la frecuencia fundamental de la edificación que se desea medir. Las frecuencias son simplemente el inverso de los períodos. El modo fundamental de vibración es usualmente lineal, aumentando con la altura. El mejor lugar para captarlo, puesto que las aceleraciones son mayores, es en la terraza de la edificación. Para obtener un resultado claro de la frecuencia fundamental, la señal acelerográfica se somete a un proceso de "limpieza" con filtros que eliminan frecuencias más altas o bajas que la deseada. El tratamiento matemático estándar para obtener la frecuencia fundamental de vibración a partir del registro acelerográfico es la transformada rápida de Fourier (FFT) [4]. Mientras más tiempo tenga el muestreo, más claramente se observarán las frecuencias propias de la estructura.

## IV. MEDICIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS ACELEROGRÁFICOS (CASO PRÁCTICO)

Se medirá el periodo de vibración fundamental del edificio de la Cámara de la Industria de la Construcción, CAMICON, ubicado en Quito, sector Ñaquito.

Se trata de un edificio de 8 pisos de alto más un subsuelo. Está constituido por pórticos con vigas descolgadas y losas alivianadas bidireccionales en hormigón armado. Es un edificio para oficinas, tiene acabados de costos medios y abundantes paredes de bloque, a excepción del ducto del ascensor donde son de ladrillo [5].

La medición se realiza con un acelerómetro tipo Libelium

Plug and Sense. Se conecta directamente a un computador para obtener su máxima capacidad de registro que es de 50 Hz. Se lo coloca en el centro de masas de la terraza y se lo opera por una hora. Un modelo analítico inicial de la edificación mostró un periodo fundamental de alrededor de 1 segundo, que se usa de referencia para escoger el número de registros y el tipo de filtros que se usarán en el tratamiento de la señal. Usando este dato, se trabaja con una frecuencia de muestreo de 10 puntos por segundo, ligeramente mayor que dos veces el número de puntos necesario para registrar completamente una señal con un periodo de 1 seg (4 puntos). Además se filtran los períodos menores a 0.3 y mayores a 5 Hz usando el método de Chebyshev, pues es el que da los resultados más claros. Los registros se manejan con el programa Seismosignal.

## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La transformada rápida de Fourier tipo que se obtiene del proceso descrito anteriormente se tiene en la Figura 2.

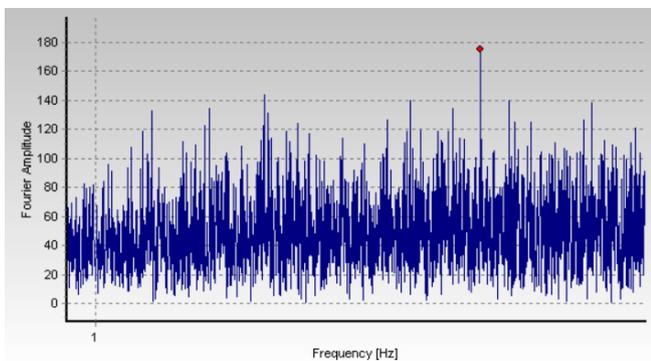


Fig. 2. FFT obtenida en el programa Seismosignal

Se observa una gran cantidad de picos, que representan ruido, pero también un valor máximo que se diferencia claramente y que corresponde a la frecuencia fundamental de vibración de la edificación.

Nótese que del registro inicial se extrajeron un total de 10 señales, 5 en sentido del largo en planta del edificio y 5 en sentido perpendicular. Cada señal tiene 4 “versiones”, de acuerdo a la forma en que se tomen datos para obtener 10 puntos por segundo. Estas “versiones” tienen una extensión de 32768 puntos cada una y, como ya se indicado, una frecuencia de muestreo de 10 veces por segundo. La extensión de las “versiones” se debe a la capacidad del software Seismosignal [6].

Los resultados se observan en la Tabla II. En la Tabla II se observa que hay algunas “versiones” que se alejan de los valores que se obtienen normalmente. Se considera que esto se debe a la existencia de una componente de vibración por torsión en planta.

Sin embargo, al usar simplemente valores promedio, se tiene que el periodo de vibración en el sentido largo de la edificación, denominado sentido X, es de 0.75 seg, y en sentido perpendicular, sentido Y, es de 1.10 seg.

Utilizando este último valor, la relación H/T es  $29 \text{ m}/1.1 \text{ seg} = 26.4$ .

TABLA II  
FRECUENCIAS (1/T) Y PERÍODOS DE VIBRACIÓN (T) EN REGISTROS  
OBTENIDOS EN LA CAMICON (FUENTE: CEVALLOS Y BURBANO 2018)

		SEÑAL 1		SEÑAL 2		SEÑAL 3		SEÑAL 4		SEÑAL 5	
		1/T	T								
SENTIDO X	V1	1.19	0.84	1.41	0.71	1.76	0.57	1.46	0.69	1.40	0.71
	V2	0.58	1.72	1.81	0.55	1.63	0.61	1.38	0.73	1.41	0.71
	V3	1.23	0.81	1.57	0.64	1.41	0.71	1.46	0.68	1.30	0.77
	V4	1.38	0.73	1.52	0.66	1.34	0.75	1.46	0.69	1.56	0.64
	PROMEDIO	1.09	1.03	1.58	0.64	1.54	0.66	1.44	0.70	1.42	0.71
		SEÑAL 1		SEÑAL 2		SEÑAL 3		SEÑAL 4		SEÑAL 5	
		1/T	T								
SENTIDO Y	V1	1.41	0.71	1.62	0.62	1.54	0.65	0.35	2.83	1.51	0.66
	V2	1.63	0.62	1.33	0.75	1.47	0.68	1.59	0.63	1.49	0.67
	V3	0.36	2.75	1.45	0.69	1.56	0.64	0.51	1.96	0.55	1.82
	V4	1.75	0.57	1.45	0.69	1.61	0.62	1.47	0.68	0.37	2.72
	PROMEDIO	1.29	1.16	1.46	0.69	1.55	0.65	0.98	1.53	0.98	1.47

## VI. EL DISPOSITIVO ARDUINO UNO

En este artículo se ha mostrado la posibilidad de estimar la vulnerabilidad estructural a partir del cociente H/T. El parámetro decisivo en este cociente es T, es decir el periodo de vibración de la estructura, que aquí se ha determinado de forma experimental. Sin embargo, el costo de los acelerómetros que se usan en este procedimiento, puede ser un impedimento a la hora de generalizar su aplicación.

Afortunadamente, existe la tecnología Arduino que reduce sustancialmente estos costos [7]. El dispositivo consiste de tres partes, como se observa en la Figura 3: el acelerómetro (a la izquierda), un tablero de conexión y el sistema que maneja la señal del acelerómetro para enviarla a un computador (a la derecha).

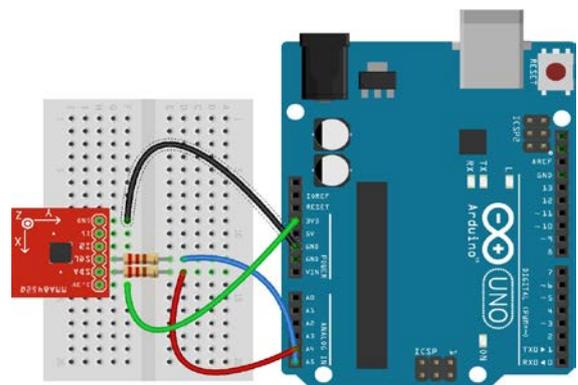


Fig. 3. Partes del dispositivo Arduino

El acelerómetro es capaz de captar señales tanto para dos ejes horizontales como para un eje vertical. Puede cambiarse de acuerdo a las necesidades de mayor o menor sensibilidad.

Este dispositivo se conecta a una computadora que lee las señales mediante el programa Arduino IDE. Este puede descargarse de <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Además, es necesario instalar el archivo de librerías del acelerómetro, y seleccionar la opción de graficación “Serial Plotter”, “115200 baud” [8].

En Ecuador, este dispositivo puede conseguirse a un precio de alrededor de 40 usd [7].

## VII. CONCLUSIONES

El cociente, altura de la edificación sobre periodo de vibración, H/T, obtenido en una muestra de 10 residencias de entre 2 y 4 pisos, muestra que un comportamiento con daño muy extenso en mamposterías, estaría definido por

valores entre 18 y 29. Este resultado es semejante al sugerido por estudios similares en Chile [3]. Sin embargo, la modelación analítica de la mampostería es relativamente complicada. Una forma alternativa de calcular el periodo de vibración fundamental de una edificación es por medio de acelerómetros. Basta con una señal obtenida en la terraza de la edificación, por ser el sitio con aceleraciones más altas. La claridad de la señal puede mejorar con un mayor tiempo de captación y mediante el uso de diferentes filtros analíticos. La transformada rápida de Fourier, muestra, a pesar de todo, ruido, pero también claramente la frecuencia de vibración fundamental de la edificación. El procedimiento que se ha descrito en este artículo usa equipo y software ya disponibles en el Ecuador. Se observó, además, que este procedimiento permite determinar de manera rápida la vulnerabilidad de una edificación. Los resultados obtenidos en este artículo, muestran una dispersión relativamente pequeña, lo que indica su confiabilidad. Un cociente tal como  $H/T$ , obtenido de forma experimental, podría incluirse de forma obligatoria en el análisis estructural de edificaciones, como un parámetro para determinar la suficiencia o no de un diseño sismorresistente. Finalmente, para facilitar la generalización de esta metodología, se podrían usar acelerómetros tipo Arduino, por su bajo costo.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Silva, "Guía de reforzamiento para estructuras informales aporricadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito", trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2017.
- [2] NEC-SE-DS, "Norma Ecuatoriana de la Construcción – Seguridad Estructural – Diseño Sismo Resistente", Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015.
- [3] T. Guendelman, J. Lindenberg, M. Guendelman, "Perfil Bío-Sísmico de edificios", *Proc. Séptimas jornadas chilenas de sismología e ingeniería antisísmica*, 1997.
- [4] FFT, Mathworld, <http://mathworld.wolfram.com/FastFourierTransform.html>, acceso 29 de abril de 2018.
- [5] A. Cevallos, A. Burbano, trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en preparación, 2018.
- [6] Seismosignal, software estructural, [www.seimosoft.com/seimosignal](http://www.seimosoft.com/seimosignal), acceso 29 de abril de 2018.
- [7] R. Moreano, trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en preparación, 2018.
- [8] Arduino IDE, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, acceso 29 de abril de 2018.

# Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone

David Carrera-Villacrés<sup>a</sup>, Edgar Guerrón-Varela<sup>a</sup>, Leidy Cajas-Morales<sup>b</sup>, Tania González-Farinango<sup>b</sup>, Erika Guamán-Pineda<sup>b</sup>, Paul Velarde-Salazar<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.

<sup>b</sup> Escuela de Ingeniería Ambiental, FIGEMPA, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

dvcarrera@espe.edu.ec, erguerron@espe.edu.ec, lccajas@uce.edu.ec, tegonzalez@uce.edu.ec, elguamanp@uce.edu.ec, pavelarde@uce.edu.ec

**Resumen**—La eutrofización representa un gran problema debido al incremento de fósforo que degrada la calidad del agua. En el Cantón Chone, Ecuador, se construyó la Presa del Proyecto Multipropósito Chone (PPMC), cuyo embalse se encuentra cubierto de plantas acuáticas, por exceso de nutrientes. Por consiguiente, se analizó la influencia de la temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) sobre las concentraciones de fosfatos para entender su relación y cómo puede afectar en la eutrofización. Se definió 26 puntos de muestreo (época seca y de lluvia); los parámetros se midieron en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Con los datos obtenidos, se realizó un análisis estadístico con el *software* “R” para evaluar las relaciones entre las variables, mediante correlación, dispersión y regresión. Se determinó que el pH no refleja relación con la variación de concentración de los fosfatos; la posible influencia de la temperatura en época seca se debe probablemente a la reducción del caudal del Río Grande ya que incrementa la concentración de fosfatos; la CE posiblemente influye, pues las concentraciones de los iones disueltos afectan los equilibrios químicos de las especies de fósforo. Así, la temperatura y CE tienen una posible influencia sobre la variación de concentración de fosfatos, afectada por las temporadas climáticas y posiblemente por las formaciones geológicas; éste conjunto de interacciones afecta la disponibilidad del fósforo en el agua, y en consecuencia influye en la eutrofización.

**Palabras Claves**—Correlación, eutrofización, fósforo, geología, regresión

**Abstract**— Eutrophication is a major problem due to the increase in phosphorus that degrades water quality. In Chone, Ecuador, the Chone Multipurpose Project Dam was built, which reservoir is covered with aquatic plants, due to excess nutrients. The influence of temperature, pH and electrical conductivity on phosphate concentrations was therefore analyzed to understand their relationship and how they may affect eutrophication. Twenty-six sampling points (dry and rainy seasons); the parameters were measured in the Environmental Laboratory of the Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. With the data obtained, a statistical analysis was performed with the *software* “R” to evaluate the relationships between the variables, by means of correlation, dispersion and regression. It was determined that the pH does not reflect a relationship with the variation in phosphate concentration; the possible influence of the dry season temperature is due to the reduction in the flow rate of the Río Grande as it increases the concentration of phosphates; the EC possibly has an influence because the concentrations of dissolved ions affect the chemical equilibrium of the phosphorus species. Thus, temperature and EC have a possible influence on the variation of phosphate concentration, affected by climatic seasons and possibly, by geological formations; this

set of interactions affects the availability of phosphorus in water, and consequently influences eutrophication.

**Keywords**—Correlation, eutrophication, phosphorus, geology, regression

## I. INTRODUCCIÓN

La calidad de un río refleja varias influencias importantes, como la litología de la cuenca, aportes atmosféricos, condiciones climáticas y contaminación antropogénica [1]. La eutrofización es uno de los problemas más frecuentes, causados por las altas concentraciones de fósforo que aceleran el crecimiento de plantas acuáticas indeseadas y como consecuencia se reduce la calidad del agua [2]. Los factores que promueven la eutrofización pueden ser fisicoquímicos (como temperatura) y nutricionales, donde la cantidad de biomasa vegetal está determinada por la disponibilidad de los nutrientes limitantes [3], [4]. Los ríos del cantón Chone, como el Río Grande, presentan este problema progresivo, donde repercuten las actividades agrícolas, que ocasionan grandes concentraciones de fósforo en el suelo y se infiltran hasta llegar al agua [5]. En la zona de la PPMC se han realizado diversas investigaciones en materia medioambiental, como calidad de agua [6], caracterizaciones fisicoquímicas [7] y remediación con tecnosoles [5]. Factores como temperatura y pH del agua pueden influir en las concentraciones de fosfatos ya que afectan las reacciones de especiación [9]; también la CE como medida indirecta de la cantidad de iones solubles que pueden causar precipitación de fosfatos [7], [11]. Las épocas de estiaje y de lluvias en el cantón [12] pueden afectar las concentraciones y las relaciones entre estas variables, al igual que las formaciones geológicas que contienen rocas fosfatadas [13], [14], [15]. Los parámetros de representatividad en aguas pueden variar de un sitio a otro y de una época a otra, por tal, para el análisis de los datos se aplican programas estadísticos como el *software* “R”, que permite evaluar las múltiples relaciones que existen entre las variables [16], [17]. El análisis de correlación y los modelos de regresión y dispersión son usados con el fin de generar bases para una adecuada gestión de los recursos hídricos [18]. Los objetivos de este trabajo fueron relacionar las variables medidas en el sistema hidrográfico de Río Grande entre los años 2016 y 2018, tales como temperatura, CE, pH y fosfatos a través de métodos estadísticos de regresión lineal para determinar la variable que más se

ajuste a una correlación lineal con los fosfatos, con el propósito de explicar el aceleramiento de la eutrofización.

## II. MÉTODO

El Cantón Chone, provincia de Manabí (Fig. 1), presenta un clima cálido seco de junio a noviembre. En época invernal (diciembre a mayo), la temperatura alcanza los 34°C, con precipitaciones anuales que superan los 3 500 mm por año, cuando se presenta el fenómeno de El Niño. Chone es una zona con alto riesgo de inundaciones en época de lluvia, por esto se construyó la PPMC que funciona desde 2015, ubicada en la confluencia del Río Grande [6].

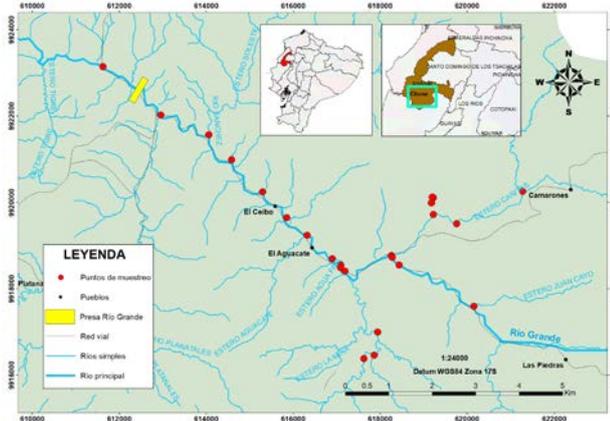


Fig. 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo, Río Grande, Cantón Chone.

El muestreo de agua se realizó a lo largo de Río Grande, en base a las normas INEN 2169:98 y 2176:98 [5]. Los puntos de muestreo se ubicaron aguas arriba de la PPMC, y en los afluentes Camarones, Cañitas y Coñaque. Se definieron 26 puntos (Fig. 1); los primeros nueve se efectuaron en agosto de 2016 (sequía) y, los siguientes 17 puntos se tomaron en febrero de 2017 (época de lluvia) debido a que el sistema hidrográfico del Río Grande presentó un aumento de la eutrofización [6]. El último punto se muestreó en enero del 2018. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos, de acuerdo a los estándares nacionales e internacionales (NTE-INEN-0973; EPA 1983, 1701; NOM-AA-93-1984; Standard Methods, HACH 2000), en el Laboratorio de Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Los resultados de las concentraciones de fosfatos y de temperatura, pH y CE, se tabularon para época de sequía y para lluvia, con el fin de conocer las variaciones en las diferentes temporadas climáticas, pues estas influyen en las concentraciones [1], [5]. Se utilizó el software estadístico “RStudio” del paquete R, para analizar los resultados obtenidos y evaluar las relaciones que existen entre los factores (temperatura, pH y CE) y los fosfatos. Se aplicó técnicas como correlación, modelos de regresión lineal y modelos de dispersión que facilitan la comprensión del comportamiento entre variables, mediante indicadores de residuales generados, como coeficiente de correlación, error estándar y R cuadrado [15], [16].

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos, de las épocas de sequía y lluvia de los años 2016, 2017 y 2018, del análisis de laboratorio, se

muestran en la Tabla I.

TABLA I  
MEDICIONES EN ÉPOCA DE SEQUÍA Y LLUVIA (2016 - 2018)

Punto	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)
<b>Época de sequía (2016)</b>				
1	23	7.87	411	1.57
2	24	8.10	406	1.42
3	26	7.99	322	0.97
4	28	9.08	320	0.81
5	28	8.03	355	0.64
6	27	7.92	335	0.73
7	28	7.66	324	0.82
8	32	9.43	269	0.72
9	28	9.96	304	0.82
<b>Época de lluvia (2017)</b>				
10	31	8.23	173.6	1.28
11	32	8.04	172.5	0.6
12	31	7.36	161.1	0.6
13	32	7.18	160.3	1.2
14	31	6.71	156.5	1.13
15	32	6.77	146.6	0.72
16	31	6.35	115.5	1.75
17	30	6.50	121.2	0.75
18	31	6.61	126.7	1.0
19	30	6.62	124.9	0.63
20	31	6.89	151.6	0.65
21	31	7.24	188.7	0.68
22	30	7.35	202.8	1.05
23	31	7.20	134.3	0.38
24	31	7.08	134.6	1.73
25	31	7.03	136.2	1.6
26	30	6.91	135.4	1.4
<b>Época de lluvia (2018)</b>				
27				P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> = 0.325 mg/L

Para el análisis en la época de sequía, el coeficiente de correlación entre concentración de fosfatos y la temperatura es -0.84 (Tabla II), lo que indica, a medida que aumenta la temperatura, la concentración de fosfatos disminuye (Fig. 2), y al estar éste coeficiente próximo a -1, indica que la fuerza con la que están relacionadas estas variables son altas (Tabla III). El error estándar de los residuos (0.189), nos indica que el ajuste de regresión a una recta es bastante bueno (Fig. 3). El bajo valor del error estándar (0.025) corrobora la precisión de la estimación por ser muy cercano a 0. En la Figura 3 se muestra la distribución de los residuos, los cuales deberían ser aleatorios y según éste gráfico no los son aparentemente, por lo cual un mejor modelo de ajuste que se deberá considerar es un modelo de regresión curvilíneo [26]. El coeficiente de determinación R<sup>2</sup> (0.707), señala que las estimaciones se ajustan bastante bien al modelo (Fig. 2).

TABLA II  
RESULTADOS DE REGRESIÓN OBTENIDOS CON LL SOFTWARE ESTADÍSTICO “R” – ÉPOCA DE SEQUÍA

Indicadores estadísticos	Temp. vs Fosfatos	CE vs Fosfatos	pH vs Fosfatos
Correlación	-0.841	0.804	-0.323
Standard Error	0.0255	0.002	0.143
Residual standard error	0.189	0.208	0.331
Multiple R	0.707	0.648	0.104

TABLA III  
SIGNIFICANCIA DE COEFICIENTES DE CORRELACIÓN [27]

Valor	Significancia
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

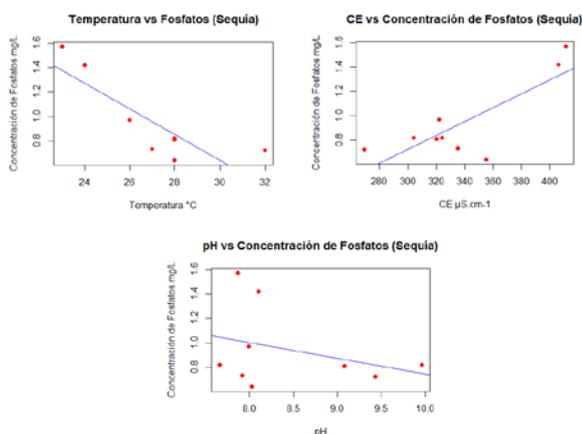


Fig. 2. Gráficas de dispersión de la variación de concentración de fosfatos con temperatura, CE y pH para la época de sequía.

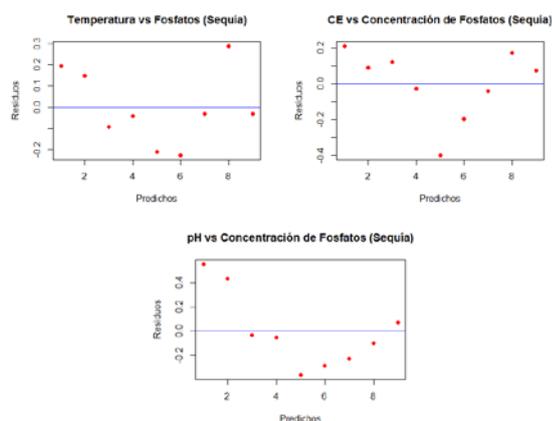


Fig. 3. Gráficas de residuales de regresión lineal de temperatura, CE y pH para la época de sequía.

La influencia de la CE en época de sequía, tiene un comportamiento similar al de la temperatura, pues la correlación es muy alta (Tabla II) y el error estándar residual es bajo (Tabla III); pero, la Figura 3 nuevamente nos estaría indicando que se podría ajustar a mejor modelo curvilíneo, posiblemente polinómico de grado 2, el coeficiente de determinación R cuadrado tiene un valor moderado ( $\sim 0.6$ ). En el análisis entre pH y fosfatos, se puede apreciar que la correlación entre estas variables es muy baja, por lo cual se puede decir que las variables son independientes.

En el análisis en época de lluvia, entre las variables Temperatura, CE y pH versus las variaciones de concentración de fosfatos, se puede observar que tanto el coeficiente de correlación y el de determinación son muy bajos (Tabla IV), lo que nos indica que éstas variables son independientes.

TABLA IV  
RESULTADOS DE REGRESIÓN OBTENIDOS CON EL SOFTWARE ESTADÍSTICO  
"R" – ÉPOCA DE LLUVIA

Indicadores estadísticos	Temp. vs Fosfatos	CE vs Fosfatos	pH vs Fosfatos
Correlación	-0.066	-0.226	-0.141
Standard Error	0.168	0.004	0.219
Residual standard error	0.443	0.433	0.439
Multiple R	0.004	0.051	0.019

#### IV. CONCLUSIONES

La posible influencia de la temperatura en los fosfatos en la sequía, se debe quizá a la reducción de caudal y de profundidad del Río Grande [6] que aumenta la concentración de fosfatos y el nivel de luz solar recibida [3], por tal, puede afectar las reacciones de especiación del fósforo [8] y por tanto la concentración. Eso no ocurre en la época lluviosa, debido a la variabilidad de las precipitaciones y el aumento del caudal [10]. La CE también tiene una posible influencia durante la época de sequía, ya que las concentraciones de los diferentes iones ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) afectan los equilibrios químicos de las especies de fósforo, como los ortofosfatos que pueden precipitar como fosfato de calcio [8]. En época seca aumenta la CE (Tabla II), por lo que los fosfatos pueden precipitar, pero contradice al resultado de la correlación (si aumenta la CE, aumentan los fosfatos); quizá el aporte de fósforo al agua por parte de las formaciones geológicas de la cuenca [7], [13] producen un equilibrio [8]. La CE es una medida indirecta de la cantidad de iones disueltos sumados en el agua, por tanto, para estudiar mejor su influencia en los fosfatos, se puede ampliar con análisis de la concentración de cada ion inorgánico y de la alcalinidad [2]. La Cuenca del Río Grande ha tenido diferentes aportes de sedimentación, iniciando en el Eoceno Medio con sedimentos detríticos, durante el Mioceno Medio-Superior, sedimentos limosos; en el Mioceno Superior y Plioceno, sedimentos detríticos; y actualmente continúa el aporte por medio de coluviales y aluviales [7]. El contenido de fósforo se debe a este pasado geológico, y resalta la presencia de restos fósiles, donde el principal componente es el fosfato cálcico. Probablemente la fosfatación ocurre en la zona de estudio por la presencia de estos minerales [12]. Los equilibrios químicos de los fosfatos también dependen del pH, porque este permite liberar fósforo de las rocas y sedimentos, y afecta la especiación [18], [19]; y como el punto de saturación del fósforo depende del pH, los cambios en las condiciones biológicas y fisicoquímicas pueden modificar la concentración del ion fosfato y producir su disolución o precipitación [20], pero los resultados estadísticos muestran lo contrario, y no muestran diferencias significativas entre ambas épocas. La posible explicación es que se reúnen las condiciones ideales de pH y temperatura, en los distintos puntos muestreados, y no afectan en la especiación a polifosfatos, como en la hidrólisis de tripolifosfatos que es un proceso muy lento [8]. Se puede evidenciar problemas de eutrofización, por las concentraciones de fosfatos mayores a 0.3 mg/L (Tabla I) pues, para que se inicien los procesos de eutrofización, el límite de fosfatos es de 0.05 mg/L [21]. Incluso, proliferan plantas acuáticas, asociadas a este

problema, en la zona de la represa del MPC y el aumento de fosfatos ha sido progresivo [5]. El valor de fosfatos en el 2018 tiene una concentración de 0.325 mg/L similar a las concentraciones del año 2017, lo cual supone que se mantiene el estado de eutrofización del agua, posiblemente a causa de las concentraciones que se tiene desde el 2017.

Las variables de temperatura y CE tuvieron una correlación muy alta con la concentración de fosfatos en época de sequía, sin embargo, no se ajustaron a los modelos de regresión lineal. El pH tuvo una correlación muy baja y tampoco se ajustó a la regresión lineal. La temperatura y la CE tienen una posible influencia sobre la variación de concentración de fosfatos, que se ve afectada por las temporadas climáticas y posiblemente por la litología de la cuenca; este conjunto de interacciones afectaría la disponibilidad del fósforo en el agua, y en consecuencia influye en la eutrofización.

#### REFERENCIAS

- [1] O. Bricker and B. Jones, "Main factors affecting the composition of natural waters", in *Trace Elements in Natural Waters*, CRC Press, Boca Raton, p. 1e5, 1995
- [2] P. Helen et. al. "Phosphorus and nitrogen limitation and impairment of headwater streams relative to rivers in Great Britain: A national perspective on eutrophication", in *Science of The Total Environment*, pp. 849-862. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.128>
- [3] J. Villaseñor, *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas*, Universidad de Castilla – La Mancha, 2001
- [4] A. Schmid, *Diferenciación espacial en la metodología de análisis del ciclo de vida, desarrollo de factores regionales para eutrofización acuática y terrestre*, Universidad de Santiago de Compostela, 2008
- [5] K. Calvopiña, "Diseño de tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua, de la presa propósito múltiple Chone (PPMCH), a partir de muestras de suelos del cantón Chone", *Ciencias de la Tierra y la Construcción*, ESPE, 2017. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13389>
- [6] D. Carrera. P. Guevara y G. Gualichicomín, "Calidad de las aguas de la Presa Propósito Múltiple Chone", en *Memorias de Eventos Científicos organizados por el INIAP*, pp. 40-41, 2015. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3316>
- [7] D. Carrera. T. Crisanto y M. Maya, "Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación", en *ENFOQUE UTE*, pp. 25-34, 2015. DOI: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v6n1.52>
- [8] D. Jenkins y V. Snoeyink, *Química del Agua*, Editorial Limusa, pp 54-345, 2002
- [9] D. Carrera y S. Pérez, "Salinidad, fosfatos, nitratos y problemas de infiltración en las aguas de irrigación del cantón Milagro, Ecuador", en *Revista Ciencia UNEMI*, pp.85-95, 2013. Disponible en <http://repositorio.unemi.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3034>
- [10] IEE, *Memoria Técnica Cantón Chone Proyecto: "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. Escala 1: 25 000" Clima e Hidrología*, 2013. Disponible en <http://www.ideportal.iee.gob.ec/>
- [11] IEE, *Memoria Técnica Cantón Chone Proyecto: "Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Escala 1: 25 000" Geomorfología*, 2013. Disponible en <http://www.ideportal.iee.gob.ec/>
- [12] Carta Geológica de Chone MIII-F2 3591-I, 1979
- [13] A. Fersman, *Geoquímica Recreativa*, Ediciones Martínez Roca, 145 pp.,1971.
- [14] U. Quevedo, *Estadística para ingeniería y ciencias*, Ed. Patria, 2014.
- [15] F.J. Bouso. *El paquete estadístico R*. Madrid. 2013
- [16] S. Shrestha & F. Kazama, "Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan", *Environmental Modelling & Software*, pp.464-475, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001>
- [17] D. Carrea. V Sánchez. O. Portilla y D. Bolaños, "Similarity index between irrigation water and soil saturation extract in the experimental field of Yachay University, Ecuador" en *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2017. Disponible en <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/82/1/012007/meta>
- [18] H. Holtan. L. Kamp-Nielsen & A. Stuanes, "Phosphorus in soil, water and sediment: an overview", *Hydrobiologia*, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00024896>
- [19] Yunhai Wu, Yajun Wen, Jianxin Zhou and Yunying Wu, Phosphorus Release from Lake Sediments: Effects of pH, Temperature and Dissolved Oxygen, en *KSCE Journal of Civil Engineering*, pp. 323-239, 2014
- [20] K. Rankama y Th. G. Sahama, *GEOQUÍMICA*, Editorial Aguilar, pp 543-551, 1954
- [21] A. Sharpley and P. Withers, "The environmentally-sound management of agricultural phosphorus, Netherlands", *Fertilizer Research*, pp. 133-146. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00750912>

# Evaluación en ruta de las emisiones vehiculares en frío a 2850 msnm con oxigenación de gasolina a base de etanol

Edison Wilmer Calero<sup>a,b</sup>, Helmer Edison Campoverde<sup>b</sup>, Edilberto Llanes Cedeño<sup>a</sup>, Santiago Celi<sup>a</sup>, Diana Peralta<sup>a</sup>,  
Juan Rocha-Hoyos<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad Arquitectura e Ingenierías /Carrera de Ingeniería Automotriz, Universidad Particular Internacional SEK

<sup>b</sup> Tecnología/Escuela de Tecnología en Medición y Monitoreo Ambiental, Instituto Tecnológico Martha Bucaram de Roldos.  
ecalero.mdm@uisek.edu.ec, eddy\_jaramillo1989@hotmail.com, antonio.llanes@uisek.edu.ec, santiago.celi@uisek.edu.ec,  
diana.peralta@uisek.edu.ec, carlos.rocha@uisek.edu.ec

**Resumen**—En la actualidad el uso de combustibles convencionales en el transporte es una de las causas fundamentales de la contaminación atmosférica. El objetivo de la investigación consistió en evaluar las emisiones vehiculares en frío en condiciones de altura (2 580 m) a partir de una ruta predeterminada con equipo de medición on board para la determinación del efecto oxigenación de gasolina a base de etanol sobre el factor de emisión. Se determinó el factor de emisión para tres vehículos (MAZD\_2.2, CHER\_2.0 y VOLK\_1.8) con dos combustibles (extra y ecopais), en una prueba en ruta en condiciones de arranque en frío. Los resultados obtenidos demuestran que el uso del combustible etanol mejora el comportamiento referente al factor de emisión de CO y HC, pero no en relación a los NOx. Se concluye que existe diferencia significativa en el factor de emisión CO tanto para los vehículos como entre el uso de los combustibles, mientras que los HC y NOx no existe diferencia significativa en el uso del combustible, pero si entre los vehículos.

**Palabras Claves**—condiciones en frío, gases contaminantes, etanol, factor de emisión, altitud.

**Abstract**—Nowadays, a fundamental causes of air pollution is the use of conventional fuels in transport. The main purpose of research was aimed at evaluating the vehicle emissions in cold at (2 580m) altitude condition from a predetermined route, through on board measuring equipment is determined the oxygenation effect of ethanol based petrol over the emission factor. The emission factor was determined for three vehicles such us (MAZD\_2.2, CHER\_2.0 and VOLK\_1.8) with two fuels (extra and ecopais), in road test under cold start conditions. The results show the use of ethanol fuel improves CO and HC emission factor performance, but not in relation to the NOx. In conclusion, is a significant difference in CO emission factor between the vehicles such us the use of fuels, meanwhile HC and NOx is not significant differences in the fuel use but, is meaningful between the vehicles.

**Keywords**—Cold conditions, polluting gases, ethanol, emission factor, altitude.

## I. INTRODUCCIÓN

El bioetanol, conocido como etanol o alcohol etílico es proveniente de la caña de azúcar, ha sido ampliamente utilizado como combustible o como potenciador de la gasolina ya que mejora la oxidación de los hidrocarburos y con ello la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este es un aditivo que aumenta el octanaje en la gasolina [1]. Etanol mezclado con la gasolina aumenta el consumo linealmente a la mezcla utilizada y la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera decrece cúbicamente con el aumento de

la proporción de etanol en la mezcla utilizada [2, 3, 4].

Sierra [5] obtiene que los mayores consumos de combustibles en el Ecuador se concentran en el transporte de carga de mercancías pesadas, seguida de los vehículos livianos, incidiendo en las emisiones de gases de efecto invernadero con 14.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el 2012. En este mismo año se reporta que la contaminación atmosférica causó la muerte prematura de aproximadamente 3.7 millones de personas a nivel mundial [6, 7, 8].

Hernández [3] en su investigación sobre la evaluación de la economía del combustible y emisiones en ruta en la ciudad de México, aporta a la metodología para la determinación de los factores de emisiones, sin embargo, en Quito – Ecuador por sus condiciones de altura no se reportan trabajos sobre emisiones en ruta con gasolina a base de etanol y su efecto en los catalizadores de los vehículos durante el funcionamiento en frío. Por lo tanto, constituye la primera aproximación sistemática al problema, midiendo las emisiones en el camino y procesándolas para obtener factores de emisión de diversos contaminantes [9]. Esto en un ciclo de conducción en ruta durante las condiciones reales de conducción, algunas de las cuales son muy difíciles de reproducir a nivel de laboratorio [10]; los resultados obtenidos de estos ciclos de conducción, suponen una gran influencia sobre el vehículo, a grandes alturas como es la ciudad de Quito.

La determinación de los factores de emisión vehicular se ha basado en experimentos dinamométricos siguiendo ciclos de conducción estándar [11]. Estos experimentos permiten estudiar factores de emisión en varias condiciones experimentales: tipos de vehículos (ligeros y pesados), características (marca, edad, kilometraje, etc.), combustible (gasolina y diesel), entre otros. Esto ha permitido la determinación de una amplia gama de factores de emisión para contaminantes individuales y su dependencia con las condiciones de operación [12, 13, 14].

Guasgua, Campaña, y Paredes [15], en su investigación experimentaron varias gasolinas comercializadas en la Comunidad Andina en un vehículo Chevrolet modelo Sail, determinado la medición de los gases de combustión por medio de pruebas estáticas bajo la norma NTE INEN 2203:1999 y pruebas dinámicas según los ciclos americanos ASM 25/25 y 50/15, concluyéndose que para los combustibles analizados todos cumplen con la normativa.

La norma ecuatoriana NTE INEN 2204:2002, establece

los límites para factores de emisión de fuentes móviles para autos livianos con motor a gasolina (prueba dinámica) en modelos de auto a partir del 2000 con el ciclo americano (FTP – 75) de: 2.10 g/km CO, 0.25 g/km HC y 0.62 g/km NOx [16]. Sin embargo, estos métodos no reproducen la realidad en la circulación del vehículo sometido a los cambios de temperatura, humedad, presencia de lluvias, entre otros.

Por lo expuesto se ha planteado evaluar las emisiones vehiculares en frío en condiciones de altura (2 580 m) a partir de una ruta predeterminada con equipo de medición *on board* para la determinación del efecto oxigenación de gasolina a base de etanol sobre el factor de emisión.

## II. MÉTODO

En el estudio se aplica una investigación cuantitativa para evaluar el comportamiento de los gases producto de la combustión y la comparativa de los factores de emisión para la gasolina extra como línea base con la gasolina ecopaís en la ciudad de Quito en condiciones de ruta.

### A. Caracterización del combustible

Las mezclas de combustibles utilizados en el experimento fueron dos, gasolina extra y ecopaís (etanol 5%). En la Tabla I se muestra el número de octanos de las mismas.

TABLA I  
NÚMERO DE OCTANOS COMBUSTIBLES APLICADOS

Propiedad combustible	NTE INEN:935:2012	Gasolina Extra	Gasolina Ecopaís
Número de octanos	87 mín.	88.3	85.1
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	-	748	745

### B. Caracterización de los vehículos

En la Tabla II, se muestran los 3 vehículos utilizados, estos responden a una muestra de los vehículos más representativos del parque automotor de la ciudad de Quito. Se realizan 10 pruebas por cada vehículo en frío por la ruta definida (5 pruebas con extra y 5 pruebas con mezcla de combustible etanol), considerando que para esta prueba los vehículos van a estar en reposo entre 10 y 12 horas para que los sistemas del motor y el catalizador se encuentren completamente fríos.

TABLA II  
CARACTERIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS

Marca	Modelo	c.c.	Potencia (hp@rpm)	$\epsilon$
VOLKSWAGEN	Gol	1.8	99 @ 5 250	10.8:1
CHEVROLET	Gran Vitara	2.0	126 @ 6000	9.3:1
MAZDA	BT-50	2.2	101 @ 4500	9.2:1

### C. Caracterización de la ruta.

La característica principal de la ruta escogida inicia en el puente 5 ubicado en la Av. Rumiñahui para continuar a través de Av. Rumiñahui, Pichincha, Av. Gran Colombia, Av. 12 de octubre, Av. Patria, Av. Pérez Guerrero, Av. América, Av. Colón finalizando en el redondel de la Plaza

Artigas. Recorriéndose una distancia de 7 993 m de parte suburbana y 7 680 m de parte urbana, con una longitud total de 15 673 m. Se obtienen alrededor de 63 detenciones, una velocidad promedio de 19.2 km/h, y un tiempo total de 2 889 s. Cuando se trata de grandes alturas sobre el nivel del mar es importante señalar que se inicia a una altura de 2 619 m, mientras que en el sector del trébol punto intermedio de la ruta se está a 2 755 m, señalándose que el punto más alto en la ruta es de 2 877 m [17]. En la Fig. 1 se presenta el perfil de la ruta.



Fig. 1. Ejemplo Perfil de elevación de la ruta recorrida en Quito [17].

### D. Caracterización de las emisiones

Para la medición de los gases de escape se emplea el equipo *on-board* de marca Axion modelo OEM-2100AX, el cual brinda información sobre las concentraciones volumétricas producidas, a través de la conexión al vehículo por el puerto de datos OBD2. Al obtener los volúmenes de contaminantes, se procede a la determinación de los factores de emisión, este se puede expresar en términos frecuentemente utilizados como: gr/kWh o gr/km [18]. Para el cálculo de los factores de emisión se utiliza la siguiente ecuación general [9].

$$EF = EF' \cdot \delta_{COMB} \cdot FC \quad (1)$$

donde  $EF'$  es el Factor del contaminante en gramos,  $\delta$  es la densidad del combustible (kg/m<sup>3</sup>),  $FC$  es el Consumo de combustible por distancia recorrida L/km.

Se realizan comparativas estadísticas de los resultados obtenidos, para lo cual se emplea el software STATGRAPHICS Centurion XVI, formándose un diseño multifactorial.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según González y Fernández [19], establece que el valor límite del CO<sub>2</sub> es del 13 % con el factor lambda ( $\lambda = 1$ ) hasta que el convertidor catalítico llegue a su temperatura óptima de 400 °C. En el caso del vehículo MAZD\_2.2 se estabiliza en el rango eficiente cercano al 13 % CO<sub>2</sub> con el uso de los dos combustibles como se visualiza en la Fig. 2.

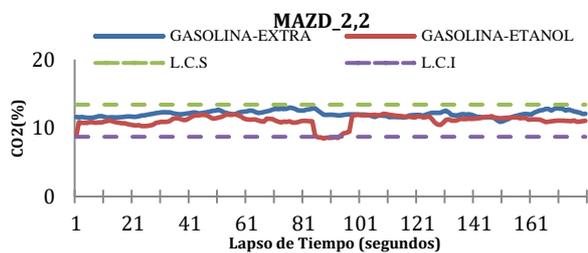


Fig. 2. Gas de escape (%) durante la prueba en frío usando combustible de etanol-gasolina extra

#### A. Factor de emisión de combustible extra y etanol en frío.

El factor de emisión CO, entre los dos combustibles y los tres vehículos de estudio, manifiesta que el uso del combustible con mezclas de etanol en el vehículo MAZD\_2.2 tiene el valor más alto en emisiones de CO, “las lecturas elevadas de CO indican una situación de mezcla rica y son un indicador de combustión incompleta atribuible al estado de mantenimiento de los vehículos automotores” [20], pero tiene un mejor resultado en los vehículos CHER\_2.0 y VOLK\_1.8 frente al uso del combustible extra. En todos los casos se sobrepasan los valores máximos de 2.10 g/km estipulado por la norma INEN [16].

En la Tabla III, se verifica que existe diferencia significativa entre los tres vehículos y los dos combustibles siendo el CHER\_2.0 el de mejor comportamiento, estos resultados coinciden con estudios realizados por D’Angelo [9] donde menciona que existe diferencia significativa de factores de emisión CO, en el uso de combustible de etanol y extra.

TABLA III  
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE CO

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 ETAN CO	5	5,456	X
MAZD_2,2 EXT CO	5	11,555	X
CHER_2,0 EXT CO	5	14,861	X
VOLK_1,8 ETAN CO	5	24,960	X
VOLK_1,8 EXT CO	5	27,047	X
MAZD_2,2 ETAN CO	5	33,046	X

El factor de emisión de NOx más bajo con etanol se tiene en el vehículo CHER\_2.0 y la más alta en el vehículo VOLK\_1.8, por otro lado, la emisión de NOx más baja con extra en frío la tiene el vehículo CHER\_2.0 y la más alta el vehículo VOLK\_1.8. El uso de combustible etanol aumenta el factor de emisión en los vehículos CHER\_2.0 y VOLK\_1.8 en comparación con el uso de gasolina extra, mientras que en el vehículo MAZD\_2.2 provoca una disminución. Respeto a lo establecido por la norma INEN [16], que para el NOx es de 0.25 g/km solo cumple el CHER\_2.0 con extra.

En la Tabla IV, se aplica un procedimiento de comparación múltiple de media, donde se observa que el catalizador de los vehículos se comporta con respecto al factor de emisión del NOx de igual manera, indistintamente del combustible empleado, sin embargo, existe diferencia significativa entre los modelos de los vehículos obteniéndose los mejores resultados en el CHER\_2.0; estos resultados están alineados al estudio realizado por

Hernández, et al. [3], donde menciona que no existe diferencia significativa de factores de emisión NOx, en el uso de combustible de etanol y extra.

TABLA IV  
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE NOX

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 EXT NOx	5	0,179	X
CHER_2,0 ETAN NOx	5	0,323	X
MAZD_2,2 ETAN NOx	5	0,644	X
MAZD_2,2 EXT NOx	5	0,672	X
VOLK_1,8 EXT NOx	5	0,939	X
VOLK_1,8 ETAN NOx	5	1,081	X

Los valores de HC de la prueba en frío con mezcla de combustible etanol y extra presentan los mejores resultados en CHER\_2.0 y VOLK\_1.8 al usar combustible etanol, mientras el vehículo MAZD\_2.2 tiene mejor resultado al usar combustible extra. Se observa que el vehículo con mayores emisiones es el VOLK\_1.8 con combustible extra. El CHER\_2.0 cumple con lo establecido por la INEN [16] para ambos combustibles obteniéndose los mejores resultados con el etanol, el resto de los vehículos no cumplen por superar los 0.62 g/km referido por la noma.

En la Tabla V, se muestra el resultado al aplicar el Test LSD (*Least significant difference*) de Fisher, en referencia al factor de emisión HC de los tres vehículos de muestra, utilizando los combustibles de etanol y extra en pruebas en frío, se observa que entre CHER\_2.0 ETAN HC y CHER\_2.0 EXT HC no existe diferencia significativa, de la misma forma que para el VOLK\_1.8 ETAN HC y VOLK\_1.8 EXT HC; finalmente la evaluación en referencia al catalizador MAZD\_2,2 EXT HC y MAZD\_2,2 ETAN HC si existe diferencia significativa. Schifer et al. [20] menciona que al utilizar mezclas de etanol las emisiones de HC tienen una disminución del 25 al 35 %, coincidiendo con los resultados obtenidos en la investigación.

TABLA V  
PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS EN FACTOR DE EMISIÓN DE HC

Vehículos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CHER_2,0 ETAN HC	5	0,207	X
CHER_2,0 EXT HC	5	0,457	XX
MAZD_2,2 EXT HC	5	0,689	X
MAZD_2,2 ETAN HC	5	1,071	X
VOLK_1,8 ETAN HC	5	1,493	X
VOLK_1,8 EXT HC	5	1,655	X

#### IV. CONCLUSIONES

Se concluye que existe diferencia estadísticamente significativa en el factor de emisión CO tanto para los vehículos como entre el uso de los combustibles, mientras que los HC y NOx no existe diferencia significativa en el uso del combustible, pero si entre los vehículos. Los resultados indican que no se cumple con la normativa NTE INEN 2204:2002. Se determinó que los mejores resultados entre los tres vehículos experimentados es el CHER\_2.0 con los factores de emisión CO y HC para la gasolina ecopaís, mientras que para el NOx fue con el uso de la gasolina extra. En el estudio realizado se determinó que el combustible etanol (ecopaís) tiene mejores resultados en

factores de emisión CO y HC en comparación con la gasolina extra, mientras la gasolina extra mantuvo mejor resultado referente a los NOx medidos en frío.

#### REFERENCIAS

- [1] H.A. Dabbagh, F. Ghobadi, M.R. Ehsani, y M. Moradmand, "The influence of ester additives on the properties of gasoline", *Fuel*, vol. 104, pp.216-223, Jun. 2013.
- [2] J.C. Solís Ávila, y C. Sheinbaum Pardo, "Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> del autotransporte en México y escenarios de mitigación", *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 32, no. 1, pp.7-23. 2016.
- [3] M. Hernandez, L. Menchaca, A. Mendoza, "Fuel economy and emissions of light-duty vehicles fueled with ethanol-gasoline blends in a Mexican City", *Ren. Energy*, vol.72 pp. 236-242, Dec. 2014.
- [4] J.E. Pachon, H. Sarmiento, y T. Hoshiko, "Temporal and spatial variability of particle-bound polycyclic aromatic hydrocabons in Bogota, Colombia", *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 7, no. 4, pp. 567-576, 2014.
- [5] J.C. Sierra. "Estimating road transport fuel consumption in Ecuador," *Energy Policy*, vol 92, pp. 359-368, 2016.
- [6] D. Vega, L. Ocaña, R.P. Narváez, "Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012," *A. Ciencias e Ing.*, vol. 7, no. 2, Dec. 2015.
- [7] S. Wang, C. Ji, B. Zhang, X. Cong, and X. Liu, "Effect of CO<sub>2</sub> dilution on combustion and emissions characteristics of the hydrogen-enriched gasoline engine," *Energy*, vol. 96, pp.118-126, 2016.
- [8] J.C. Rocha-Hoyos, L. Tipanluisa, S.W. Reina, & C.R. Ayabaca, "Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular," *Info. Tecn.*, vol. 28, no. 2, pp.29-36, Apr. 2017.
- [9] M. D'Angelo, A.E. González, N.R. Tizze, "First approach to exhaust emissions characterization of light vehicles in Montevideo, Uruguay", *Science of The Total Environment.*, Nov. 2017.
- [10] V. Franco, F.P. Sánchez, J. German, P. Mock, "Real-world exhaust emissions from modern diesel cars", *Communications*, vol. 49, no. 30, pp. 847129-102, 2014.
- [11] WEISS, Martín, et al. "On-road emissions of light-duty vehicles in Europe," *Environmental science & technology*, vol. 45, no 19, p. 8575-8581, 2011.
- [12] AIT-HELAL, W., et al. "On-road measurements of NMVOCs and NOx: Determination of light-duty vehicles emission factors from tunnel studies in Brussels city center," *Atmospheric Environment*, vol. 122, p. 799-807, 2015.
- [13] PARK, Seong Suk, et al. "Emission factors for high-emitting vehicles based on on-road measurements of individual vehicle exhaust with a mobile measurement platform". *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 61, no 10, p. 1046-1056, 2011.
- [14] WU, Ye, et al. "On-road vehicle emissions and their control in China: A review and outlook". *Science of The Total Environment* , vol. 574, p. 332-349, 2017.
- [15] GUASGUA, Jaime Fernando Antamba; CAMPAÑA, Guillermo Gorky Reyes; PAREDES, Miguel Estuardo Granja. "Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina," *Enfoque UTE*, vol. 7, no 3, p. 110-119, 2016.
- [16] INEN, N. Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina. 2002.
- [17] E.F. Pisuña, J.M. Solís, "Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano De Quito", Master's thesis, EPN, Quito, 2017.
- [18] H.C. Frey, A. Unal, N.M. Roupail, J.D Colyar, "On-road measurement of vehicle tailpipe emissions using a portable instrument" *J. Air & Waste Ma. Assoc.*, vol. 53, no. 8, pp. 992-1002, Aug. 2003.
- [19] F.P. González, J.M. Fernández, Motores de combustión interna alternativos. Universitat Politècnica de València, 1st Ed., 2011.
- [20] I. Schifter, L. Díaz, R. Rodríguez, L. Salazar, "Assessment of Mexico's program to use ethanol as transportation fuel: impact of 6% ethanol-blended fuel on emissions of light-duty gasoline vehicles" *Environ. Monit. Assess.*, vol. 173, no. 1-4, pp. 343-360, Feb. 2011.

# Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo implementado por el método de triangulación espacial

David Del Castillo Vivanco <sup>a</sup>, David Loza <sup>a</sup>, Byron Cortez <sup>a</sup>, Víctor Erazo <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica/Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”, Sangolquí, Ecuador

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas/Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador

didel.venture16@gmail.com, dcloza @espe.edu.ec, vaerazo@utn.edu.ec bhcortez@espe.edu.ec

**Resumen**—El artículo es la elaboración de un digitalizador 3D lo suficientemente robusto para fines didácticos-educativos con la mínima inversión posible e implementado con software libre. Se aplica un método activo sin contacto de triangulación espacial por contorno láser con mesa rotatoria; haciendo uso de visión artificial para la segmentación del contorno láser formado sobre la superficie del objeto; por medio de métodos matemáticos y de triangulación espacial se lleva los puntos bidimensionales del contorno en las capturas a un espacio tridimensional. El diseño del sistema integra los elementos constitutivos, principio de funcionamiento, automatización e interacción con el usuario en un producto final. Con ayuda del software libre especializado *Meshlab* se realiza la reconstrucción superficial del objeto escaneado.

**Palabras Clave**—escáner 3D, ingeniería inversa, reconstrucción superficial.

**Abstract**—The article is the development of a 3D digitizer robust enough for didactic-educational purposes with the minimum possible investment and implemented with free software. An active non-contact method of spatial triangulation is applied by laser contour with rotating table; making use of artificial vision for the segmentation of the laser contour formed on the surface of the object; by means of mathematical methods and spatial triangulation the two-dimensional points of the contour in the captures are taken to a three-dimensional space. The design of the system integrates the constituent elements, principle of operation, automation and interaction with the user in a final product. With the help of specialized free software *Meshlab*, the surface reconstruction of the scanned object is carried out.

**Keywords**—3D scanner, reverse engineering, surface reconstruction.

## I. INTRODUCCIÓN

Un escáner 3D [1] es un dispositivo que analiza un objeto para obtener datos de su forma para reconstruir modelos digitales. Existen dos tipos de escáner 3D. Por contacto [2]: El objeto se analiza mediante el apoyo de un elemento palpador sobre la superficie del objeto. Sin Contacto [3]: Son escáneres que no requieren contacto con el objeto, los cuales se subdividen en activos y pasivos. Los pasivos no emiten ninguna clase de radiación, en su lugar recepta la radiación reflejada por el ambiente, otros pueden utilizar radiación infrarroja, o de tipo estereoscópicos. Los activos son aquellos que emiten algún tipo de señal (electromagnéticas, haz de luz, ondas de radio, rayos X o ultrasonidos), la cual sirve para la construcción geométrica de un objeto, los hay de varios tipos, por facilidades de diseño y por el propósito económico se

escogió un método activo sin contacto con un emisor láser lineal (generación del contorno) y una webcam (captura de la información) para el prototipo. Una mesa rotatoria hace posible la adquisición de datos de los 360° alrededor del objeto. Para la segmentación del contorno láser formado sobre la superficie del objeto se hace uso de visión artificial. El modelo matemático desarrollado permite la generación y almacenamiento de la nube de puntos para su posterior estudio y tratamiento con el software libre de mallado *Meshlab* [4].

## II. SISTEMA DE ESCANEADO

Compuesto por dos elementos esenciales, la webcam que funciona como sensor y el emisor láser lineal encargado de generar un haz de luz sobre el objeto que se desea escanear.

En el mercado local es difícil la adquisición de un dispositivo láser lineal, por lo cual se optó por la fabricación de uno. La construcción del láser lineal constará de un diodo y un cilindro de vidrio (lente) de  $\varnothing 3\text{mm}$  para formar el haz de luz en forma de línea como se observa en la Fig. 1.

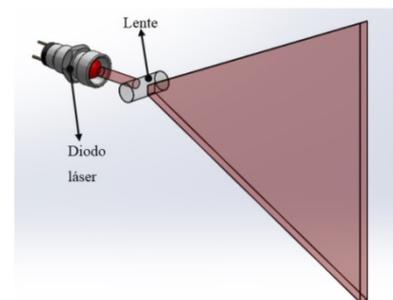


Fig. 1. Refracción del puntero láser.

La Tabla I muestra la etapa de configuración de parámetros de inicio, se habilitará al usuario por medio de una HMI la posibilidad de poder modificar las siguientes variables de control:

TABLA I  
PARÁMETROS DE INICIO

Variable	Descripción
Ángulo de paso	Desplazamiento del paso del motor 3,6° y 7,2°
Salto de Pixel	8 y 16
Sensibilidad de la escala de rojo	100 a 255 (valor 140 por defecto). Intensidad de rojo detectable, a valores pequeños mayor sensibilidad.

De las 3 variables y sus combinaciones dependerá la calidad de escaneado y el tiempo de procesamiento. El subproceso Adquisición de Datos inicia con la captura de la imagen del objeto que se desea escanear.

Las imágenes digitalizadas forman arreglos matriciales de  $m \times n$  píxeles [5], que al tratarse de píxeles a color se trabajará en una escala RGB de 1 byte por color. Se ejecuta tratamiento de la capa roja de cada captura [6], donde el algoritmo deberá separar las tres capas de color RGB y almacenar únicamente la roja.

El siguiente paso es segmentar la proyección del objeto producida por el láser, obteniendo las coordenadas  $(x, y)$  de la posición de los puntos que conforman el contorno dentro de la imagen. La reestructuración de los puntos obtenidos, en un espacio tridimensional es posible mediante la aplicación de (1).

$$\begin{cases} X_{real} = Kp \cdot Kt \cdot du_x \cdot \cos \theta \\ Y_{real} = Kp \cdot (du_y + tr_y) \\ Z_{real} = -Kp \cdot kt \cdot du_x \cdot \sin \theta \end{cases} \quad (1)$$

donde  $Kt$  es el coeficiente de triangulación,  $Kp$  es el coeficiente de proporcionalidad,  $du_x$  es la distancia útil en "X" (distancia en píxeles de la línea centro de la imagen al contorno del objeto),  $du_y$  es la distancia útil en "Y" (distancia en píxeles de la parte inferior de la imagen al contorno del objeto),  $tr_y$  es la traslación del punto de contorno en el eje "y" y  $\theta$  es el ángulo de rotación.

Cada contorno escaneado del objeto debe ser rotado espacialmente en  $\theta$  grados, por lo cual será prescindible la utilización de una matriz de rotación (2) sobre el eje "Y", donde  $X'$ ,  $Y'$  y  $Z'$  son las coordenadas de los puntos rotados en el espacio [7].

$$R(r, \phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \cos \phi + Z \sin \phi \\ Y \\ -X \sin \phi + Z \cos \phi \end{pmatrix} \quad (3)$$

Multiplicando la matriz  $R$  por un punto (3), se obtiene el punto rotado  $\phi$  grados sobre el eje "Y". El valor de  $Z$  en la aplicación es siempre cero, debido a que el cálculo de cualquier punto rotado se lo hará desde un mismo eje de referencia. Quedando lo siguiente:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \cos \phi \\ Y \\ -X \sin \phi \end{pmatrix} \quad (4)$$

La traslación del punto de contorno en el eje "Y" es la agregación de una distancia en píxeles ( $tr_y$ ) a la triangulación espacial de los puntos. Se requiere saber la cantidad de píxeles que debemos recorrer a los puntos escaneados (Ec. 5). La cantidad  $tr_y$  dependerá de la distancia de cada punto a la línea centro de la imagen  $du_x$  y del ángulo  $\theta$  formado por el desplazamiento que se requiere dar como se observa en la Fig. 2.

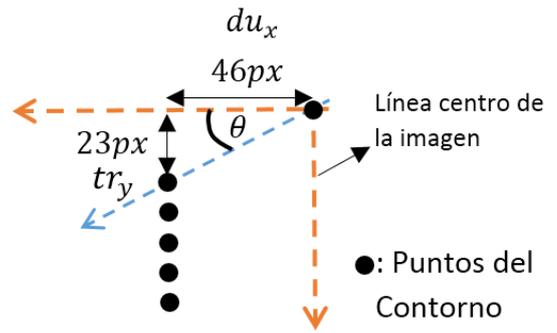


Fig. 2. Diagrama de traslación de píxeles.

Se obtiene:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{tr_y}{du_x} \\ tr_y &= du_x \cdot 23/46 \\ tr_y &= 0.5 \cdot du_x \end{aligned} \quad (5)$$

El coeficiente de triangulación  $Kt$  (6), se calcula a partir del posicionamiento del láser, webcam y el objeto que se desea escanear, formando entre ellos un triángulo como se observa en la Fig. 3.

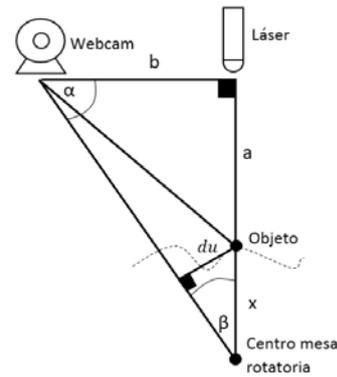


Fig. 3. Modelo de triangulación del prototipo

Donde  $a + x = 250$  mm y  $b = 140$  mm como constantes dimensionales del prototipo. Se desea conocer la relación entre  $du$  (distancia útil en píxeles) y  $x$  (distancia real en píxeles), por ello se calculará el ángulo  $\beta$  y así también hallar el coeficiente de triangulación.

Entonces:

$$x = \frac{du}{\sin \beta}, \quad Kt = \frac{1}{\sin \beta} = 2.05 \quad (6)$$

El coeficiente de proporcionalidad  $Kp$  describe la relación entre unidad de píxel y unidad milimétrica. Teniendo en cuenta la variación de píxeles en el eje "Y" de la imagen  $\Delta px_y$  y la altura del objeto escaneado, es sencillo deducir la relación que guardan estos valores. A continuación en (7) se demuestra la obtención del valor  $Kp$ .

$$Kp = \frac{d_{real}}{\Delta px_y} = \frac{160}{528} = 0.3 \quad (7)$$

Escaneados los puntos del contorno de los 360° del objeto, se almacenarán en una matriz de dimensión. Al mismo

tiempo se genera un archivo que contenga la nube de puntos con la extensión “.asc” para su posterior procesamiento en el software especializado en el mallado de puntos.

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

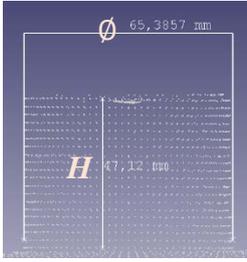
En la etapa de pruebas del prototipo, se dedujo que el coeficiente  $Kp$  es variable. Para determinar el valor se utilizó el siguiente algoritmo (8):

$$Kp'' = Kp' \left( \frac{x}{187} \right) \quad (8)$$

donde  $x$  es el valor de la coordenada en “x” del punto de contorno.

La primera prueba se realizó en un objeto cilíndrico, las dimensiones del cilindro son:  $\phi$  65mm y 48.5 mm de altura. Los resultados obtenidos se describen en la Tabla IV.

TABLA II  
RESULTADOS PRIMERA EVALUACIÓN

CILINDRO	Dimensiones	
	$\phi$	H
	65,39 mm	47,12 mm
<b>ERROR</b>	0.6 %	2.85 %

La segunda evaluación del funcionamiento del escáner se la realiza con un envase con dimensiones mostradas en la Fig. 4. Los resultados se describe en la Tabla V.



Fig. 4. Objeto de prueba (envase).

Los errores dimensionales obtenidos en la primera y segunda evaluación son inferiores al 5%, alcanzando así un nivel aceptable de funcionamiento relacionado con la generación de la nube de puntos y su exactitud.

La tercera prueba evalúa la capacidad del escáner para digitalizar superficies cóncavo-convexas. En primer lugar se realiza una prueba métrica de las dimensiones del objeto escaneado, Fig. 5(a), comparando con el objeto real; el análisis se muestra a continuación en la Tabla VI.

TABLA III  
RESULTADOS SEGUNDA EVALUACIÓN

ENVASE	Dimensiones		
	$\phi_1$	$\phi_2$	H
	31,41 mm	70,35 mm	159,95 mm
<b>ERROR</b>	0.29 %	0.5 %	0.03 %

TABLA IV  
PRUEBA DIMENSIONAL OBJETO CÓNCAVO-CONVEXO

Dimensión	Real	Escaneada	ERROR
$h$	100 mm	99,57 mm	$E\% = 0,43\%$
$a$	100 mm	99,89 mm	$E\% = 0,11\%$
$b$	100 mm	99,94 mm	$E\% = 0,06\%$
$\phi_1$	60 mm	59,34 mm	$E\% = 1,1\%$
$\phi_2$	60 mm	59,28 mm	$E\% = 1,2\%$

Validadas las dimensiones se prosigue con la reconstrucción de la nube de puntos, Fig. 5(b). El método seleccionado para el mallado es Ball Pivoting por considerarse al objeto de cierta complejidad.

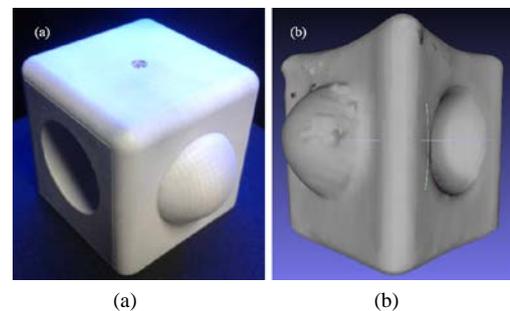


Fig. 5. Prueba de reconstrucción superficial objeto cóncavo-convexo (a) Pieza impresa y (b) Pieza mallada.

La última prueba no intenta medir errores dimensionales, sino más bien analizar la respuesta de digitalización del escáner 3D de bajo costo en tres tipos de figuras geométricas: Triángulos, círculos y cuadrados en diferentes tamaños.

El objeto de prueba (Fig. 7) es un prisma cuadrado de  $50 \times 50 \times 150$  mm que tiene en tres de sus caras verticales las figuras geométricas destinadas para el estudio. Se usa la denominación (Cir.) para los cilindros circulares de dimensión  $\phi$ , (Tri.) para las pirámides triangulares (el triángulo base es circunscrito en un círculo de diámetro  $\phi$ ) y (Sqr.) para los cilindros cuadrados de lado  $l$ .

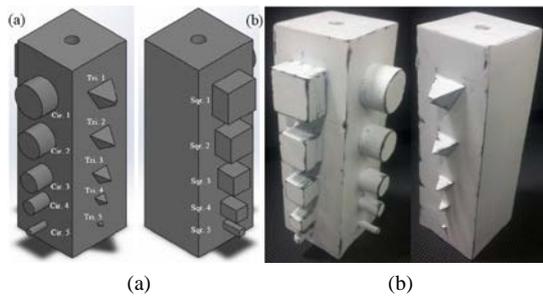


Fig. 6. Prueba de figuras geométricas (a) Diseño CAD y (b) pieza impresa.

En la Tabla VII se observa el resultado de la reconstrucción superficial del objeto de prueba de figuras geométricas que se realizó mediante el método de Ball Pivoting. Se analiza cada una de las figuras en los distintos tamaños para determinar si son legibles a simple vista o no.

TABLA V  
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FIGURAS GEOMETRICAS

Denominación	Dimensión	¿Es legible?
Cir. 1	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	SI
Cir. 2	$\varnothing = 20 \text{ mm}$	SI
Cir. 3	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	SI
Cir. 4	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	A PENAS
Cir. 5	$\varnothing = 5 \text{ mm}$	NO
Tri. 1	$\varnothing = 25 \text{ mm}$	SI
Tri. 2	$\varnothing = 20 \text{ mm}$	SI
Tri. 3	$\varnothing = 15 \text{ mm}$	SI
Tri. 4	$\varnothing = 10 \text{ mm}$	NO
Tri. 5	$\varnothing = 5 \text{ mm}$	NO
Sqr. 1	$l = 25 \text{ mm}$	SI
Sqr. 2	$l = 20 \text{ mm}$	SI
Sqr. 3	$l = 15 \text{ mm}$	SI
Sqr. 4	$l = 10 \text{ mm}$	A PENAS
Sqr. 5	$l = 5 \text{ mm}$	NO

Se puede apreciar que las figuras geométricas más pequeñas son poco o nada legibles, se debe a parámetros de escaneo como el ángulo de paso del motor que no permite obtener los suficientes puntos de contorno para definir con mayor exactitud las figuras; la longitud de onda del láser lineal que debido a su anchura impide una segmentación fina del contorno generado y al salto de pixel que provoca pérdida de información para salvaguardar el rendimiento en la generación de la nube de puntos.

#### IV. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo de escáner 3D de bajo costo con una inversión aproximada de 186 dólares. El uso de software libre contribuyó sustancialmente en lo que ha costos respecta. Los errores arrojados en la etapa de pruebas son menores al 5%, esto se debe gracias a que el modelamiento

matemático para la triangulación espacial (formada por la webcam, emisor láser lineal y el contorno del objeto escaneado) fue correctamente realizada. Las especificaciones técnicas establecidas en la etapa de diseño ayudaron significativamente a satisfacer los requerimientos del prototipo. Es capaz de escanear objetos de  $16 \times 16 \times 18 \text{ cm}$  de hasta 6 kg de peso. Presta gran precisión de escaneo y permite el giro de los  $360^\circ$  del objeto. El sistema implementado permite al usuario un fácil uso del prototipo mediante una interfaz amigable y ergonómica.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" por brindar la posibilidad de realizar el presente estudio y al Laboratorio de Procesos de Manufactura por facilitar los medios pertinentes para construcción del prototipo de escáner 3D de bajo costo.

#### REFERENCIAS

- [1] I. B. Montero, Equipos Microinformáticos, Madrid, ESPAÑA: Ediciones Paraninfo SA, 2da Edición, 2016.
- [2] MicroScribe, "MicroScribe 3D G2X Portable CMM," 2016. [En línea]. Available: <http://www.3d-microscribe.com/G2%20Page.htm>.
- [3] C. Teutsch, "Model-based Analysis and Evaluation of point sets from 3D laser Scanners," *Shaker Verlag, Magdeburger Schriften zur*, 2007.
- [4] P. Cignoni, M. Callieri, M. Corsini, M. Dellepiane, F. Ganovelli y G. Ranzuglia, "MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool," 2008. [En línea]. Available: <http://www.meshlab.net/>.
- [5] G. d. I. EDMANS, "Técnicas y Algoritmos básicos de visión artificial," Universidad de la Rioja, 2006.
- [6] A. B. M. D. Á. S. C. José Francisco Vélez, "Visión por Computador," 2003.
- [7] J. J. Craig, Robótica-Matriz de rotación, 3era ed., PEARSON, pp. 42-45.
- [8] S. Fleishman, D. Cohen-Or y C. T. Silva, "Robust Moving Least-squares Fitting with Sharp Features," [En línea]. Available: <http://www.sci.utah.edu/~shachar/Publications/rmls.pdf>. [Último acceso: 24 02 2017].
- [9] W. E. Lorensen y H. E. Cline, "Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm," General Electric Company, New York, 1987.
- [10] F. Bernrdini, J. Mittleman, H. Rushmeir, C. Silva y G. Taubin, "The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction," IBM Research.
- [11] M. Kazhdan, M. Bolitho y H. Hoppe, "Poisson Surface Reconstruction," Microsoft Research, Redmond WA, USA, 2006.
- [12] A. 3D, "Escáneres de Artec 3D & Aplicaciones," 2017. [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/applications#application-row-anchor-1>.
- [13] P. +. Fuchs, "PRT: El Método de Medición de Gran Precisión," 2017. [En línea]. Available: [www.pepperl-fuchs.es/spain/es/10090.htm](http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/10090.htm).
- [14] Optimet, "Holografía Conoscópica," [En línea]. Available: <http://www.dsplus.es/web/optimet.asp>.
- [15] P. H. Song Zhan, "High-resolution, real-time three-dimensional shape measurement," 2006.

# “Tecnologías creativas” Formación de habilidades y conocimientos relacionadas a las plataformas Scratch y Arduino en los niños y jóvenes de la comunidad urbano marginal del Distrito Metropolitano de Quito

Carlos Francisco Terneus Páez, Johanna Belén Tobar Quevedo, David Cesar Loza Matovelle, Fernando Naranjo Herrera  
Departamento de Ciencia de la Energía y la Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE  
cfterneus@espe.edu.ec, jbtobar@espe.edu.ec, dcloza@espe.edu.ec, lfnaranjo4@espe.edu.ec

**Resumen**—La búsqueda incansable para hallar una vinculación entre la tecnología y la educación responde a la necesidad diaria del progreso y crecimiento económico y social de un país. Por esta razón el presente proyecto enlaza estos dos elementos fundamentales para la competitividad mundial, enmarcadas en un contexto de educación no formal posibilitando el acceso al aprendizaje de plataformas como son Scratch y Arduino, a partir de experiencias lúdicas las mismas que permiten un acercamiento a la ciencia de la programación. Dichos conocimientos fueron aplicados en proyectos ejecutados por niños y jóvenes de veinte “Casas Somos” ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito. Se obtuvo como resultado una potenciación del desarrollo cognitivo, razonamiento lógico, operaciones lógicas del pensamiento, ubicación espacial de los participantes, quienes propusieron como resultado la programación y diseño de diferentes proyectos enmarcados en la resolución de un problema de la vida cotidiana.

**Palabras Claves**— Arduino, Scratch, programación, niños, comunidades urbano marginales, lúdica, razonamiento lógico-matemático.

**Abstract**—The tireless search to find a link between technology and education responds to the daily need for progress, economic, and social growth of a country. For this reason, this project links these two fundamental elements for global competitiveness, ranged in a non-formal educational context, allowing access to learning platforms such as Scratch and Arduino, from recreational experiences, that allow an approach to the programming science. This knowledge was applied in projects executed by children and young people from twenty "Casas Somos" located in the Metropolitan District of Quito. It resulted in an enhancement of cognitive development, logical reasoning, logical operations of thought, spatial location of participants, who proposed as a result the programming and design of different projects ranged in the resolution of a problem of everyday life.

**Keywords**— Arduino, Scratch, programming, children, community, recreational activities, logical reasoning.

## I. INTRODUCCIÓN

El proyecto nace de la necesidad de promover la inclusión económica, la promoción social y la supresión progresiva de la pobreza; enfocándose en zonas vulnerables con niños, niñas, adolescentes y jóvenes que son parte del programa de erradicación de trabajo infantil. En el año 2013 el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información [3] aseguró que más del 60% de las personas en el Ecuador tienen accesibilidad al internet; sin embargo, es imperante

recaltar la escasa accesibilidad a recursos tecnológicos en zonas rurales de Quito.

Por tal razón, la Universidad de las Fuerzas Armadas en alianza estratégica ha desarrollado el proyecto de capacitación en programación orientado a dicho sector de la población; evidenciando el compromiso asumido en su campo de acción, y emprende las actividades necesarias para organizar los módulos y metodología de estudio. Obteniendo beneficios internos como: estudiantes universitarios participantes puedan desarrollar habilidades y competencias blandas en manejo de grupos, pedagogía, experiencia técnica y desenvolvimiento en público.

La aplicación se realizó en 20 “Casas Somos”, pertenecientes a la ciudad de Quito. En ellas se disponen talleres artísticos, académicos y culturales destinados a niños, jóvenes, adultos y adultos mayores; dentro de los barrios y diferentes sectores de la ciudad [1], [2]. Se ejecutaron 23 talleres de capacitación con la temática en Scratch y Arduino, permitiendo el acceso al aprendizaje a 380 niños y 105 adolescentes y jóvenes.

El proceso de enseñanza-aprendizaje a niños y jóvenes para la programación está enfocado en plataformas amigables con el usuario, tales como: Arduino y Scratch. A través de las cuales es posible desarrollar capacidades cognitivas, entendiéndolo su importancia, ya que permiten la potencialización de habilidades perceptivas espaciales, lógica, procesamiento de información, recursos conceptuales, razonamiento, adicionalmente se inicia un acercamiento desde edades tempranas a la programación como ciencia y motivación al estudio de carreras técnicas [4], [5].

Dentro del artículo se presenta en la sección II se puede comprender el método utilizado para la ejecución del proyecto, fundamentación teórica en la que se exponen los programas utilizados y su relación con el desarrollo cognitivo que tienen los niños al programar. En la sección III se exponen los resultados más importantes encontrados tras la aplicación del proyecto, con el fin de comprender cuáles fueron los beneficios para los participantes en un sentido integral. Finalmente los resultados pueden ser observados en la sección IV.

## II. MÉTODO

La metodología utilizada fue de investigación-acción rural participativa, la cual pertenece a un campo cualitativo; no obstante, se tomaron en cuenta datos cuantitativos para medir el impacto de la misma. El proyecto reúne características, condiciones técnicas y operativas que los estudiantes han aprendido durante la trayectoria en las carreras de Mecánica y Mecatrónica. De manera complementaria se utilizaron estrategias lúdicas, las cuales permitieron aprendizajes significativos para los niños, quienes afianzaron sus conocimientos a través de la resolución autónoma de problemas [6]. Lo cual serviría de engranaje para lograr un enfoque multisectorial, el mismo que pretende fortalecer los vínculos de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE con sectores vulnerables durante todas las etapas del proyecto, las cuales se encuentran en la Fig. 1.

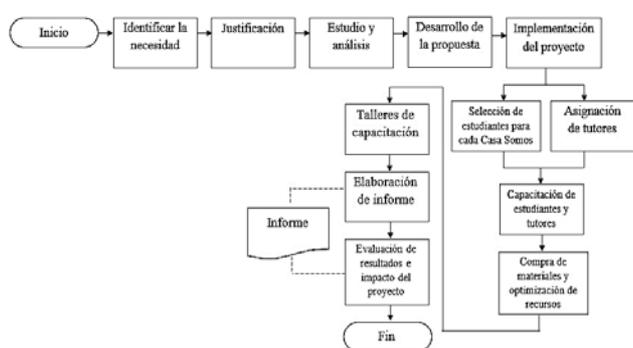


Fig. 1. Diagrama de flujo de etapas del proyecto.

### A. Desarrollo cognitivo en la infancia

Mustard [7] asegura que: “La aplicación de este conocimiento (de desarrollo infantil) elevará la calidad de vida de la población, y favorecerá nuestro ideal de vivir en una sociedad más próspera, saludable, tolerante, pluralista, sostenible, democrática y pacífica”. Tomando en cuenta esta perspectiva se puede comprender la necesidad del trabajo mancomunado desde la educación y la tecnología para un desarrollo sostenible.

Estudios en los cuales demuestran que la edad infantil es la más importante y trascendente en la vida del ser humano, debido a la gran cantidad de neuronas cerebrales que realizan conexiones sinápticas, las cuales permiten aprendizajes significativos [8]. Por esta razón, la presente investigación se aplica en dicha población, con la finalidad de construir habilidades cognitivas para la resolución de problemas, gracias a la plasticidad cerebral, [9] que gracias al juego y experiencias individuales logran desarrollar conexiones neuronales, mejoran habilidades sociales, desarrollan operaciones mentales de orden superior, interacción intra e interpersonales [6].

### B. Operaciones lógicas del pensamiento

A medida que se desarrolle el pensamiento lógico, se podrá construir conceptos abstractos que requieran razonamientos superiores, operaciones lógicas del pensamiento y por tanto desarrollar un pensamiento lógico que beneficie en sus decisiones cotidianas [10]:

- Clasificación: permite al niño conocer y desenvolverse en la realidad a través de agrupar las semejanzas y

separar por diferencias con base a un criterio (o varios dependiendo de la edad).

- Seriación: consiste en establecer relaciones dentro de las diferencias y ordenarlas.
- Correspondencia término a término: a través de esta operación lógica el niño comprende que existe una relación uno a uno entre elementos agrupados en diferentes conjuntos para poder ser comparados de una manera cuantitativa.

### C. Beneficios de la programación a través de la lúdica

Uno de los objetivos que busca la tecnología es mejorar la calidad de vida de las personas. Para ello, existe un proceso creativo que sigue una persona, no obstante estos elementos no responden a una continuidad cronológica ya que se deben considerar de manera integral dentro del mismo; se podría traducir como un caleidoscopio creativo hasta llegar a la invención [11].

De hecho, en la actualidad la humanidad vive rodeada de equipos que tienen funciones autónomas y colaboran con el ser humano, principalmente en la industria manufacturera realizando funciones repetitivas o peligrosas; pero también en servicios profesionales como inspección, rescate, limpieza; y también personales y domésticos como de seguridad en vivienda, para tareas dentro del hogar, entretenimiento, etc. Sin embargo, en el futuro cercano, se esperan grandes avances en los ámbitos de salud, la educación y domiciliarios. La robótica en el futuro será una fuente de generación de empleos que serán originados por estas mismas tecnologías [12].

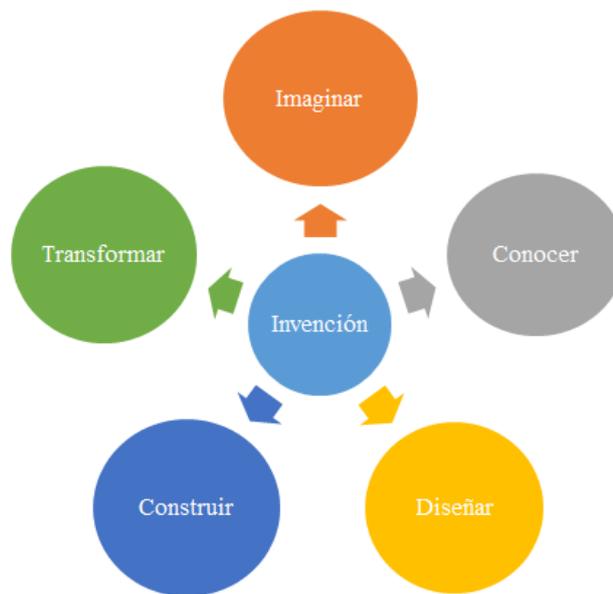


Fig. 2. Proceso creativo complejo de la invención.

### D. Plataformas accesibles

Las plataformas utilizadas desde una perspectiva psicológica son efectivas porque logran mantener la atención focalizada del niño; además son motivadoras y estimulan la toma de decisiones y razonamiento [13]. El niño estructura sus ideas con lógica-matemática para dar órdenes de programación e ingresarlas en la plataforma.

Por otro lado, los participantes tuvieron la oportunidad de interactuar y experimentar con recursos electrónicos

específicos logrando armar pequeños robots a quienes se les dio movimiento en base a condiciones de sensores. Esta interacción que mezcla la intuición con la teoría (verdades) son el sustento que [14] asegura que la experimentación habilita y mejora las condiciones de aprendizaje, debido a que los niños procuran actuar y construir de manera individual e independiente.

Adicional a ello, se puede resaltar el aporte de Ilvay [15] quien menciona el término de cibercultura y educación, en el cual se enmarca las características que requiere el software educativo, que son: ser flexibles y adaptables para diversos usuarios, que fomenten una comunicación interpersonal; y, que reciban retroalimentación. Es por esta razón que, se tomaron en cuenta la siguiente plataforma:

### E. S4A Scratch para Arduino

Es una modificación de Scratch que permite programar la plataforma de hardware libre Arduino de forma sencilla, proporcionando una interfaz de alto nivel con funciones como la interacción con un conjunto de placas mediante eventos de usuario.

La interfaz presenta una organización por bloques, los objetos de Arduino para funcionalidades básicas del microcontrolador, escrituras y lecturas digitales y analógicas, permitiendo conectarse múltiples placas a la vez.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al término del proyecto, se realizó la medición de impacto del proyecto a los coordinadores de las Casas Somos a través de entrevistas y encuestas, obteniendo los siguientes resultados:

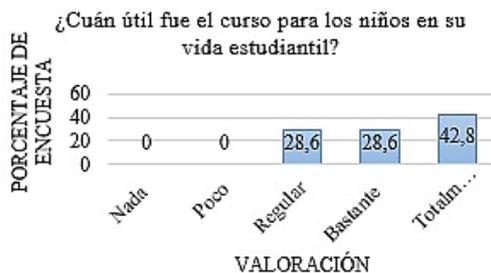


Fig. 3. Porcentaje de utilidad del curso

El 85,7% de la población encuestada consideró que la influencia del curso ha sido útil en el ámbito académico de los niños participantes. Teniendo en cuenta que para mejorar dicho ámbito es necesario desarrollar habilidades cognitivas específicas como las mencionadas anteriormente, se puede asegurar su influencia positiva dentro de la vida estudiantil. Por otro lado, se ha considerado a la concentración como una capacidad cognitiva básica para el desarrollo de las operaciones lógicas del pensamiento, y a través del análisis de resultados se pudo determinar que el 42,8% de los coordinadores considera que dicha capacidad ha aumentado totalmente en los niños participantes. Siendo un resultado representativo, ya que, a partir de la concentración surge la posibilidad de desarrollar, crear y plasmar nuevas ideas en los productos terminados, afianzando sus capacidades cognitivas.



Fig. 4. Porcentaje de aumento de concentración

Se aplicaron encuestas para comprender desde una perspectiva personal la influencia de los cursos realizados, obteniendo que la mayoría de encuestados la consideró como positiva, debido a que, brindó oportunidades de crecimiento personal a comunidades rurales del país, recalando que la metodología y teoría enseñadas los niños pudieron mejorar su destreza lógica matemática, solventar problemas, pensamiento creativo y acceso a información técnica. Estableciendo el impacto integral a la vida de los niños y jóvenes participantes del proyecto.

Adicional a ello, se aumentó en el niño el emprendimiento a través de actividades que potencien y orienten su vocación dirigida hacia una carrera tecnológica o de ingeniería, lo cual fue demostrado en las encuestas obteniendo que el 71,4% consideró que se aumentó el interés por dichas ramas de la ciencia. Por lo tanto, el integrar tecnología a la vida infantil en este tipo de talleres ayudó a desarrollar las habilidades mencionadas por Isbell & Yoshizawa [20] en su libro "From Nurturing Creativity: An essential mindset for young children's learning", las cuales son: pensamiento creativo, flexibilidad, resolución de problemas y generar ideas innovadoras.

La introducción del conocimiento y apropiamiento de nuevas tecnologías desde edades iniciales, resultó beneficiosa en el desarrollo cognitivo desde varias perspectivas, una de ellas el pensamiento lógico-matemático y el fomento de habilidades para desenvolverse en la sociedad de la información. Evidenciado en los proyectos prácticos presentados por los niños participantes, quienes en la exposición final supieron exponer todo el procedimiento para su elaboración. Donde se pudo evidenciar el proceso creativo de los niños, al construir y diseñar la interfaz y jugar con las variables. Además, aprendieron a planificar, controlar el tiempo y tomar decisiones para lograr su objetivo. Es decir, se fortalecieron ya potencializaron las funciones ejecutivas, establecidas en el cerebro pre frontal [13].

Desde el campo tecnológico utilizaron conocimientos científicos y empíricos para solventar problemas técnicos y reales, optando por la solución que mejor se adaptó a las necesidades, costo, seguridad y otras condiciones del entorno, introduciéndose de esta manera en la solución de problemas para mejora la base de la producción del país.

Adicional a ello, este tipo de actividades permitieron potenciar la motivación, autonomía, desarrollo de distintas formas de comunicar sus ideas y mejorar sus habilidades sociales, reflexión, organización de ideas y trabajo en equipo; ya que tendrá la oportunidad de entrar en contacto con otros niños y compartir sus ideas y trabajos con otros, con el fin de buscar mejora a través de un trabajo

mancomunado de descubrimiento y experimentación. [14]

El adolescente pudo desarrollar: dominio de responsabilidad sobre las circunstancias, combinar y movilizar sus saberes y actitudes, obtuvo nuevos aprendizajes de las situaciones a ser aplicados oportunamente, construcción y apropiación de nuevos recurso según la necesidad, canalizó el potencial creativo individual dentro de una acción colectiva.

#### IV. CONCLUSIONES

Las herramientas de programación como Arduino y Scratch (S4A) resultan competentes para el acceso y enseñanza de programación y un acercamiento a la robótica gracias a su fácil acceso, bajo costo y presentación didáctica para ser utilizada por niños y jóvenes como un acercamiento a ciencias técnicas. Adicionalmente actividades de programación a través de la lúdica permiten un desarrollo integral en quienes las utilizan, gracias al desarrollo cognitivo que se logra fomentando el razonamiento, la reflexión, ubicación espacial, operaciones lógicas del pensamiento, análisis. Resulta necesario que la educación formal tome en cuenta estos procesos para lograr vínculos entre la tecnología y las nuevas generaciones, consiguiendo así nuevas propuestas.

#### REFERENCIAS

- [1] La Hora, "Casa Somos ofrece más de 2300 cursos gratuitos," La Hora, pp. <https://lahora.com.ec/noticia/1102056405/casa-somos-ofrece-ms-de-2300-cursos-gratuitos->, 09 Mayo 2017.
- [2] Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, "Casas Somos. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito," 2018. [En línea]. Available: <http://www.quito.gob.ec/index.php/municipio/66-secretarias/277-casa-somos>.
- [3] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, "MINTEL y MIES promueven la inclusión de sectores vulnerables a la tecnología," Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, p. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/?s=MINTEL+Y+MIES>, 2013.
- [4] K. A. Bonilla, Martínez y J. G. Rubio, Rodríguez, "Utilización del Software Scratch (S4A) y Hardware Arduino como mediadores en procesos educativos para promover el pensamiento algorítmico," Bogotá, 2014.
- [5] R. Blanco, Menéndez, "El pensamiento lógico desde la perspectiva de las neurociencias cognitivas," Oviedo, 2009.
- [6] B. E. Ojeda, Carpio, Tesis: Incidencia de la actividad lúdica como estrategia metodológica para el desarrollo del pensamiento lógico matemático en los niños y niñas del C.E.I. de "María Franco de Carrillo" y primer año de la escuela de educación básica "Galo Plaza Lasso", Machala, 2015.
- [7] J. F. Mustard, "Early Human Development – Equity from the Start – Latin America," *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, pp. 639-680. Recuperado en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rllcs/v7n2/v7n2a04.pdf>, 2009.
- [8] A. Tinajero, "Trayectorias de neurodesarrollo en el ecuador: una lectura de los indicadores de desarrollo humano," <http://docplayer.es/59289116-Trayectorias-de-neurodesarrollo-en-el-ecuador-una-lectura-de-los-indicadores-de-desarrollo-humano-alfredo-tinajero-febrero-2014-guayaquil.html>, Guayaquil, 2014.
- [9] M. R. Rosenzweig y E. L. Bennet, "Psychobiology of plasticity: effects of training and experience," *ELSEVIER*, pp. 57-65, 1996.
- [10] R. Rubio, Centeno, "El desarrollo lógico-matemático del niño a través de las tecnologías de la información y la comunicación," *Segovia*, 2012.
- [11] D. A. Hernández, Londoño, "Interfaz de programación visual como herramienta educativo para el desarrollo de competencia en ciencia y tecnología por parte de niños, jóvenes y educadores," Medellín, 2016.
- [12] N. d. B. Jiménez, "Desarrollo de una plataforma didáctica para la educación infantil," Madrid, 2015.
- [13] J. Tirapu, Ustároz, J. M. Muñoz, Céspedes y C. Pelegrín, Valero, "Funciones ejecutivas: necesidad de una integración conceptual,"

*Revista de Neurología*, pp. 673-685. Recuperado en: <https://pdfs.semanticscholar.org/f6f1/b7ec7671afea34cb9cfae7804ee13c369368.pdf>, 2002.

- [14] S. B. Hong y M. Trepanier-Street, "Technology: A Tool for Knowledge Construction in a Reggio Emilia Inspired Teacher Education Program," *Early Childhood Education Journal*, pp. 87-94. Recuperado en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10643-004-7971-z>, 2004.
- [15] R. B. Ilvay, Taday, "Sistema de Educación para niños de 3 a 5 años, mediante un robot controlado por el sensor KINECT," Riobamba, 2014.
- [16] E. Arias, Méndez y G. Pereira, Carpio, "Enseñar Programación a niños, jóvenes y adultos usando la plataforma Arduino," *Simposio Argentino sobre Tecnología y Sociedad*, pp. 44-50, 2016.
- [17] P. Espeso, "Educación 3.0," 27 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.educaciontrespuntocero.com/experiencias/programacion-robotica-educacion-infantil/45272.html>.
- [18] J. Barrios, R. Kang, S. Morel, D. Kang, A. López y E. Martínez, "Inclusión Tecnológica de Niños mediante Robótica Educativa de bajo costo," *X Congreso de Tecnología en Educación & Educación en Tecnología*, pp. 624-630, 2015.
- [19] L. M. Uribe, Sichaca y J. Vega, Africano, "A4C "Arduino For Childs: Una Alternativa Que Hace Uso De La Robótica Para El Desarrollo De Competencias Descriptivas," Bogotá.
- [20] R. Isbell y S. Yoshizawa, From Nurturing Creativity: An Essential Mindset for Young Children's Learning, The National Association for the Education of Young Children, 2016.
- [21] E. Vara, Blanco, "La lógica matemática en Educación Infantil," Valladolid.

# Incremento de dureza y resistencia al desgaste de un acero al manganeso para la industria minera

Lorena Córdova, Julio Villavicencio  
Escuela de Ingeniería Mecánica, ESPOCH  
lore.cordova.morales@gmail.com, julio.villavicencio@esPOCH.edu.ec

**Resumen**—Los aceros al manganeso son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren gran dureza y resistencia como por ejemplo en tractores, moledoras, trituradoras, martillos de impacto y dientes de excavadoras. Este reporte estudia la aplicación de tres tratamientos térmicos (TT) a un acero con 0,7% de carbono y 13,3 % de manganeso, utilizado en los elementos moledores que utiliza la empresa minera ENGINE en el proceso de triturado. Los TT aplicados incluyen: normalizado, temple en aceite más revenido y temple en agua más revenido. La temperatura de austenización para todos los TT fue de 925°C por 30 minutos. La temperatura de revenido ensayada luego de los temple en aceite y agua fue de 705°C por 45 minutos seguido de enfriamiento en horno. Luego de aplicados los TT se realizó la observación de las microestructuras, análisis de espectrometría de rayos X (EDS), mediciones de dureza Brinell y ensayos de desgaste. Las microestructuras en todos los TT aplicados presentaron fases completamente austeníticas, sin embargo, se observaron precipitados distribuidos intergranularmente e intragranularmente dependiendo del TT. Los análisis de EDS mostraron que estos precipitados contienen carbono y manganeso lo que promueve el aumento de la dureza del material. Las durezas más altas fueron alcanzadas con los TT que incluyeron temple y revenido siendo el temple en agua el que mayor dureza alcanzó con un valor de 248 HBW. El temple en aceite más revenido alcanzó un valor de 235 HBW. Los ensayos de desgaste fueron altamente favorables para el TT de temple en agua más revenido con un volumen perdido de 56 mm<sup>3</sup>. Este comportamiento fue atribuido a distribución de precipitados intergranulares e intragranulares lo cual mejora la resistencia al desgaste a diferencia del TT de temple en aceite más revenido cuya resistencia al desgaste no es tan alta por solo presentar precipitados intergranulares.

**Palabras Claves**—Acero al manganeso, tratamientos térmicos, dureza Brinell, resistencia al desgaste.

**Abstract**—Manganese steels are widely used in applications where hardness and toughness are required. Examples of its use are tractors, milling machines, impact hammers and dipper bucket teeth. This report studies the influence of three heat treatments applied on steel with 0,7% of carbon and 13,3% of manganese. The samples studied are part of a grinding mill liner utilized in the milling process at ENGINE mining company. Heat treatments like normalizing, oil quenching plus tempering and water quenching plus tempering were applied on several steel samples. The austenitizing temperature employed was 925 °C for 30 minutes. After oil and water quenching, the samples were tempered at 705 °C for 45 minutes and followed by furnace cooling. Next, microstructure observations, energy dispersion X-ray Spectroscopy (EDS), Brinell hardness plus wear resistance tests were performed on several samples. All the samples showed an austenitic microstructure independently from the kind of heat treatment applied. Nonetheless, the presence of intergranular and intragranular precipitates varied for every heat treatment. EDS analysis indicated that the particles were made of carbon and manganese. As a result, hardness measurements increased over the regions where these precipitates were allocated.

Water and oil quenching plus tempering reached the highest hardness among all heat treatments practiced. However, water quenching plus tempering achieved the highest Brinell hardness at 248 HBW. Oil quenching, on the other hand, reached 235 HBW. Besides, water quenching plus tempering showed the best wear resistance results. Volume lost for water quenching plus tempering resulted in 56 cubic millimeters. This beneficial behavior was attributed to an even intergranular and intragranular distribution of precipitates resulting in an improved wear resistance compared to oil quenching plus tempering where the same precipitates were distributed only along the austenitic grain borders.

**Keywords**—Manganese steels, heat treatments, Brinell hardness, wear resistance.

## I. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad económica muy importante en muchos países alrededor del mundo. Esta actividad conocida como primaria extrae minerales de la tierra, de yacimientos que están al aire libre o diferentes niveles del subsuelo [1], [2].

Existen muchos equipos y maquinaria que facilitan la extracción de minerales [3]. Uno de los equipos más importantes es el molino [4]. Involucrados a este molino se encuentran otros elementos como las muelas. Estas ayudan a triturar, aplastar y pulverizar la roca. Por sus condiciones de trabajo, estos elementos están sometidos a varios esfuerzos que provocan el deterioro significativo del molino [5].

Para resistir el deterioro, el material más popular utilizado para este tipo de equipos es el acero al manganeso, el mismo que es ideal por su excelente resistencia y dureza.

Debido a que la microestructura del acero al manganeso es netamente austenítica y que la aplicación de tratamientos térmicos no modifica esta microestructura, se cree que no es posible mejorar sus propiedades mecánicas [6].

Existen investigaciones que han estudiado los efectos de la aplicación de tratamientos térmicos en aceros al manganeso. Por ejemplo, la referencia [7] estudió los efectos de la aplicación de temple en salmuera con hielo a partir de 1100 °C en un acero con 1.13% de carbono y 11.4 % de manganeso. Los resultados demostraron el incremento de la resistencia a la fluencia del material atribuidos al envejecimiento artificial y la precipitación de carburos.

Otra investigación también estudió la influencia de la aplicación de temple en agua para un acero con 1,18% carbono y 12,9% de manganeso desde una temperatura de austenización de 1180 °C en una atmosfera de argón. Los resultados también demostraron el incremento de la dureza y resistencia del material debido a la formación de una pseudo-fase con propiedades similares a martensita bct (body centered tetragonal) [8].

Pese a que las investigaciones mencionadas anteriormente han estudiado los efectos de la aplicación de tratamientos térmicos, estos no incluyen el análisis de resistencia al desgaste.

Este trabajo tiene como objetivo la aplicación de tres tratamientos térmicos con el fin de incrementar la dureza y mejorar la resistencia al desgaste de los elementos moledores utilizados para el proceso de triturado.

## II. EQUIPOS Y METODOLOGÍA

### A. Extracción de muestras.

El material para las muestras fue extraído de los elementos moledores de las placas de un molino utilizado por la empresa minera ENGINE. Muestras pequeñas se cortaron en frío para obtener 24 probetas de una pulgada de ancho por tres de largo y media pulgada de espesor.

### B. Composición Química.

El análisis químico fue realizado con un espectrómetro de chispa BRUKER ION 2 con alimentación de argón. La superficie de las muestras se preparó utilizando lijas número 50, 80 y 120. La composición final se obtuvo del promedio de dos ensayos realizados con el espectrómetro. Los resultados de la composición química se presentan en la Tabla I.

TABLA I  
RESULTADOS DE ESPECTROMETRÍA

Elemento	Simbología	Porcentaje (%)
Carbono	C	0,700
Silicio	Si	0,267
Manganeso	Mn	13,300
Molibdeno	Mo	0,065
Níquel	Ni	0,119
Hierro	Fe	Balance

### C. Tratamiento térmico.

Se realizaron tres tratamientos térmicos: normalizado, temple en aceite más revenido y temple en agua más revenido. La temperatura de austenización aplicada fue 925°C y el tiempo de permanencia para todos los tratamientos térmicos fue de 30 minutos.

Para las probetas revenidas, se definió una temperatura de revenido de 705°C por 45 minutos y enfriamiento hasta la temperatura ambiente dentro del horno. Temperaturas similares de revenido se presentan en base al contenido de manganeso en la referencia [6].

### D. Análisis microestructural

Después de realizar los tratamientos térmicos propuestos, las muestras fueron preparadas utilizando lijas número 100, 240, 320, 400, 600, 1000, 1500 y 2000. A continuación, se realizó el pulido mecánico utilizado alúmina Buehler de 1 µm. El ataque químico aplicado a las probetas fue con Nital al 2%. Para la observación de microestructura se usó un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-IT 100.

### E. Propiedades mecánicas

Los ensayos de dureza Brinell se realizaron usando un durómetro Huayin. La carga aplicada fue de 187,5 kilogramos con un indentador de bola de 2,5 milímetros. Los ensayos de desgaste se efectuaron con un equipo que trabaja con flujo constante de arena. La arena desciende

tangente entre un disco de caucho y la probeta que soporta una carga de 30 Newtons. El cálculo de volumen perdido se obtuvo relacionando las masas antes y después del ensayo. El ensayo de desgaste realizado fue tipo B. Este ensayo establece un tiempo de permanencia de 10 minutos por muestra y flujo de abrasivo de arena de sílice (AFS 50-70) [9].

## III. RESULTADOS

### F. Espectrometría

El análisis espectrométrico arrojó 13.3% de manganeso y 0.7% de carbono. Con estos datos se estableció que el material en estudio es un acero Hadfield tipo D [10].

### G. Microestructura de las muestras

La microestructura del acero en estado de suministro se presenta en la Fig. 1(a). Esta microestructura es totalmente austenítica.

En la Fig. 1(b) se observa la microestructura luego del aplicado el tratamiento térmico de normalizado. La microestructura es similar a la microestructura de la Fig. 1(a), con la diferencia que existe una mayor presencia de partículas claras distribuidas aleatoriamente en la matriz.

La Fig. 1(c) corresponde a la microestructura de una muestra luego de templearla en aceite y revenirla. La microestructura resultante contiene austenita y precipitados en los límites de grano. La Fig. 1(d) corresponde a la microestructura del acero en estudio luego templearla en agua y revenirla. La microestructura resultante está compuesta de granos austeníticos más precipitados intragranulares e intergranulares.

Comparando las micrografías anteriores se puede evidenciar que la microestructura del acero en estudio no alteró luego de aplicados algunos tratamientos térmicos. Aunque la microestructura permaneció invariable, el número y ubicación de precipitados cambió significativamente. Para determinar los elementos químicos que conforman estos precipitados, se realizó varios análisis EDS usando un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-IT 100.

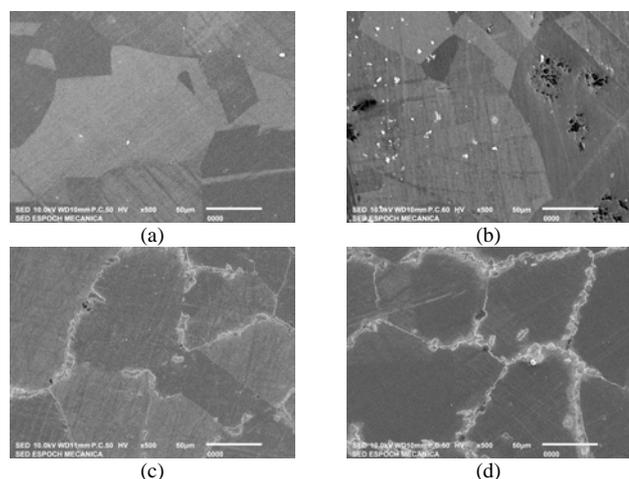


Fig. 1. Microestructura de un acero al manganeso (a) Estado de suministro, (b) Normalizado, (c) Templado en aceite y revenido, (d) Templado en agua y revenido

## H. Análisis Cualitativo de Inclusiones

El análisis cualitativo de los precipitados distribuidos intragranularmente e intergranularmente en las microestructuras templadas se llevó a cabo a través de ensayos EDS. La Figura 2 muestra un acercamiento hacia uno de los precipitados analizados y los elementos químicos que componen esta partícula. Estos precipitados están compuestos de cantidades significativas de carbono y manganeso.

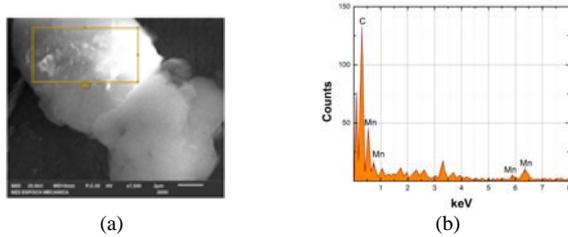


Fig. 2. (a) Precipitado luego de templado en agua y revenido. (b) Resultados de espectrometría con presencia de C y Mn.

## I. Propiedades Mecánicas

La dureza obtenida para la muestra en estado de suministro fue 202 HBW 2,5/187,5. La dureza de la muestra normalizada no varió con respecto a la probeta en estado de suministro. La dureza de la muestra templada en aceite y revenida fue de 235 HBW 2,5/187,5, mientras que la dureza alcanzada para la muestra templada en agua y revenida fue de 248 HBW 2,5/187,5. Un resumen de las durezas alcanzadas se presenta en la Figura 3.

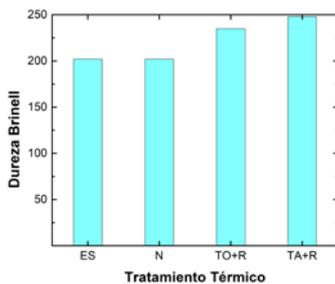


Fig. 3. Durezas luego de la aplicación de varios TT. ES: Estado de Suministro; N: Normalizado; TO+R: Temple en aceite y revenido; TA+R: Temple en agua y revenido.

Las pruebas de desgaste se desarrollaron solamente en las muestras cuyos tratamientos térmicos aumentaron la dureza del material. De esta manera, las muestras templadas y revenidas fueron seleccionadas para las pruebas de desgaste siguiendo los lineamientos de la norma ASTM G65. Los resultados alcanzados luego de los ensayos de desgaste se exhiben en la Fig. 4.

La resistencia al desgaste de la probeta en estado de suministro medida a partir del volumen perdido fue 250 milímetros cúbicos. El temple en aceite y revenido sufrió mayor desgaste que la muestra en estado de suministro. El volumen perdido para este tratamiento térmico fue 324 milímetros cúbicos. Finalmente, la muestra templada en agua y revenida presentó la mejor resistencia al desgaste con un volumen perdido de 56 milímetros cúbicos.

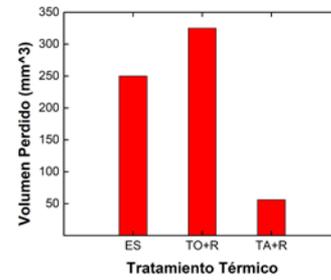


Fig. 4. Ensayos de desgaste. ES: Estado de Suministro; TO+R: Temple en aceite y revenido; TA+R: Temple en agua y revenido.

## IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La microestructura del acero austenítico de la Figura 1 es típica del material en estudio. Micrografías similares se pueden encontrar en la referencia [11] para muestras en estado de suministro.

La aplicación de varios tratamientos térmicos no varió la microestructura del acero al manganeso. Esto se debió al alto contenido de manganeso presente en el material. Tanto el manganeso como el carbono promovieron la formación de austenita y permitieron conservar esta fase a temperatura ambiente independientemente de la tasa de enfriamiento de los tres tratamientos térmicos aplicados en este trabajo [12].

Por otro lado, la dureza obtenida para la muestra en estado de suministro es usual para el tipo de material estudiado. Se pueden hallar valores de dureza similares en las referencias [10] y [13]. La aplicación de los tratamientos térmicos de temple y revenido permitieron incrementar la dureza del material en relación a la probeta en estado de suministro. La aparición de precipitados con cantidades significativas de carbono y manganeso, muy probablemente combinados en forma de carburos, incrementaron esta propiedad mecánica en el material. De hecho, la referencia [14] soporta este argumento al relacionar el aumento en la dureza de un acero austenítico por la presencia de precipitados en su microestructura.

La ubicación de los precipitados en los tratamientos térmicos de temple en agua más revenido y temple en aceite más revenido jugó un papel muy importante tanto en el incremento de dureza como en la resistencia al desgaste. Se ha demostrado en este trabajo que estos precipitados están compuestos principalmente de carbono y manganeso. Si estos se encuentran combinados en forma de carburos formarían compuestos muy duros que contribuirían a incrementar la dureza y resistencia al desgaste del material [15].

La resistencia al desgaste y dureza fue mayor para las muestras templadas en agua y revenidas si las comparamos con las muestras en estado de suministro y las muestras templadas en aceite y revenidas. El incremento de estas propiedades mecánicas se atribuyó a la distribución tanto intergranular como intragranular de precipitados en toda la microestructura.

Las muestras templadas en aceite y revenidas no demostraron una buena resistencia al desgaste comparadas con las muestras en estado de suministro y templadas en agua y revenidas. La baja resistencia al desgaste se atribuyó a que la microestructura del tratamiento térmico de temple en aceite y revenido solamente formó precipitados en los límites de grano lo cual no mejoró esta propiedad.

No obstante, la muestra templada en aceite y revenida sí incrementó su dureza con respecto a la muestra en estado de suministro. En el caso de la dureza la ubicación de precipitados fue indiferente al momento de medir esta propiedad mecánica, ya que el indentador de bola para el ensayo de dureza Brinell cubre una región de la microestructura que abarcó muchos granos con gran cantidad de precipitados que de todas maneras incrementan esta propiedad mecánica.

## V. CONCLUSIONES

Luego de aplicados los tratamientos térmicos de normalizado, temple en aceite más revenido y temple en agua más revenido, se determinó que este último es el mejor tratamiento para incrementar la dureza y resistencia al desgaste del acero al manganeso en estudio. Los tratamientos térmicos de temple y revenido promovieron la formación de precipitados que contienen carbono y manganeso tanto intergranularmente como intragranularmente dependiendo del medio de temple. Estos precipitados generaron el aumento de la dureza del material. La mejor resistencia al desgaste se obtuvo cuando se formó precipitados intergranulares e intragranulares. La formación de estos precipitados dentro de los granos y en los bordes solo se presentó para el tratamiento térmico de temple en agua y revenido.

## REFERENCIAS

- [1] monreal saavedra, r., & hernández rábago, p. y. (2015). *Mi Mexico es minero*. Mexico: Bienio.
- [2] Químico Global S.A. y C.V. (16 de Diciembre de 2014). *La Mineía en Mexico*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <https://quimicoglobal.mx/la-mineria-en-mexico/>
- [3] Banco Central del Ecuador. (enero de 2017). *REPORTE DE MINERIA*. Recuperado el 18 de Mayo de 2017, de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012017.pdf>
- [4] INDUSTRIAS I. (Enero de 2015). *Apunte Molienda*. Recuperado el 2 de Abril de 2017, de Molienda - Universidad de Buenos Aires: [http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06\\_Apunte%20Molienda.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf)
- [5] RIVERA M., I. E., QUINTERO, F., & BUSTAMANTE, O. (2012). Análisis del desgaste de medios moledores de acero en un molino de bolas de la compañía Argos S.A. Recuperado el 11 de Noviembre de 2017, de [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/402-754-1-SM%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/402-754-1-SM%20(4).pdf)
- [6] HIGUERA, O. F., TRISTANCHO, J. L., & FLOREZ, L. C. (Mayo de 2007). Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield). Recuperado el 24 de Agosto de 2017, de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5599/3091>
- [7] ADLER, P. H., OLSON, G. B., & OWEN, W. S. (1986). Strain hardening of Hadfield manganese steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 17(10), 1725-1737.
- [8] DASTUR, Y. N., & LESLIE, W. C. (1981). Mechanism of work hardening in Hadfield manganese steel. *Metallurgical transactions A*, 12(5), 749-759.
- [9] ASTM G65-04. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus.
- [10] ASM International Committee on Standards. (1995). *Steel Castings Handbook*. s.l., Estados Unidos.
- [11] ASM Committee on Metallography of Steel Castings. *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. En *Metals Handbook* (Vol. VII). s.n. Estados Unidos: American Society for Metals.
- [12] GARCÍA, A., VARELA, A., MIER, J. L., CAMBA, C., & BARBADILLO, F. (2010). *Estudiotribológico de aceros austeníticos tipo Hadfield: influencia del manganeso en su respuesta frente al desgaste*. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de

- <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/1158/1169>
- [13] ALRO. (s.f.). ALRO Online Store. Recuperado el 3 de Octubre de 2017, de STEEL SMART GRID: <https://myalro.com/SmartGrid.aspx?PT=Steel&Clear=true>
  - [14] HIGUERA COBOS, Ó. F., MORENO TÉLLEZ, C. M., & SUÁREZ TOVAR, B. A. (06 de octubre de 2010). Evolución microestructural del acero austenítico al manganeso sometido a tratamiento térmico de temple y revenido. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v9n17/v9n17a17.pdf>
  - [15] CALLISTER JR, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Inc, New York, 362-363

# Aceros inoxidables dúplex sometidos a tratamiento térmico de normalizado

Laura Sáenz<sup>a</sup>, J. Chávez<sup>b</sup>, R. González<sup>b</sup>, A. Corona<sup>b</sup>, Z. Tineo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Latacunga, Ecuador

<sup>b</sup>Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación /Facultad de Ingeniería /Escuela de Mecánica, Universidad de Carabobo

lasaenz@espe.edu.ec

**Resumen**—En la investigación se evalúa el comportamiento mecánico de los aceros inoxidables dúplex SAF 2205 y 2507 sometidos a tratamientos térmicos de normalizado a las temperaturas de 900, 950 y 1000°C por tiempo de 7 min para el SAF 2205 y 15 minutos para el SAF 2507. Se determinó que la resistencia mecánica aumento de manera considerable el mayor valor se encontró a 900°C. Se determinó que los valores de  $K_{IC}$  para las condiciones de normalizado de 900°C y 950°C, decaen fuertemente en ambos aceros con respecto a la condición original. Sin embargo se refleja claramente que para la condición de normalizado a 1000°C recupera en su totalidad el  $K_{IC}$ , y para el rango de temperatura de 700°C a 900°C los valores de tenacidad de impacto sufren una drástica disminución, causada por la aparición de fases intermetálicas.

**Palabras Claves**—Aceros inoxidables dúplex, comportamiento mecánico, ductilidad, resistencia mecánica, tenacidad de impacto y tratamiento térmico de Normalizado.

**Abstract**—In the research the mechanical behavior of SAF 2205 and 2507 duplex stainless steels subjected to normalized heat treatments at temperatures of 900, 950 and 1000 °C for 7 minutes for SAF 2205 and 15 minutes for SAF 2507 were evaluated. It was determined that the mechanical strength increased considerably, showing that the highest of values was found at 900 °C. It was determined that the  $K_{IC}$  values for the normalized conditions of 900 °C and 950 °C, reduce strongly in both steels with respect to the original condition. However, it is clearly reflected that for the normalized condition at 1000 °C, for that condition recovers that property in its entirety, and for the temperature range from 700 °C to 900 °C the impact toughness values suffer a drastic decrease, caused by the appearance of intermetallic phases.

**Keywords**— Ductility, duplex stainless steel, impact toughness, normalized thermal treatment and strength Stress.

## I. INTRODUCCIÓN

Los aceros dúplex poseen una notable combinación de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, producto de su estructura bifásica austenita-ferrita. La ferrita aporta alta resistencia mecánica y a la corrosión, mientras que la austenita ductilidad y resistencia a la corrosión uniforme. La resistencia a la corrosión es superior a la de los aceros austeníticos convencionales, sin que se experimente una pérdida en la ductilidad considerable de los mismos. Sin embargo, las propiedades de los mismos son sensibles a variaciones en su composición química, especialmente de cromo, molibdeno, níquel y nitrógeno [1], [2]. Los aceros dúplex además de poseer las fases de ferrita y austenita, también pueden formarse otras fases secundarias debido a variaciones en la temperatura a la que se encuentren expuestos, por lo general producto de algún tratamiento térmico. La formación de estas fases, modifica la microestructura original del acero, lo cual influye

directamente en sus propiedades mecánicas, variando su dureza, resistencia mecánica, tenacidad a la fractura, entre otras. Por lo que pudiera destinarse el acero a aplicaciones específicas en función del comportamiento mecánico que presente a una determinada temperatura [3].

El acero inoxidable dúplex SAF 2205 es un material muy adecuado para el servicio en ambientes que contienen cloruros y sulfuro de hidrógeno. El material es adecuado para su uso en tuberías de producción y líneas de flujo para la extracción de gas y petróleo desde pozos, en las refinerías y en las soluciones de procesos contaminados con cloruros, también es particularmente adecuado para intercambiadores de calor en donde se utiliza agua salobre como medio de enfriamiento [4]-[7].

Los Aceros inoxidables dúplex 2507 también conocidos como de alto contenido de nitrógeno, acero de alta aleación con un valor PRE mayor o igual a 42 y una composición química de 25% de cromo, 7% de níquel, 3.7% de molibdeno y 0.27% de nitrógeno. Se caracteriza por una muy buena resistencia a la corrosión por cloruros, combinado con muy alta resistencia mecánica. El acero inoxidable SAF 2507 es particularmente adecuado para uso en ambientes agresivos como el agua de mar clorada. [5]. El objetivo de la investigación es el de evaluar del comportamiento mecánico de los aceros inoxidables dúplex SAF 2205, y SAF 2507 sometidos a tratamientos térmicos de normalizado a las temperaturas de 900, 950 y 1000°C por tiempo de 7 y 15 minutos para estudiar como varían sus propiedades mecánicas con miras a incrementar sus aplicaciones industriales.

## II. MÉTODO

### A. Material

Los materiales utilizados son aceros inoxidables dúplex tipo SAF 2205 y SAF 2507, la composición química se encuentra especificada en la Tabla I.

TABLA I  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX SAF, 2205 Y 2507 [9,10]

Acero inoxidable Dúplex	% C	% Cr	% Ni	% Mo	% N
SAF 2205	0,019	22,4	5,66	3,12	0,18
SAF 2507	0,020	25	7	4	0,27

### B. Ensayos Mecánicos

El ensayo de tracción fue realizado en una maquina marca Galdabini de capacidad 20 toneladas, se utilizaron probetas de tracción planas para el acero SAF 2205 de 8,5mm de

espesor y cilíndricas de 20 mm de diámetro para el acero SAF 2507 de acuerdo a las especificaciones ASTM A-370 (ver Fig. 1). Para el ensayo de impacto se utilizó un péndulo marca Tinius Olsen con capacidad de 0-30 Kpm utilizaron tamaño subsize de 55x 10x 7,5 mm y 55 x 10 x 5 mm de acuerdo a las especificaciones ASTM E-23. Las dimensiones de las probetas se muestran en la Fig. 2.

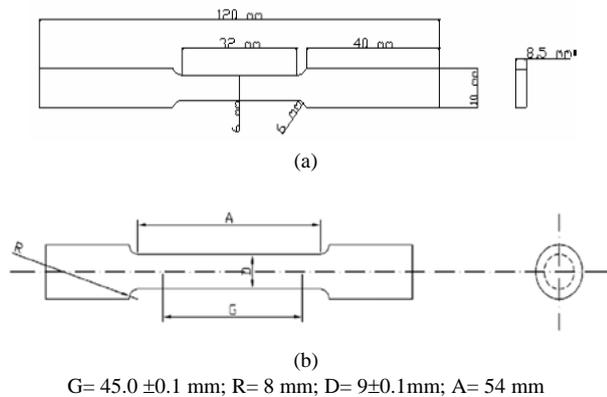


Fig. 1. Dimensiones de las probetas de tracción a) SAF 2205 [9] y b) SAF 2507, diámetro 20 mm [10].

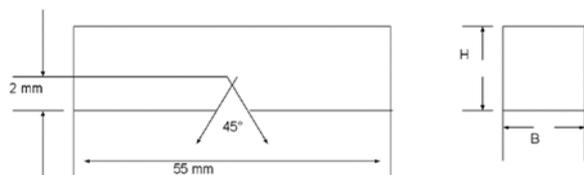


Fig. 2. Dimensiones de la probeta Charpy en V a) SAF 2205, H = 10 mm y B = 7,5 mm [9] y b) SAF 2507, H = 10 mm y B = 5 mm [10].

La microscopía electrónica de barrido MEB, se realiza en microscopio marca Jeol modelo JSM-5300.

### C. Tratamiento Térmico

El tratamiento térmico de normalizado se realizó en un horno de marca Thermolyne modelo 4800, las condiciones se especifican en la Tabla II [9 y 10].

TABLA II  
CONDICIONES DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE NORMALIZADO PARA CADA ACERO [9,10]

Acero	Condiciones de exposición
SAF 2205	Temperatura: 900, 950 y 1000°C Tiempo de normalizado: 7 minutos.
SAF 2507	Temperatura: 900, 950 y 1000°C Tiempo de normalizado: 15 minutos.

La tenacidad de impacto y fractura se determinaron para los dos aceros, el factor de intensidad de esfuerzo,  $K_{IC}$  se calculó a partir de la relación empírica de Barsom y Rolfe [12] (1). Para la determinación de la tenacidad de impacto del material se utilizó la relación empírica entre los valores de  $K_{IC}$  y CVN propuesta por Barsom, Rolfe y Novak [12] definida en (1).

$$\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_y}\right)^2 = \frac{5}{\sigma_y} \left(CVN - \frac{20}{\sigma_y}\right) \quad (1)$$

donde  $K_{IC}$  es el factor de intensidad de esfuerzo crítico bajo condiciones de estado plano de deformación,  $\sigma_y$  es el esfuerzo de fluencia y CVN es el valor de ensayo de impacto Charpy.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### D. Resistencia Mecánica

El acero dúplex 2507 [10] refleja que la resistencia mecánica del acero se va incrementando con respecto a la condición original, obteniéndose el mayor valor al realizar el tratamiento de normalizado a 900°C, pero al incrementar la temperatura del proceso a 1000°C se observó que la resistencia disminuye notablemente con respecto al rango anterior pero manteniéndose levemente por encima de la condición original, esto pudo haberse ocasionado debido a que el material entro en una fase de recuperación, lo que demuestra que el material se ablando casi hasta igualar los valores de elasticidad de la condición original. Por otra parte, el acero dúplex 2205 [9] tiene un comportamiento similar a [10], la resistencia mecánica aumento de manera considerable pudiéndose evidenciar que el rango más alto de valores se encuentra asignado a las temperaturas comprendidas entre 900°C a 950°C y, a partir de 1000°C se muestra un notable decrecimiento de los mismos aunque encontrándose también ligeramente por encima de la condición original. En la Tabla III y Fig. 3 se presentan los resultados de resistencia mecánica ( $\sigma_y$  y  $\sigma_{m\acute{a}x}$ ) y ductilidad (% e y % RA) para ambos aceros.

TABLA III  
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX SAF 2507 Y SAF 2205 [9,10]

Acero dúplex	Condición	Esfuerzo fluencia, $\sigma_y$ (MPa)	Esfuerzo máximo, $\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	Deformación Ingeniería, e %	Reducción de Área, RA %
SAF 2205	CO	616	844	53,87	76,87
	TTN 900 °C / 15 min	779	905	28,86	12,58
SAF 2507	TTN 950 °C / 15 min	656	903	36,58	29,36
	TTN 1000 °C / 15 min	621	847	52,91	76,22
SAF 2205	CO	580	752	50,94	64,98
	TTN 900 °C / 7 min	613	786	43,13	39,95
SAF 2507	TTN 950 °C / 7 min	621	783	43,70	40,35
	TTN 1000 °C / 7 min	589	768	50,00	61,54

\*TTN= tratamiento térmico de normalizado  
CO= condición original

En la Fig. 3 y la Tabla III se puede notar la indiscutible diferencia con respecto a los valores de esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo de los dos aceros inoxidable dúplex estudiados, En la Fig. 3 se observa el aumento de la resistencia mecánica conforme aumenta la temperatura hasta el valor de 900°C, y pasado este empieza a disminuir. Según Ghosh y Mondal [11] cuando los aceros dúplex son expuestos a temperaturas entre 700°C y 900°C, durante los

mismos períodos de tiempo, se ha observado que a medida que se incrementa la temperatura, experimentan un ligero aumento en su esfuerzo de fluencia, así como una pequeña pérdida de ductilidad. Esto es debido a la aparición de las fases secundarias:  $\sigma$ ,  $\gamma_2$  y  $\chi$ . Sin embargo el incremento del tiempo de exposición a temperaturas dentro del rango mencionando anteriormente, ocasiona aumentos significativos en la dureza del material, no así en su esfuerzo de fluencia y ductilidad que varían ligeramente, aumentando y disminuyendo respectivamente.

### E. Ductilidad

Con respecto a la ductilidad de los aceros evaluada a través del porcentaje de reducción de área (ver Fig. 4), en el caso del acero dúplex SAF 2205 se puede apreciar que luego de aplicar el normalizado a la máxima temperatura, el material recupera en un gran porcentaje su ductilidad. Para el acero 2507 se puede decir que el material después de haber sido sometido a un tratamiento térmico de normalizado de 1000°C recupera nuevamente su ductilidad, dicha recuperación entra en presencia cuando al material se le aplica el normalizado a 950°C.

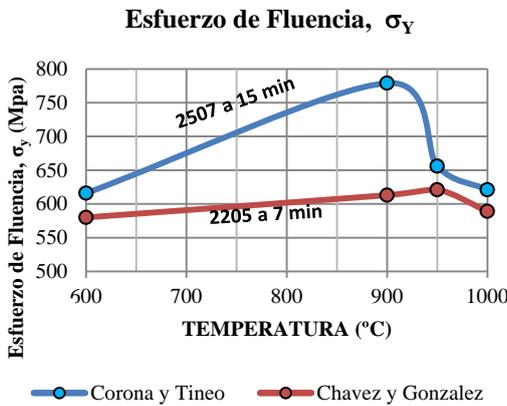


Fig. 3. Esfuerzo de fluencia  $\sigma_y$  en función de la temperatura y [9], [10].

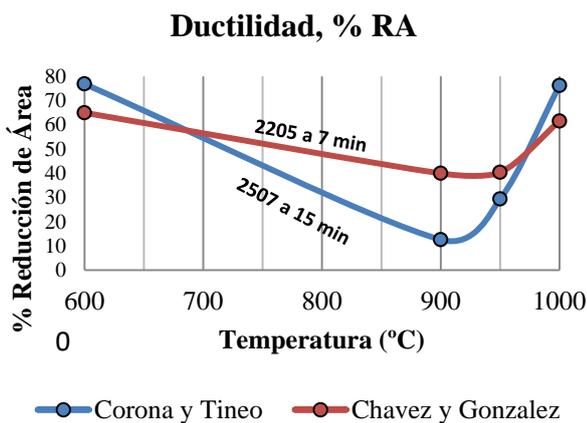


Fig. 4. Ductilidad medida como % reducción de área, %RA en función de la temperatura [9], [10].

### F. Tenacidad de Impacto y Fractura

Los resultados de energía absorbida por impacto CVN, determinados a través del ensayo de impacto Charpy en V se observan en la Fig. 5. Se puede observar como los valores de  $K_{IC}$  para las condiciones de normalizado de 900°C y 950°C, decaen fuertemente en ambos aceros con respecto a

la condición original, el material no es capaz de absorber altos niveles de energía antes de fracturarse. Sin embargo se refleja claramente que para la condición de normalizado a 1000°C el valor de la tenacidad de impacto se iguala o se acerca en estos aceros al valor de la condición original por lo que se puede concluir que para esa condición recupera en su totalidad esa propiedad, y para el rango de temperatura de 700°C a 900°C los valores de tenacidad sufren una drástica disminución, posiblemente causada por la aparición de fases intermetálicas.

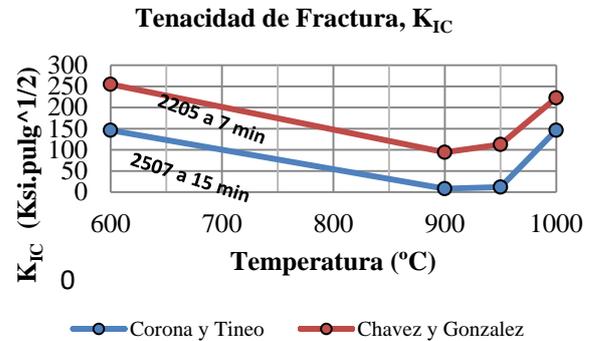


Fig. 5. Tenacidad de fractura,  $K_{IC}$  en función de la temperatura [9], [10].

### G. Microscopia Electronica de Barrido

En la Fig. 6 para el acero dúplex 2507 por MEB, se observa a 900 °C austenita, ferrita y fase sigma mientras que para 950°C se observa ferrita, austenita y la formación de fase sigma( $\sigma$ ) y austenita secundaria ( $\gamma_2$ ) en la interfase austenita-ferrita. La presencia de fase sigma en el acero dúplex génera el incremento de resistencia mecánica y dureza a 900 y 950°C, al mismo tiempo se redujo la tenacidad de impacto y tenacidad de fractura. A 1000 °C no hay fase sigma ni austenita secundaria, la microestructura generada por efecto del tratamiento térmico es muy similar a su condición original, con lo que se concluye que la temperatura y el tiempo son factores determinantes.

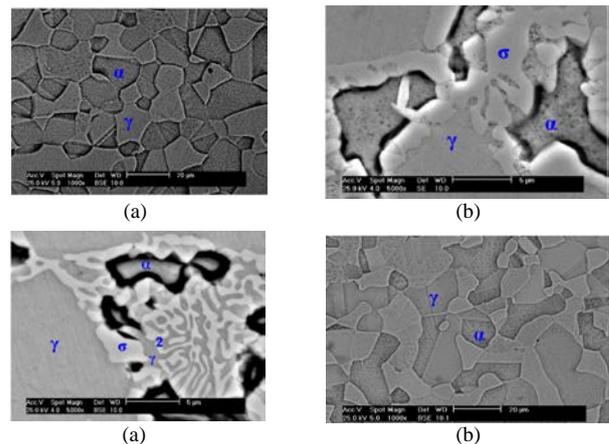


Fig. 6. Microestructura por MEB del acero dúplex 2507 (a) Condición original, normalizado a: (b) 900 °C, (c) 950°C y (d) 1000°C. Reactivo de ataque,  $Na_2S_2O_5$  [9,10].

El efecto de los cambios producidos microestructuralmente sobre la tenacidad de impacto del material, la presencia de la fase fragilizante (Sigma) promueve la aparición de grietas microscópicas, que junto con la notable disminución de la ductilidad promueven a el

material a un estado frágil, que lo hace propenso a la fractura por impacto en las condiciones de 900°C y 950°C. para los Normalizados realizados para las temperaturas de 900°C-950°C, los porcentajes de fase sigma son elevados con respecto al porcentaje de la fase ferrítica, provocando una fuerte disminución en la ductilidad, el tiempo de 15 minutos de permanencia en el horno es suficiente para promover la descomposición de la fase ferrítica en fase sigma y austenita secundaria para las temperaturas de 900°C y 950°C, del mismo modo que para la condición de 1000°C, el tiempo es suficiente para que esta fase desaparezca casi completamente.

#### IV. CONCLUSIONES

La microestructura luego de realizado el tratamiento térmico de normalizado, para el acero dúplex 2507, se observa a 900 °C austenita, ferrita y formación de fase sigma mientras que para 950°C se observa ferrita, austenita, la formación de fase sigma( $\sigma$ ) y austenita secundaria ( $\gamma_2$ ) en la interfase de la matriz bifásica (austenita – ferrita). Mientras para el acero dúplex 2205 al realizar el tratamiento térmico de normalizado a 1000°C solo se le observan segregaciones. La temperatura optima de normalizado es de aproximadamente 1000°C porque se produce un notable aumento en la ductilidad de los aceros inoxidable dúplex y se recupera la tenacidad de impacto perdida en las condiciones de 900°C y 950 °C.

#### REFERENCIAS

- [1] Asociación Internacional de Molibdeno, Londres Reino Unido. "Directrices prácticas para la fabricación de los aceros inoxidables dúplex". 2012.
- [2] Charles J. "Super Duplex Stainless Steels: Structure and Properties", *Dúplex Stainless Steel '91 Conference Proceedings*, Beaune, Francia, Volumen 1, Página 3. 1991.
- [3] Karlsson, L. "Intermetallic phase precipitation in duplex stainless steels and Weld metals: Metallurgy, influence on properties, welding and testing aspects". WRC bulletin. Vol. 438,
- [4] Olsson, J. Snis, M. Duplex—A new generation of stainless steels for desalination plants. *Desalination* 2007, 205, 104–113. [CrossRef]
- [5] Dabalá, M. Calliari, I. Variola, A. Corrosion behavior of a superduplex stainless steel in chloride aqueous solution. *J. Mater. Eng. Perform.* 2004, 13, 237–240. [CrossRef]
- [6] Machuca, L.L. Bailey, S.I. Gubner, R. Watkin, E.L.J. Ginige, M.P. Kaksonen, A.H. "Crevice corrosion of duplex stainless steels in the presence of natural marine biofilms," *NACE Int. Corros. Conf. Ser.* 2012, 5, 3924–3936.
- [7] Veljkovic, M.; Gozzi, J. "Use of duplex stainless steel in economic design of a pressure vessel," *J. Press. Vessel Technol.* 2007, 129, 155–161. [CrossRef] pp 1-20. 1999.
- [8] Apraiz Barreiro Jose. 2000. "Tratamientos Térmicos de los aceros S.L.," *CIE inversiones editoriales Dossat*. 10ma edición
- [9] Chávez J. y González R. "Evaluación de la tenacidad de impacto de un acero inoxidable dúplex SAF 2205 al someterlo a un tratamiento térmico de normalizado," Trabajo especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2006.
- [10] Corona A. y Tineo Z. "Evaluación de la tenacidad de impacto de un acero inoxidable dúplex SAF 2507 sometido a un tratamiento térmico de normalizado," Trabajo especial de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2007.
- [11] Ghosh S. y Mondal S. "High Temperature ageing behavior of a duplex stainless steel," *Materials Characterization*. Vol. 59, N°. 12, p. 1776-1783. 2008.
- [12] Rolfe, S. y Barson J. "Fracture and fatigue control in structure," Prentice Hall inc. Englewood Cliffs, N.J. 1977.

# Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa (*Ochroma Pyramidale*) Ecuatoriana

Germán Moncayo, Christian Narváez-Muñoz, Nathaly Villacís, Jorge Melo  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
gamoncayo@espe.edu.ec, cpnarvaez1@espe.edu.ec, cnvillacis@espe.edu.ec

**Resumen**—La madera de balsa ecuatoriana tiene una alta importancia a nivel comercial debido a su peso ligero y sus propiedades mecánicas únicas. En el presente trabajo se realizó un estudio experimental con el fin de determinar las propiedades mecánicas de dicho material de acuerdo a la norma ASTM D143 por lo que se llevaron a cabo ensayos que evalúan las propiedades tales como: módulo de elasticidad longitudinal (MOE), módulo de ruptura (MOR), resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra, y resistencia a la cizalla paralela a la fibra, sobre muestras secas con un contenido de humedad aproximado de 12%, las muestras utilizadas fueron clasificadas en las tres clases de densidad internacional ( $80 \leq 120$ ,  $120 \leq 180$  y  $180 \leq 220$  kg/m<sup>3</sup>). Además de determinar valores promedio para cada propiedad según la clase a la que pertenece, se describen modelos que relacionan las propiedades mecánicas con la densidad. Así se tiene que el MOE, MOR, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra son proporcionales con la densidad de manera lineal, mientras que la resistencia a la cizalla paralela a la fibra se comporta de manera no lineal.

**Palabras Claves**— *Ochroma pyramidale*, madera de balsa, densidad, propiedades mecánicas

**Abstract**—Ecuadorian balsa wood has great commercial relevance due to its low weight and unique mechanical properties. In this work, an experimental study was performed with the main goal of determining the mechanical properties of balsa wood according to ASTM D143. Several tests were conducted under dry samples with an approximate moisture content of 12% to evaluate properties such as modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), compressive strength parallel and perpendicular to the fibers, and shear strength parallel to the fibers. The analyzed samples were classified under the three types of international densities ( $80 \leq 120$ ,  $120 \leq 180$  y  $180 \leq 220$  kg/m<sup>3</sup>). Apart from finding mean values for each property according to its class, models that relate such properties with density are described. In this way, MOE, MOR, and compressive strength parallel and perpendicular to the fibers are directly proportional to the density in a linear way, and shear strength behaves in a non-linear way.

**Keywords**— *Ochroma pyramidale*, balsa Wood, density, mechanical properties.

## I. INTRODUCCIÓN

La balsa (*Ochroma pyramidale*) es una de las maderas más ligeras del mundo. Su densidad varía dentro del rango de 40 – 380 kg/m<sup>3</sup> dependiendo de la edad y hábitat del árbol[1]. La microestructura celular de la madera de balsa incluye un volumen muy importante de espacio vacío, lo que hace que tenga una rigidez y resistencia axial específica superior en relación a otros materiales; exhibe además, destacadas características de absorción de energía que se derivan de su relativamente baja densidad. De hecho, puede

ser el único material con absorción de energía específica similar a la de los panales metálicos hexagonales de la misma densidad [1]. En lo que a materiales compuestos se refiere, estas propiedades hacen que la madera de balsa sea uno de los materiales más atractivos para el uso como núcleos en estructuras tipo sándwich (estructuras formadas por la adhesión de dos caras o revestimientos relativamente delgados a un núcleo central espeso y de baja densidad), particularmente para aplicaciones marinas. Además tiene aplicaciones en otras industrias comerciales tales como: aeronáutica, transporte, energía eólica [2].

Ecuador es uno de los principales productores y exportadores de balsa; sin embargo existen muy pocas referencias en nuestro país sobre la caracterización de las propiedades mecánicas de esta madera. Se podría utilizar los trabajos de Da Silva & Kyriakides[1], que determinaron de manera experimental las propiedades mecánicas (elásticas e inelásticas) en las direcciones axial, radial y tangencial en función de la densidad de la madera bajo cargas a compresión, o Kotlarewski et. al [3], que determinó las propiedades mecánicas de la madera de balsa proveniente de Papúa Nueva Guinea, de acuerdo a la norma ASTM D143-09 para aplicarlos en la caracterización de la balsa ecuatoriana.

Es por eso que se llevó a cabo el presente proyecto de investigación, con el objetivo de realizar la caracterización de las propiedades mecánicas de la madera de balsa ecuatoriana, por medio de la realización de ensayos mecánicos (según lo que indica la norma ASTM D143) que permitan determinar las propiedades mecánicas de MOE, MOR, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra, y resistencia a la cizalla paralela a la fibra, de madera de balsa procedente de provincia de Los Ríos, ya que esta área productora abarca el 36% de la producción de balsa de todo el país, siendo así el principal foco de producción[4].

## II. MÉTODO

### A. Materiales

Se tomó como referencia la norma ASTM D143 para escoger el número de árboles representativos y la Norma Técnica Colombiana NTC 301 para obtener el número de probetas a ensayar. Se seleccionaron cinco árboles de cuatro años de edad de manera aleatoria procedentes de la provincia de Los Ríos, cantón Valencia, parroquia El Vergel. Los árboles fueron seleccionados y marcados de acuerdo a su buen estado fitosanitario (ausencia de fitóftora o “pata roja” en la base y corazón de agua en el xilema),

buena rectitud del fuste y escasa presencia de nudos.

### B. Preparación de las muestras

Una vez apeado y troceado el árbol se aplicó emulsión de parafina en los extremos expuestos al aire. El secado de la madera cosechada tomó dos semanas por cada árbol cosechado. En la primera semana de dicho proceso fue secada al aire y los siete días restantes secada al horno, al final del proceso de secado el contenido humedad fue de aproximadamente 12%. Todos los ensayos mecánicos fueron llevados a cabo en probetas pequeñas libres de defectos. Las muestras fueron secadas hasta que se obtuvo un peso seco al aire constante antes de la prueba. Se midió y pesó todas las muestras inmediatamente antes de la prueba para determinar el volumen de cada muestra, su peso seco al aire, y su densidad. Las pruebas se efectuaron de tal manera que no se produjeron grandes cambios en el contenido de humedad, manteniendo una temperatura entre 20 y 23 °C, como recomienda ASTM D143. Después de cada ensayo, las muestras se colocaron en un horno a  $103 \pm 2$  °C durante 24 horas para obtener el peso seco al horno.

### C. Ensayos realizados en las probetas

Se llevaron a cabo ensayos de flexión estática, compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra y cizalla paralela a la fibra.

#### 1) Ensayo de flexión estática

Se prepararon especímenes de  $25 \times 25$  mm<sup>2</sup> de sección transversal y longitud de 410 mm. Los ensayos se ejecutaron en una máquina de ensayos universales MTS TK/T5002 con celda de carga tipo S Quantrol A  $\pm$  1N. Se aplicó una carga continua a lo largo de toda la prueba a una velocidad de 1,3 mm/min hasta que ocurra la falla.

Con los datos del ensayo de flexión estática se obtuvo el *MOE* de cada probeta, mediante (1).

$$MOE = \frac{PL^3}{48 \cdot \delta_{max} \cdot I} \quad (1)$$

Donde *P* es el valor de carga en la zona elástica, *L* es la longitud entre apoyos,  $\delta_{max}$  es la deflexión en el centro de la viga e *I* es la inercia de la sección transversal.

También se obtuvo el *MOR* de cada probeta (2):

$$MOR = \frac{My}{I} \quad (2)$$

Donde *M* es el momento flector máximo y *y* es la distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

#### 2) Ensayo de compresión paralela a la fibra

Se realizó en especímenes de  $50 \times 50$  mm<sup>2</sup> de sección transversal y longitud de 200 mm, utilizando una máquina de ensayos universales AMSLER con carga continua a una velocidad de 0.6 mm/min hasta que la probeta llegue a la rotura.

Se calculó la resistencia a la compresión paralela a la fibra con (3).

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A_t} \quad (3)$$

donde  $P_{max}$  es la carga máxima y  $A_t$  es el área de la sección transversal.

#### 3) Ensayo de compresión perpendicular a la fibra

Los ensayos de compresión perpendicular a la fibra se realizaron en muestras de  $50 \times 50$  mm<sup>2</sup> de sección transversal y longitud de 150 mm, utilizando una placa metálica cuadrada de 50 mm de lado, ubicada a distancias iguales en cada extremo de la probeta, para aplicar la carga. Se utilizó el equipamiento detallado en el ensayo de flexión estática.

Se obtuvo la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra mediante (4).

$$\sigma = \frac{P}{A_c} \quad (4)$$

donde *P* es la carga en el límite proporcional y  $A_c$  el área de contacto entre las superficies de madera y acero.

#### 4) Ensayo de cizalla paralela a la fibra

Los ensayos de cizalla paralela a la fibra se realizaron en especímenes de  $50 \times 50 \times 63$  mm con una muesca de 20 mm en la cara de  $63 \times 50$  mm para provocar una falla de corte en una superficie de  $50 \times 50$  mm. Se utilizó el equipamiento detallado en el ensayo de compresión paralela a la fibra.

La resistencia a la cizalla se calculó mediante (5).

$$\tau = \frac{V_{max}}{A_{corte}} \quad (5)$$

donde  $V_{max}$  es la carga cortante máxima y  $A_{corte}$  es el área de corte.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### D. Resumen de resultados

Los valores mostrados en la Tabla I muestran los valores promedio obtenidos en este estudio, la desviación estándar entre paréntesis y el número de especímenes ensayados entre corchetes.

### E. Ensayo de flexión estática

En las Fig. 1 y Fig. 2 se denota que el *MOE* y el *MOR* se relacionan de manera lineal y directamente proporcional a la densidad. En la Fig.3, se observa que muestras con un alto *MOE* generan un alto valor de *MOR*, lo cual también fue reportado previamente por otros autores[3].

TABLA I  
RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS PARA LOS ENSAYOS DEL PRESENTE ESTUDIO

Clase de densidad	Baja	Media	Alta
<b>MOE [MPa]</b>	1154.2 (180.64) [20]	1929.89 (280.68) [23]	2507.25 (286.69) [7]
<b>MOR [MPa]</b>	8.33 (1.12) [20]	15.09 (3.07) [23]	21.63 (2.87) [7]
<b>Comp. Paralela a la fibra [MPa]</b>	6.92 (1.41) [21]	9.88 (1.08) [21]	15.52 (2.94) [8]
<b>Comp. Perpend. a la fibra [MPa]</b>	0.36 (0.11) [21]	0.61 (0.13) [16]	0.77 (0.09) [13]
<b>Corte [MPa]</b>	0.72 (0.14) [17]	1 (0.28) [25]	1.72 (0.31) [8]

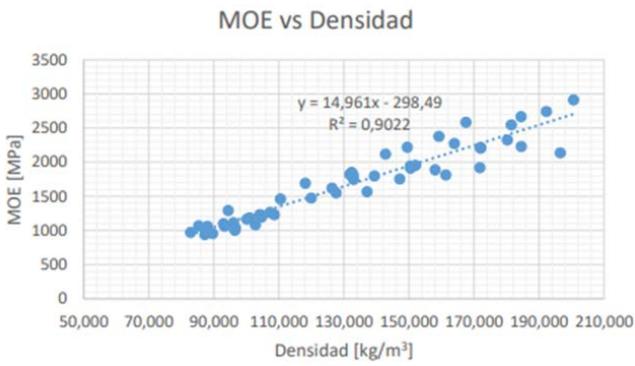


Fig. 1. MOE vs Densidad.

Los valores promedio de MOE y MOR que se presentan en este estudio en la clase baja son similares a los valores mínimos reportados por Wiselius [5] quien utilizó madera procedente de Papúa Nueva Guinea. Los valores máximos obtenidos por el autor antes mencionado son ligeramente inferiores a los registrados en este estudio en la clase media. Por otra parte Kotlarewski et al. [3] evidencia valores similares a los registrados en este trabajo. Los valores de Wiselius y Kotlarewski et al. para MOE fueron de 1155-1645 MPa y 1222-2037 MPa respectivamente; mientras que para MOR fueron de 8.5-12.5 MPa y 9.83-16.63 MPa. Almeida y Martínez[6], quienes utilizaron madera procedente de Guayas reportan valores para MOE que son mayores a los de este trabajo en 40 y 57% en las clases media y alta respectivamente.

*F. Ensayo de compresión paralela a la fibra*

En la Figura 4 se observa que la resistencia a la compresión paralela a la fibra se relaciona con la densidad a través de una tendencia lineal directamente proporcional.

El valor registrado por Eddowes, mostrado en [3] quien utilizó madera procedente de Islas Salomón se encuentra en el centro del rango de los valores encontrados en este estudio entre la clase baja y alta. Mientras que Kotlarewski et al. [3] presenta valores similares a los de este estudio en las clases media y alta.

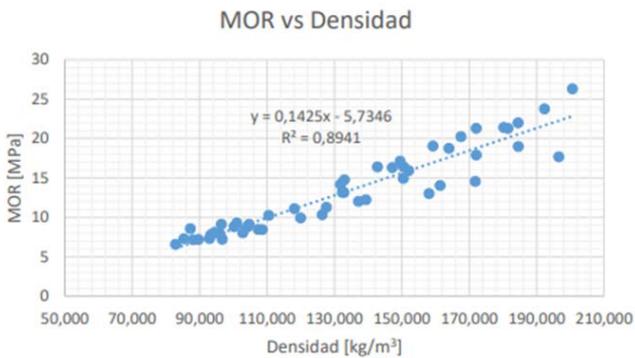


Fig. 2. MOR vs Densidad.

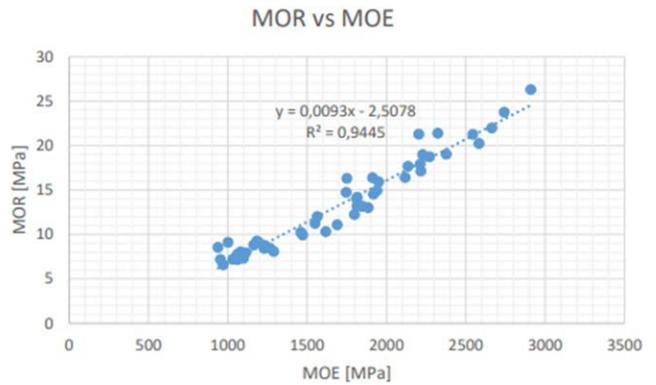


Fig. 3. MOR vs MOE.

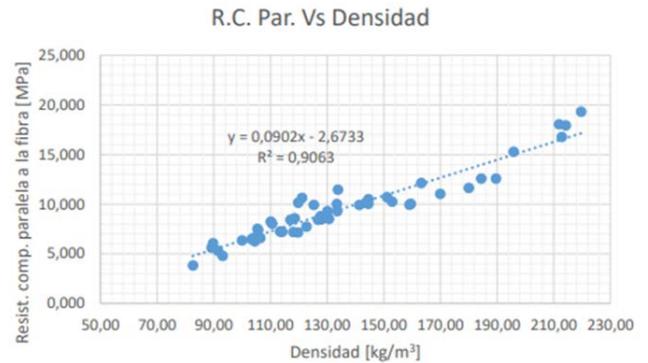


Fig. 4. Resistencia a la compresión paralela a la fibra vs Densidad.

*G. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra*

Para este ensayo, con fines comparativos al estudio de Kotlarewski et al. [3] se calculó la resistencia a la compresión perpendicular a la fibra a 2.5 mm de compresión, que para la clase de densidad baja fue de 0.52 MPa, en la clase media fue 0.89 MPa, mientras que en la clase de densidad alta fue 1.13 MPa. Kotlarewski et. al[3] presenta valores ligeramente superiores a los de este estudio en 23 y 28% en las clase baja y media respectivamente.

En la Fig. 5 se observa que la relación resistencia a la compresión perpendicular a la fibra vs densidad tiene una tendencia lineal directamente proporcional.

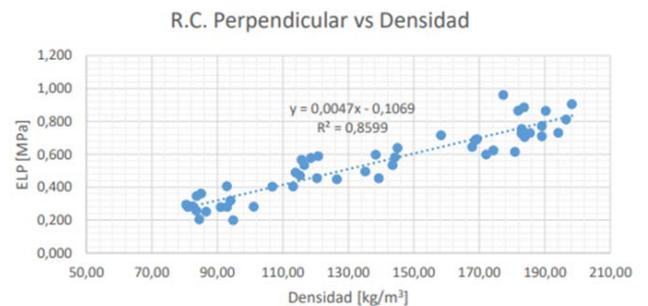


Fig. 5. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra vs Densidad.

*H. Ensayo de cizalla paralela a la fibra*

En la Fig. 6 se observa que la relación resistencia a la compresión perpendicular a la fibra vs densidad tiene una tendencia no lineal directamente proporcional.

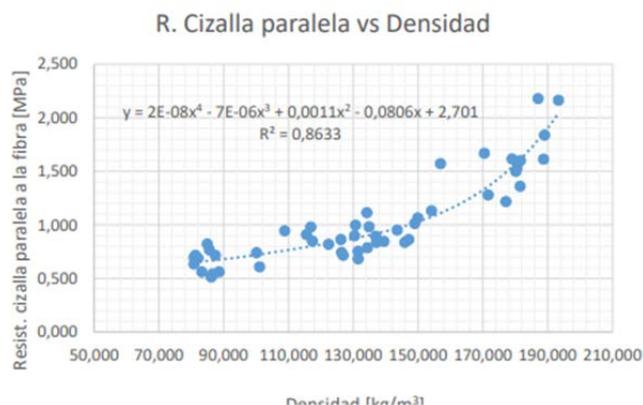


Fig. 6. Resistencia a la cizalla paralela a la fibra vs Densidad.

Los valores promedio de resistencia a la cizalla paralela a la fibra que se presentan en este estudio en la clase media y alta son mayores a los valores registrados por Tsoumis [7]; mientras que Kotlarewski et. al[3] presenta valores superiores a los de este estudio en 116 y 90% en las clases baja y media respectivamente.

#### IV. CONCLUSIONES

Para madera de balsa cuya densidad varía en el rango de 80 a 220 kg/m<sup>3</sup>, se determinó que los valores promedio para cada propiedad en las clases de densidad baja, media y alta respectivamente fueron: MOE 1154.2, 1929.9 y 2507.3 MPa, MOR 8.3, 15.1 y 21.6 MPa, resistencia a la compresión paralela a la fibra 6.9, 9.9 y 15.5 MPa, resistencia a la compresión perpendicular a la fibra 0.36, 0.61 y 0.77 MPa, y resistencia a la cizalla paralela a la fibra 0.7, 1.0 y 1.7 MPa. Al hacer un análisis comparativo entre cada una de las clases de densidad y las propiedades mecánicas se determinó que el MOE, el MOR y la resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra varían de manera lineal proporcional con respecto a la densidad de la madera de balsa, en tanto que la resistencia a la cizalla tiene un patrón similar excepto porque tiene un comportamiento no lineal. El valor del MOE puede ser útil para predecir el valor de MOR en caso de que no se lleve la probeta hasta la rotura o se utilice algún método de medición alternativo, ya que tienen una relación lineal directamente proporcional. Existe variabilidad entre los resultados conseguidos en este trabajo en comparación a los trabajos de Kotlarewski [3], Almeida y Martínez [6] y ello se debe a las condiciones climáticas (lluvia, viento, entre otras), topografía y suelo del lugar de procedencia de la madera, ya que ello influye en el desarrollo del árbol y por ende sus características físicas y mecánicas.

#### AGRADECIMIENTOS

El trabajo no podría haber sido desarrollado sin la colaboración del Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos y el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### REFERENCIAS

- [1] A. Da Silva, S. K.-I. J. of S. and Structures, and undefined 2007, "Compressive response and failure of balsa wood," *Elsevier*.
- [2] M. Borrega, L. G.-M. of Materials, and undefined 2015, "Mechanics of balsa (Ochroma pyramidale) wood," *Elsevier*.

- [3] N. J. Kotlarewski, B. Belleville, B. K. Gusamo, and B. Ozarska, "Mechanical properties of Papua New Guinea balsa wood," *Eur. J. Wood Wood Prod.*, vol. 74, no. 1, pp. 83–89, Jan. 2016.
- [4] W. Tene, E. Arias, M. Robles, D. Velasteguí, and S. Cevallos, "Aprovechamiento de Recursos Forestales en el Ecuador," 2011.
- [5] S. Wiselius, "Plant Resources of South-East Asia: timber trees; lesser-known timbers." Backhuys Publishers, 1998.
- [6] F. Almeida and M. Martínez, "Caracterización dinámica de la madera de balsa de Ecuador," 2017.
- [7] G. Tsoumis, *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. 1991.

# Effect of organic solvents in morphology and mechanical properties of electrospun polyvinylpyrrolidone fibers

Diego Narváez<sup>a</sup>, Christian Narváez-Muñoz<sup>a</sup>, Nathaly Villacís<sup>a</sup>, Karla Vizúete<sup>b</sup>, Carlos Arroyo<sup>b, c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

<sup>b</sup> Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

<sup>c</sup> Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

danarvaez@espe.edu.ec, cpnarvaez1@espe.edu.ec, cnvillacis@espe.edu.ec, ksvizúete@espe.edu.ec, ccarroyo@espe.edu.ec

**Resumen**— En el presente trabajo, se utilizó la técnica de electrospinning para obtener fibras para caracterización mecánica. El polímero polivinilpirrolidona (PVP) fue combinado con solventes orgánicos (etanol y dimetilformamida (DMF)) para generar soluciones y determinar los parámetros apropiados para obtener fibras con la mejor morfología y mejores propiedades mecánicas. La formulación de soluciones se basó en investigaciones previas, para encontrar el porcentaje adecuado de solvente y PVP. Se elaboraron varias soluciones, variando los diferentes parámetros, como voltaje, flujo, distancia aguja-colector. Para determinar si las muestras eran aceptables, se midió el diámetro en un microscopio electrónico de barrido (SEM por sus siglas en inglés). Se midió el módulo elástico para las fibras con mejor aspecto. Las propiedades mecánicas fueron medidas en un microscopio de fuerza atómica (AFM por sus siglas en inglés) con el método de contacto de Hertz, y los datos fueron aproximados a su modelo matemático. Las soluciones que tuvieron las mejores propiedades mecánicas fueron: etanol – 8% PVP, DMF – 14% PVP, 70% etanol – 30% DMF – 8% PVP, con diámetros en el rango de los micrómetros de 1.6, 1.22 y 1.35  $\mu\text{m}$ , y un módulo elástico de 40.08 MPa, 8.8 MPa y 32.78 MPa, respectivamente. Se llevó a cabo un análisis de todos los parámetros que afectan el proceso y la influencia de los solventes basados en los datos de módulo elástico.

**Palabras Claves**— electrospinning, electrospun, PVP, módulo elástico, módulo de Young

**Abstract**—In this work, the electrospinning technique was used to obtain fibers for mechanical characterization. polyvinylpyrrolidone (PVP) was combined with organic solvents (ethanol and dimethylformamide (DMF)) to generate solutions, looking for the appropriate parameters to obtain fibers with the best morphology and the best mechanical properties. Starting from previous investigations to find the adequate percentages of solvent and PVP, several solutions were made, varying the different parameters like voltage, flow, tip collector distance. Seeking to obtain acceptable samples, the diameter was measured in a scanning electron microscope (SEM). The elastic modulus was measured for the fibers with the best aspect. Mechanical properties were measured in an atomic force microscope (AFM) with the Hertz contact method and the data were approximated to its mathematical model. The solutions that resulted in the best morphological properties were: ethanol - 8% PVP, DMF - 14% PVP, 70% ethanol - 30% DMF - 8% PVP, with diameters in the micrometer range of 1.6, 1.22 and 1.35 respectively, and elastic modulus of 40.08 MPa, 8.8 MPa and 32.78 MPa correspondingly. An analysis of all the parameters influencing the process was performed and an analysis of the influence of the solvents, based on the data of the elastic moduli was carried out.

**Keywords**—electrospinning, electrospun, PVP, elastic modulus, Young's modulus.

## I. INTRODUCTION

The electrospinning technique, in which an electric field is applied between a needle and a collector to obtain fibers, has been extensively applied in medicine and engineering to produce fibers with a variety of shapes and sizes from different polymeric solutions and replicate natural structures, such as spider nets [1,2]. In this process, a conductive polymeric solution is pumped at very low rates through the needle, and when repulsive electrostatic forces have overcome surface tension, a jet is created [2]. As the stream travels to the collector through the air, the solvent evaporates, leaving a path of charged fibers, which can be gathered in the collector [3]. Generally, electrospinning fibers are characterized by their shape and size; they have to be uniform, without beads and maintain a constant diameter along the path they follow for the process to be considered successful [2]. The majority of studies regarding electrospinning fibers have analyzed how the parameters of the machine, like feed rate, voltage, and distance to the collector, affect the morphology of the fibers, while leaving aside the solvent used in the polymeric solution, which could also influence fibers' configuration.

From the studies that do have analyzed the effect of solvents, they focus on the fibers' structure and morphology. Megelski, S. et al. [4] studied how the surface morphology of fibers of polycarbonate (PC), polyethylene oxide (PEO), and polymethyl methacrylate (PMMA) changes when using different solvents, being carbon disulfide (CS<sub>2</sub>), toluene, and tetrahydrofuran / dimethylformamide (THF/DMF). Son, W. K. et al. [5] carried out an analysis with PEO and different solvents, being chloroform, ethanol, DMF, and water. They found out that for higher values of the dielectric constant of the solvent, thinner fibers were obtained. Wannatong, L., Sirivat, A., & Supaphol, P. [6] used acetic acid, acetonitrile, m-cresol, toluene, THF, and DMF in combination with PS to produce electrospun fibers. They concluded that higher density and boiling point of the solvent resulted in greater diameters, and that DMF gave the highest productivity and optimal morphological characteristics. Similarly, in the work of Jarusuwannapoom, T. et al. [7], eighteen solvents were tested with PS to produce electrospinning fibers. They arrived to the conclusion that dipole moment of the solvent and conductivity of both the solvent and the resulting solution must be high enough to achieve electrospinnable solutions.

Wu, X. et al. [8] tested ethyl cellulose (EC) with different concentrations of THF and dimethylacetamide (DMAc) and concluded that the composition of the solvent affects the diameter and distribution of fibers; particularly, adding DMAc decreases the diameter, and the morphology changes for different compositions. In the study conducted by Choktaweasap, N. et al. [9], fibers of gelatin with different solvents were fabricated. They observed that dimethyl sulfoxide (DMSO) and ethylene glycol (EG) gave reduced diameters in comparison to glacial acetic acid (AA). Casasola, R. et al. [10] showed that poly lactic acid (PLA), with a proportion 60/40 v/v of acetone (AC)/DMF produced thinner nanofibres than other configurations; also, they found that by increasing the amount of acetone, the diameter of nanofibers decreased.

None of the studies mentioned have investigated how the mechanical properties of the fibers are modified when the solvent changes. Iwamoto, S. et al. [11] used an atomic force microscope (AFM) to determine the elastic modulus of cellulose fibers, but a relation to the solvent was not established. Only Veleirinho, B. et al. [12], in their work with solutions with polyethylene terephthalate (PET) and trifluoroacetic acid (TFA)/dichloromethane (DCM) state that the characteristics of the solvent influence mechanical properties of the nanofibrous mats. The elastic modulus, tensile strength, and elongation of the bulk material were measured for different configurations of TFA/DCM tested, concluding that the fibers with the largest modulus were the ones that used 70% TFA, while the ones with 40-50% TFA were the smallest. They also showed that for a higher amount of DCM, the mechanical performance decreases.

Determining the best solvent for fibers becomes of crucial importance, as well as establishing a connection between mechanical properties and solvent in electrospinning fibers, which is the aim of this work.

## II. METHODOLOGY

### A. Materials

All the materials used for this research were of analytical grade. Polyvinylpyrrolidone, PVP K90, was purchased from XI'AN LUKEE BIO-TECH CO. LTD, a Chinese company. Ethanol and Dimethylformamide were bought in "La Casa del Químico", in Quito, Ecuador.

### B. Electrospinning setup

The electrospinning machine was assembled at the laboratory and has the following parts: a Genvolt voltage supply, model 73030, which can reach up to 30 kV, a Just Infusion syringe pump, model NE-300, an aluminum collector, a CCD camera, and a lamp. A NIPRO plastic syringe of 10 ml was used to store the PVP solution, and a 0.4 mm diameter needle was used as the charged capillary. The general setup to obtain electrospay particles was taken from [13]. All electrospinning processes were carried out under laboratory conditions (room temperature and humidity). Different weight percentages were tested for the solutions in the electrospinning process. Using ethanol as the solvent, the weight percent of PVP was varied from 4% to 10%. For DMF, PVP was varied from 8% to 14%. A combination of both of the solvents was also used, with a ratio of 70/30 in weight for ethanol/DMF, and 8% of PVP.

The feed rate, distance from needle's tip to collector, and voltage were modified for every solution tested until achieving a stable jet.

### C. Morphology of fibers

Morphology and size of electrospinning fibers were measured in a Mira Tescan 3XM field-emission gun scanning electron microscope (FEG-SEM). All samples taken to the FEG-SEM were covered with a conductive layer of gold, using a Quorum Q150 ES sputtering evaporator. Low ( $\times 1000$ ), medium ( $\times 5000$ ) and high ( $\times 10000$ ) micrographs were taken to observe distribution, uniformity, and diameter of the fibers.

### D. Elastic modulus

The mechanical properties of the fibers were measured in a MFP-3D Infinity Asylum Research atomic force microscope (AFM) with a 20 nm silicon tip coated with Ti/Ir. The Sader method was used to determine the spring constant and the tip sensitivity, and calibrate the machine. The Hertz contact model was used to obtain the force plots, with a scanning area of  $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ , and a resolution of  $8 \times 8$  pixels. The AFM has its own software, AR 15.06.109, which analyzes the data gathered and gives an approximate value of the Young's modulus.

## III. ANALYSIS OF RESULTS

### E. Morphological analysis

Tables I-III show the parameters employed, mean diameter, and uniformity of fibers, obtained for the solutions of ethanol, DMF, and a combination of the two, respectively. The following nomenclature was used: Q = feed rate [ml/h], D = distance to collector [cm], V = voltage [V], d = mean diameter [ $\mu\text{m}$ ], B = defect for beads, Bif = defect for bifurcated fibers, DD = defect for different diameters, C = defect for low concentration of fibers. In these tables, for each solvent (or combination of solvents) used, there is one configuration in weight percent in which fibers have the best properties. In these cases, not only the weight percent was adequate, but also the machine parameters used, like feed rate, distance to collector and voltage. As far as the defects is concerned, when the feed rate is too high, beads can appear, as is the case of the first sample, shown in Fig. 1, which corresponds to ethanol with 4% wt PVP. If the weight percent of the solution is too low, bifurcated fibers can show up, as in the case of the fourth sample, with ethanol and 6% PVP, shown in Fig. 2. When the distance from needle's tip to collector is too large, the number of fibers deposited in the collector decreases, as seen in the tenth sample, in Fig. 3, for DMF and 12% PVP. What is also noticeable from Tables I-III is that as the weight percent increases, so does the diameter. For all the successful fibers, the Young's modulus was measured. In the case of the fibers without defects, their micrographs are shown in Fig. 4-6.

### F. Mechanical Analysis

Samples 5, 11, and 14, with ethanol and 8% wt PVP, DMF and 14% wt PVP, and ethanol with DMF in 70/30 ratio and 8% wt PVP, respectively, were analyzed to find the elastic modulus of the fibers.

TABLE I  
PARAMETERS AND RESULTS FOR THE ETHANOL SOLUTIONS

No.	PVP w/wt	Q	D	V	d	Defects
1	4	5	12	5	0.84	B, Bif, C
2	4	5	20	5.5	1.16	B, Bif, C
3	6	5	15	5	1.1	B, Bif
4	6	5	20	5.5	1.48	Bif
5	8	4	15	6	1.6	---
6	10	5	17	6	3.62	C

TABLE II  
PARAMETERS AND RESULTS FOR THE DMF SOLUTIONS

No.	PVP w/wt	Q	D	V	d	Defects
7	8	6	10	5.7	0.22	B, Bif
8	10	0.5	15	5.5	0.57	B
9	12	0.5	15	5.6	0.66	DD, C
10	12	0.5	20	5.4	1	C
11	14	0.5	16	5.2	1.22	---
12	14	0.5	20	6	0.6	DD

TABLE III  
PARAMETERS AND RESULTS FOR THE ETHANOL WITH DMF SOLUTIONS

No.	PVP w/wt	Q	D	V	d	Defects
13	8	5	20	6	0.73	B
14	8	5	17	6	1.35	---

For sample No. 5, a mean of 40.08 MPa for the Young's modulus was obtained, with a standard deviation of 7.4 MPa. Sample No. 11 had a mean of 8.8 MPa for the Young's modulus, with a standard deviation of 2.1 MPa. With sample No. 14, a mean Young's modulus of 32.78 MPa was measured, with a standard deviation of 20.7 MPa. Fig. 7, 9, and 11 show all the measured values for the elastic modulus with their corresponding mean, for samples 5, 11, and 14, correspondingly, while Fig. 8, Fig. 10, and Fig. 12 present the histogram of frequencies for their respective sample.

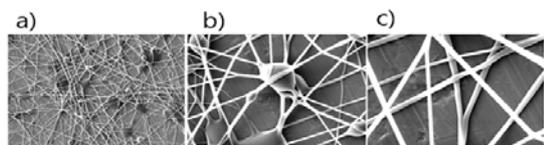


Fig. 1. Micrographs of sample No. 1, ethanol and 4% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. Beads and bifurcated fibers are observed, as well as a low concentration of fibers.

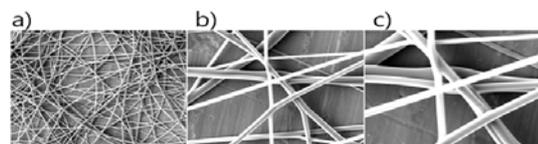


Fig. 2. Micrographs of sample No. 4, ethanol and 6% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. Bifurcated non-acceptable fibers are observed.

Making a comparison among the three solutions analyzed, the one that had the greater Young's modulus was sample No. 5, which used ethanol and 8% wt PVP. The one with the lowest standard deviation is sample No. 11, made of DMF and 14% wt PVP. The solution which used a combination of the two solvents still had a greater mean Young's modulus than the one that used only DMF.

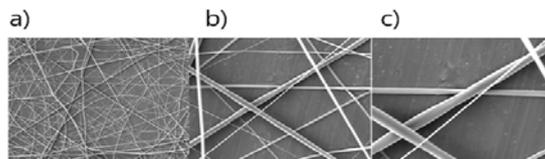


Fig. 3. Micrographs of sample No. 10, DMF and 12% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. There is a low concentration of fibers.

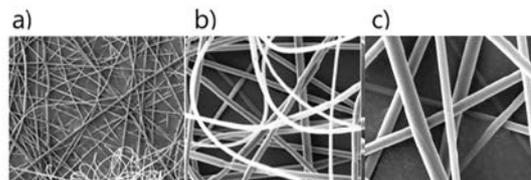


Fig. 4. Micrographs of sample No. 5, ethanol and 8% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. Fibers are homogeneous, uniform, without beads or bifurcations, and the concentration is adequate.

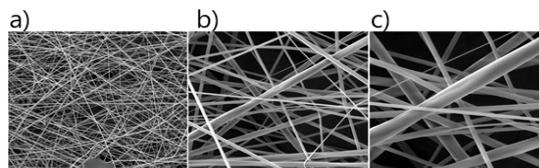


Fig. 5. Micrographs of sample No. 11, DMF and 14% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. Fibers are uniform, without beads or bifurcations, the diameters are similar, and the concentration is adequate.

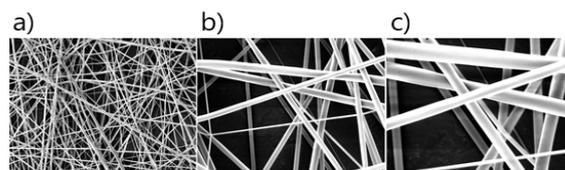


Fig. 6. Micrographs of sample No. 14, ethanol with DMF and 8% wt PVP. a) 1000x, b) 5000x, c) 10000x. Fibers are uniform, without beads or bifurcations, the diameters are similar, and the concentration is adequate.

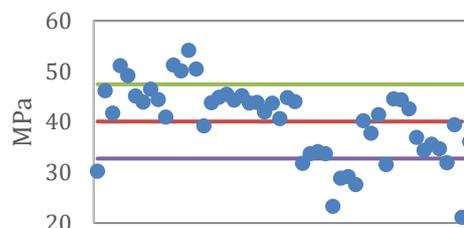


Fig. 7. Young's modulus mean value and standard deviation, corresponding to a solution of ethanol and 8% wt PVP.

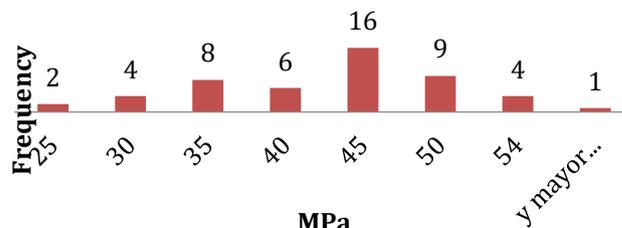


Fig. 8. Histogram of frequencies corresponding to a solution of ethanol and 8% wt PVP.

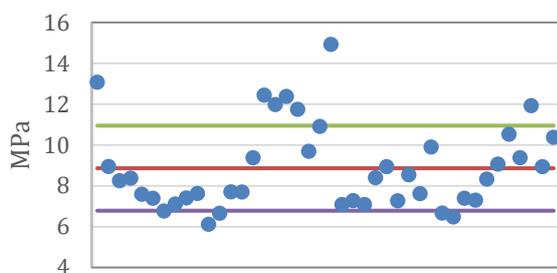


Fig. 9. Young's modulus mean value and standard deviation, corresponding to a solution of DMF and 14% wt PVP.

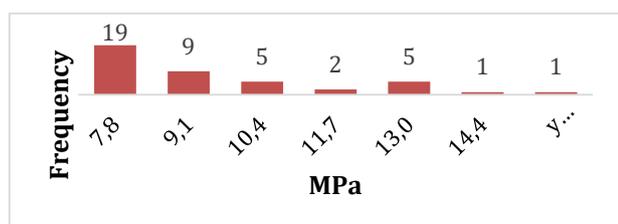


Fig. 10. Histogram of frequencies corresponding to a solution of DMF and 14% wt PVP.

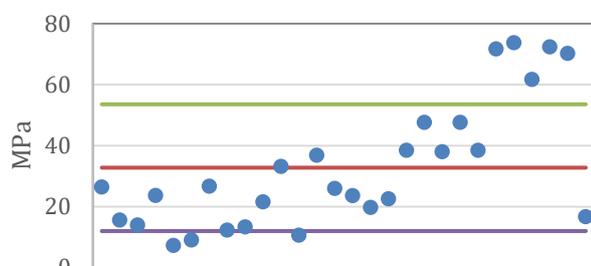


Fig. 11. Young's modulus mean value and standard deviation, corresponding to a solution of ethanol and DMF in a 70/30 ratio and 8% wt PVP.

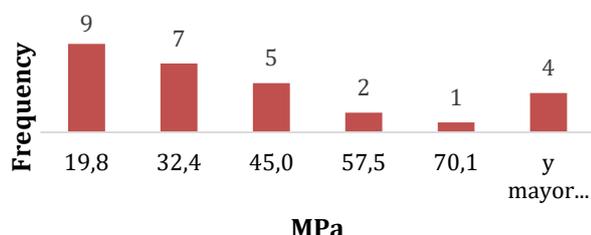


Fig. 12. Histogram of frequencies corresponding to a solution of ethanol and DMF in a 70/30 ratio and 8% wt PVP.

For the histograms of frequencies corresponding to samples 11 and 14, if a distribution were drawn, it would be biased to the left. In contrast, sample 5 could be considered an almost symmetric distribution.

#### IV. CONCLUSIONS

The morphological characterization of fibers with solutions of PVP with two types of solvents was carried out in the present work, being the solvents ethanol and DMF, respectively. Different parameters were modified to obtain homogeneous fibers, such as weight percent, feed rate, voltage, and distance from needle's tip to collector. The parameter that affected the diameter the most was the weight percent; the weight percent and the diameter having a directly proportional relation. Even though the jet was stable

for each one of the solutions tested, only three of them gave flawless fibers: ethanol with 8% wt PVP (3 ml/h feed rate, 15 cm distance to collector, 6 kV voltage), DMF with 14% wt PVP (0.5 ml/h feed rate, 20 cm distance to collector, 6 kV voltage), and ethanol with DMF in a weight ratio 70/30 and 8% wt PVP (5 ml/h feed rate, 17 cm distance to collector, 6 kV voltage). The corresponding mean diameters were 1.6  $\mu\text{m}$ , 1.22  $\mu\text{m}$ , and 1.35  $\mu\text{m}$ . For all these successful fibers, a mechanical characterization was performed in an AFM to determine the Young's modulus. The results were 40.08 MPa, 8.8 MPa, and 32.78 MPa, for the elastic modulus for ethanol, DMF, and ethanol-DMF, respectively. The standard deviations varied from 15% to 50% of the mean value, which is acceptable in these kinds of experiments in which there is a lot of uncertainty due to the random deposition of fibers. Being the value of ethanol the greatest, for better mechanical properties, ethanol must be used as the solvent in PVP solutions.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This investigation could not have been carried out without the assistance of the laboratories of "Reología y Fluidos Complejos" and Microscopy at Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

#### REFERENCES

- [1] Doshi, J. &Reneker, D. H. (1995). *Electrospinning Process and Applications of Electrospun Fibers*. ELSEVIER, 1.
- [2] Agarwal, S., Burgard, M., Greiner, A., & Wendorff, J. (2016). *Electrospinning: A Practical Guide to Nanofibers*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- [3] Li, Z., & Wang, C. (2013). *One-dimensional nanostructures: electrospinning technique and unique nanofibers*. New York, NY, USA: Springer.
- [4] Megelski, S., Stephens, J. S., Chase, D. B., &Rabolt, J. F. (2002). Micro- and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. *Macromolecules*, 35(22), 8456-8466.
- [5] Son, W. K., Youk, J. H., Lee, T. S., & Park, W. H. (2004). The effects of solution properties and polyelectrolyte on electrospinning of ultrafine poly (ethylene oxide) fibers. *polymer*, 45(9), 2959-2966.
- [6] Wannatong, L., Sirivat, A., &Supaphol, P. (2004). Effects of solvents on electrospun polymeric fibers: preliminary study on polystyrene. *Polymer International*, 53(11), 1851-1859.
- [7] Jarusuwannapoom, T., Hongrojjanawiwat, W., Jitjaicham, S., Wannatong, L., Nithitanakul, M., Pattamaprom, C., Koombhongse, P., Rangkupan, R. &Supaphol, P. (2005). Effect of solvents on electro-spinnability of polystyrene solutions and morphological appearance of resulting electrospun polystyrene fibers. *European Polymer Journal*, 41(3), 409-421.
- [8] Wu, X., Wang, L., Yu, H., & Huang, Y. (2005). Effect of solvent on morphology of electrospinning ethyl cellulose fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 97(3), 1292-1297.
- [9] Choktaweasap, N., Arayanarakul, K., Aht-Ong, D., Meechaisue, C., &Supaphol, P. (2007). Electrospun gelatin fibers: effect of solvent system on morphology and fiber diameters. *Polymer journal*, 39(6), 622-631.
- [10] Casasola, R., Thomas, N. L., Trybala, A., &Georgiadou, S. (2014). Electrospun poly lactic acid (PLA) fibres: effect of different solvent systems on fibre morphology and diameter. *Polymer*, 55(18), 4728-4737.
- [11] Iwamoto, S., Kai, W., Isogai, A., & Iwata, T. (2009). Elastic modulus of single cellulose microfibrils from tunicate measured by atomic force microscopy. *Biomacromolecules*, 10(9), 2571-2576.
- [12] Veleirinho, B., Rei, M. F., &Lopes-DA-Silva, J. A. (2008). Solvent and concentration effects on the properties of electrospun poly (ethylene terephthalate) nanofiber mats. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 46(5), 460-471.
- [13] Monar, D. Redrovan, P., Vaca, A., Carrion, L., Narvaez, C., & Arroyo, C. (2017). Preparation of Monodispersed Polyvinylpyrrolidone Particles by Using the Electro Spray Technique. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

# Análisis de desgaste para el fresado de muestras de aluminio AA 7075-T6

Augusto Coque, Byron Cortez

Centro de Posgrados/Ingeniería/Mecánica Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí, Ecuador  
acoque@ups.edu.ec, bhcortez@espe.edu.ec

**Resumen**—La presente investigación describe la influencia de los parámetros de mecanizado en el desgaste de las herramientas y la calidad superficial. Los factores que se consideran para este análisis son: velocidad de corte ( $V_c$ ), Avance por diente ( $f_z$ ), Profundidad de corte ( $a_p$ ) y la Trayectoria de la herramienta ( $T$ ), para lo cual, en un centro de mecanizado EMCO Concept Mill 260 y en una muestra de Aluminio A7075-T6 se realizó una operación de fresado plano. Para el modelo experimental se utilizó el método estadístico Taguchi con un arreglo ortogonal L27. Estableciendo parámetros de mecanizado que ayuden a obtener desgastes mínimos en las herramientas sin influir en los acabados superficiales de las muestras manufacturadas. Acorde a esta investigación el factor ( $f_z$ ) es estadísticamente significativo para la rugosidad superficial y los factores ( $f_z$ ) y ( $a_p$ ) para el desgaste por filo de aportación, estos modelos dan como resultado una rugosidad superficial  $0.061 \mu\text{m}$  y una cantidad de  $0,004 \text{ mm}^3$  de aluminio adheridos a la herramienta. Después de utilizar los parámetros de mecanizado óptimos se obtuvo una mejora de 4,9% para la rugosidad y una reducción del 7,5% en el desgaste por filo de aportación.

**Palabras Claves**—Fresado plano, Parámetros de mecanizado, Desgaste por filo de aportación, Rugosidad superficial.

**Abstract**—Due to its excellent mechanical properties, machinability and relatively low cost compared with other metals, aluminum alloys are highly utilized in the automotive industry, marine, aviation and in plastic injection dies. However, there is limited information related to the machining parameters of aluminum and its alloys, especially in Ecuador. This research describes the influence of machining parameters into the tools-worn out and surface quality. The factors that are considered for this analysis are: cutting speed ( $C_s$ ), feed per tooth ( $f_t$ ), depth of cut (D.O.C), and tool path ( $T_p$ ). A machining center EMCO Concept Mill 260 was used as well as Aluminum A7075-T6 specimens. Taguchi methods and an orthogonal array L27 were utilized. The analysis yielded that factor ( $f_t$ ) is statistically significant when evaluating the surface roughness. Factors ( $f_t$ ) and (D.O.C) are significant for the worn out of the blade. It was measured  $0.061\mu\text{m}$  for the surface roughness and  $0.004\text{mm}^3$  adhered to the cutting tool. After optimizing the parameters, an improvement of 4.9% was evidenced for the surface roughness and a reduction of 7.5% in the worn out of the tools.

**Keywords**— Flat milling, Machining parameters, Built Up Edge, Surface roughness.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen una gran cantidad de materiales que presentan muy buenas propiedades para determinadas aplicaciones, el aluminio es un material que desde su descubrimiento ha aportado en un sin número de campos de aplicación, este metal estructural es el más abundante en la corteza terrestre con un valor aproximado del 7,5%.

La aleación de aluminio A7075-T6 (Produx) es un material que tiene excelentes propiedades mecánicas como por ejemplo una buena resistencia a la fatiga, además es ligero y de fácil mecanizado frente a otros metales, debido a su costo relativamente accesible, su uso es habitual en aplicaciones donde las características técnicas de aleaciones más baratas no son admisibles.

En el mecanizado influyen diversas variables las cuales se pueden dividir en independientes y dependientes, minimizar el desgaste de las herramientas y mantener la calidad superficial de los elementos fabricados es uno de los paradigmas del mecanizado, al variar los factores independientes tales como los parámetros de corte en un proceso de fresado plano se buscará encontrar cuales son los más influyentes en el desgaste de las herramientas, sin afectar el acabado superficial de las piezas mecanizadas en un Centro de Mecanizado CNC.

Se realizará un diseño experimental basado en la Metodología Taguchi, el cual es utilizado extensamente en la industria y estudios científicos, así se determinará la optimización del proceso de fresado plano encontrando los parámetros de corte que nos ayuden a minimizar el desgaste de las herramientas por filo de aportación (BUE del inglés *Built Up Edge*) y la calidad superficial de una pieza mecanizada.

## II. MÉTODO

Para encontrar y optimizar los parámetros de mecanizado más influyentes en el desgaste de las herramientas por filo de aportación y la rugosidad superficial, al mecanizar la aleación de aluminio A7075-T6 (Produx), en un Centro de Mecanizado EMCO Concept Mill 260, realizando un proceso de fresado plano, utilizando una herramienta de diámetro 50 mm con insertos de metal duro, mediante ensayos experimentales.

Se planteará el diseño de la metodología experimental, utilizando el método Taguchi y la metodología ANOVA, los cuales nos ayudarán a obtener los parámetros de mecanizado más influyentes en el desgaste de las herramientas por filo de aportación (BUE) y el acabado superficial, para luego encontrar los parámetros de mecanizado óptimos en el fresado plano.

Se realizará microfotografías de los tipos de desgaste encontrados evaluando los resultados para obtener los parámetros de mecanizado óptimos que disminuyan el BUE de las herramientas y mejoren la calidad superficial.

Mediante el fresado plano a través de la variación de parámetros de corte establecidos en la Tabla I para el material, utilizando una herramienta de carburo no recubierto (metal duro), realizar un análisis detenido para controlar todos los factores de mecanizado influyentes sería

demasiado extenso, ya que sin duda son muchos más que los antes mencionados por lo cual se ha optado por obtener datos viables, concisos y útiles, definiendo una forma rectangular de la probeta con las siguientes dimensiones 100x75x30 como se muestra en la Figura 1, el diámetro de la herramienta (diámetro 50 mm), y la no utilización de refrigerante en el centro de mecanizado, al realizar el planeado sobre la superficie se seleccionará tres estrategias de corte.

TABLA I  
FRESADO PLANO Y DE ESCUADRADO

	Fresado grueso con metal duro	Fresado fino con metal duro	Fresado fino con PCD <sup>1)</sup>	Fresado con acero rápido
Velocidad de corte m/min	600-1000	1000-3000	800-4000	250-400
a.p.m	1980-3300	3300-9900	2650-13200	825-1320
Avance (f <sub>z</sub> ) mm/diente	0,2-0,6	0,1-0,2	0,05-0,2	-0,4
Pulg/diente	0,008-0,024	0,004-0,008	0,002-0,008	-0,016
Profundidad de corte (a <sub>p</sub> ) Mm	2-8	-2	-2	-8
Pulgadas	0,08-0,32	-0,08	-0,08	-0,32
Designación del metal duro ISO	K20	K10	-	-

La herramienta de corte seleccionada es ZCC-CT fresa FMR04, 50 mm de diámetro y cuatro dientes, [1] en su estudio utilizan solo un inserto para facilitar la detección del desgaste en el mecanizado de Inconel-182 producido por la temperatura, para la elección de la herramienta FMR04 con insertos YD201-SEKN1203AFTN no recubiertos se puede justificar su uso ya que la remoción de material es lo más importante para la mayoría de fabricantes primordialmente en la fabricación de moldes y en el campo aeroespacial en el cual el Aluminio Prodax es muy utilizado [2].



Fig. 1. Probeta aluminio

La Tabla II muestra los valores de mecanizado recomendados para la herramienta de corte FMR04, mientras que en la Tabla III se observa los valores recomendados para los insertos YD201-SEKN1203AFTN.

El Dr. Genichi Taguchi propuso un método estadístico en 1960 el cual es extensamente usado en la industria y estudios científicos, pues desde que este es aplicado se puede determinar fácilmente la optimización de un proceso y no requiere de cálculos matemáticos complejos.

TABLA II  
PARÁMETROS DE CORTE PARA LA HERRAMIENTA FMR01

Velocidad de corte (V <sub>c</sub> )	> 600 m/min
Avance (f <sub>z</sub> )	0,3-0,5 mm/z
Profundidad de corte (a <sub>p</sub> )	2-5 mm

TABLA III  
PARÁMETROS DE CORTE PARA INSERTO ES ZCC-CT YD201-SEKN1203AFTN

Velocidad de corte (V <sub>c</sub> )	160-200 m/min
Avance (f <sub>z</sub> )	0,1-0,3 mm/z
Profundidad de corte (a <sub>p</sub> )	2-5 mm

El sistema de diseño de experimentos de Taguchi se deriva de alrededor de 18 arreglos ortogonales estándar. Un arreglo ortogonal es una matriz experimental factorial fraccional que es ortogonal y balanceada [3].

Para el experimento se debe determinar los factores elegidos y sus niveles los cuales se encuentran en la Tabla IV, estos valores han sido recolectados de las Tablas I, II y III. Especificada la velocidad de corte, calculamos el avance en mm/min tomando del catálogo de herramientas el valor del avance por diente, con lo cual tenemos los tres niveles para este factor. Los niveles de la trayectoria de la herramienta serán: de X a Y con retracción, de Y a X con retracción y de X a Y sin retracción. Las profundidades están de acuerdo a la relación profundidad/rugosidad, y profundidad axial permitida por el diámetro de la herramienta por lo cual serán 2 mm, 3mm, y 4mm.

TABLA IV  
FACTORES SELECCIONADOS Y SUS NIVELES

Factores	Unidades	Niveles		
		1	2	3
A Velocidad de corte	m/min	160	450	900
B Avance por diente	mm/z	0,1	0,2	0,3
C Profundidad de corte	----	2	3	4
D Trayectoria	mm	X-Y	Y-X	X-Y

Se determinará el arreglo ortogonal a utilizar, ya que el método Taguchi propone que el número de grados de libertad del arreglo ortogonal (DF) que se seleccionará, debe ser mayor o igual al total de grados de libertad requerido para el experimento. La ecuación para calcular los grados de libertad del experimento relacionado al número de factores y niveles está dada por [3]:

$$DF = [(n1-1) \cdot nf + (n1-1) \cdot (n1-1) \cdot ni] \quad (1)$$

donde DF son los Grados de libertad del experimento, n1 son los números de niveles, nf son los números de factores y ni son los números de interacciones, mediante (1), se obtiene un resultado de los grados de libertad igual a 20 considerando esto se seleccionará el arreglo ortogonal (AO), L27 el cual tiene (DF=26) este arreglo consta de 27 filas y 13 columnas este será el arreglo seleccionado para el experimento de esta manera el diseño experimental consiste en 27 ensayos.

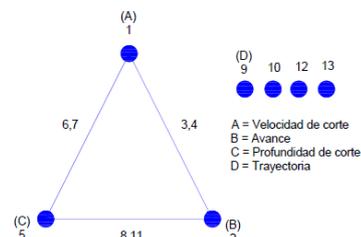


Fig. 2. Aplicación lineal AO L27

En la Fig. 2 el efecto principal se representa mediante un punto mientras que una interacción se representa mediante una línea y los números las columnas correspondientes del arreglo ortogonal.

Para el desarrollo del experimento se utilizará 27 probetas una para cada ensayo, se realizará el desarrollo del cálculo de los valores necesarios para el mecanizado de los diferentes experimentos, La ecuación de la velocidad de corte está dada por [4]:

$$V_c = \frac{\pi \cdot N \cdot D}{1000} \quad (2)$$

donde  $N$  son las revoluciones por minuto y  $D$  el diámetro de la herramienta, se deberá tomar en cuenta el diámetro de corte efectivo que está dado por [4] donde  $a_p$  es la profundidad de corte y  $Kr$  el ángulo de mecanizado de la herramienta que para nuestro estudio es  $45^\circ$ .

$$D_e = D + \frac{2 \cdot a_p}{\tan kr} \quad (3)$$

Utilizando la ecuación que está dada por [4]:

$$V_f = f_z \cdot z \cdot N \quad (4)$$

donde  $f_z$  es el avance por diente y  $z$  es el número de filos, obteniéndose el valor de la velocidad de avance de la herramienta.

En la Fig. 3, se muestra una probeta con los parámetros obtenidos anteriormente que nos servirán para el análisis de resultados.



Fig. 3. Mecanizado de Probetas

Se utilizará un microscopio óptico BUEHLER VIEWMET para observar los diferentes tipos de desgaste que se producen en las herramientas, además con un rugosímetro marca MITUTOYO SJ-210 se realizará diferentes ensayos en el laboratorio de metrología de la Universidad Politécnica Salesiana como se observa en la Figura 4, con los datos obtenidos de las observaciones que se realizarán con el microscopio y el rugosímetro, se utilizará el METODO ANOVA.



Fig. 4. Medición de la rugosidad superficial

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al aplicar la Metodología Taguchi con el modelo ortogonal L27 que combina los niveles y factores para el

fresado Plano, se obtendrá las medidas de rugosidad de forma perpendicular y paralela al movimiento de la herramienta. Se realizará tres ensayos de medida de rugosidad, obteniéndose de esta manera una rugosidad promedio, uno de los principales problemas en el mecanizado de materiales pastosos como el aluminio, es el material que se adhiere a la herramienta provocando un tipo de desgaste conocido como Filo de aportación (BUE, por sus siglas en inglés). Con en el microscopio BUEHLER VIEWMET se observará el filo de los insertos utilizados en los ensayos realizados, apreciando que existe material de aluminio adherido en el filo de las herramientas. Utilizando el software propio del microscopio BUEHLER VIEWMET se podrá obtener la medida del área y la altura del material adherido en la herramienta como se muestra en la Figura 5.a y b. Los valores obtenidos en el software se encuentran en micras.

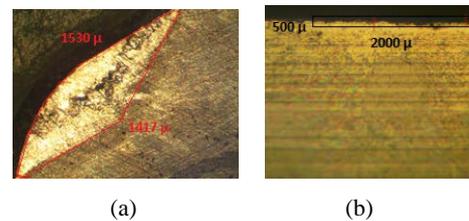


Fig. 5. Filo de inserto presentando material adherido

La Tabla V muestra el volumen del material adherido a las herramientas utilizadas en los ensayos. Estos valores se obtuvieron al multiplicar el área del material adherido en la parte plana y la altura que se presenta en el filo inclinado como se muestran en la Fig. 5(a) y Fig. 5(b).

Al utilizar el método ANOVA se podrá determinar los factores de mecanizado y sus respectivos niveles óptimos, optimizando la rugosidad medida en sentido paralelo al mecanizado, la rugosidad medida en sentido perpendicular al mecanizado y la cantidad de material adherido a la herramienta.

Al aplicar los parámetros de mecanizado óptimos, las tablas VI, VII y VIII muestran el valor de rugosidad mejorada en sentido paralelo, perpendicular y la cantidad de material adherido a la herramienta respectivamente.

### IV. CONCLUSIONES

Se determinó que  $0,004 \text{ mm}^3$  es la menor cantidad de material adherido a la herramienta, además los valores de rugosidad más bajos son  $0,061 \mu\text{m}$  para la rugosidad medida en sentido paralelo al mecanizado y  $0,068 \mu\text{m}$  para la rugosidad medida en sentido perpendicular al mecanizado. Se determinó que los parámetros que disminuyen la cantidad de material adherido a la herramienta son: Velocidad de corte  $450 \text{ m/min}$ , Avance  $0.2 \text{ mm/filo}$ , profundidad de corte  $2 \text{ mm}$  y una trayectoria de  $x$  a  $y$  sin retracción obteniéndose un volumen de  $0.0037 \text{ mm}^3$  de material adherido a la herramienta. Se determinó que para la rugosidad medida en sentido paralelo al mecanizado los parámetros que mejoran la rugosidad son: Velocidad de corte  $450 \text{ m/min}$ , Avance  $0.1 \text{ mm/filo}$ , profundidad de corte  $2 \text{ mm}$  y una trayectoria de  $x$  a  $y$  sin retracción, obteniéndose una rugosidad mejorada de  $0.058 \mu\text{m}$  mejorando en un  $4.9\%$  el acabado superficial, mientras que para la rugosidad medida en sentido

perpendicular al mecanizado los parámetros que mejoran la rugosidad son: Velocidad de corte 900 m/min, Avance 0.1 mm/filo, profundidad de corte 2 mm y una trayectoria de x a y sin retracción, obteniéndose una rugosidad mejorada de 0.064  $\mu\text{m}$  mejorando en un 5.8% el acabado superficial.

TABLA V  
VOLUMEN DE MATERIAL ADHERIDO EN LA HERRAMIENTA

Nº Prueba	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Volumen (mm <sup>3</sup> )
1	2.60	0.010	0.500	0.013
2	3.56	0.730	0.500	1.299
3	2.44	0.100	0.500	0.122
4	2.26	0.150	0.500	0.169
5	2.32	0.050	0.500	0.058
6	0.69	0.100	0.500	0.034
7	2.27	0.070	0.500	0.079
8	2.57	0.170	0.500	0.218
9	1.20	1.000	0.500	0.600
10	0.57	0.020	0.500	0.006
11	1.25	0.440	0.500	0.275
12	1.05	0.200	0.500	0.105
13	0.58	0.015	0.500	0.004
14	2.26	0.050	0.500	0.056
15	0.68	0.090	0.500	0.031
16	1.05	0.015	0.500	0.008
17	1.08	0.450	0.500	0.243
18	0.70	0.070	0.500	0.025
19	2.10	0.150	0.500	0.157
20	1.15	0.020	0.500	0.011
21	2.25	0.170	0.500	0.191
22	0.70	0.090	0.500	0.031
23	1.20	0.300	0.500	0.180
24	0.50	0.070	0.500	0.017
25	1.13	0.170	0.500	0.096
26	0.58	0.200	0.500	0.058
27	2.80	0.980	0.500	1.372

TABLA VI  
VALOR DE RUGOSIDAD MEJORADA MEDIDA EN SENTIDO PARALELO AL MECANIZADO

Nº Prueba	Vc (m/min)	fz (mm/rev)	a <sub>p</sub> (mm)	Trayectoria	R1 ( $\mu\text{m}$ )	R2 ( $\mu\text{m}$ )	R3 ( $\mu\text{m}$ )	R promedio ( $\mu\text{m}$ )
1	450	0,1	2	De x a y CR	0,0 6	0,0 57	0,0 59	0,058

TABLA VII  
VALOR DE RUGOSIDAD MEJORADA MEDIDA EN SENTIDO PERPENDICULAR AL MECANIZADO

Nº Prueba	Vc (m/min)	fz (mm/rev)	a <sub>p</sub> (mm)	Trayectoria	R1 ( $\mu\text{m}$ )	R2 ( $\mu\text{m}$ )	R3 ( $\mu\text{m}$ )	R promedio ( $\mu\text{m}$ )
2	900	0,1	2	De x a y CR	0,0 67	0,0 63	0,0 64	0,064

TABLA VIII  
VALOR MEJORADO DE CANTIDAD DE MATERIAL ADHERIDO A LA HERRAMIENTA

Nº Prueba	Vc (m/min)	fz (mm/rev)	a <sub>p</sub> (mm)	Trayectoria	Largo (m)	Anchora (m)	Altura (m)	Volumen (mm <sup>3</sup> )
3	450	0,2	2	De x a y CR	0,4 6	0,01 3	0, 48	0,003 7

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Rvdo. Padre Javier Herrán Gómez Rector de la Universidad Politécnica Salesiana por el apoyo financiero y la confianza depositada hacia mi persona en la realización de mis estudios y este proyecto de investigación.

Agradezco al Ing. Byron Cortez MSc. por su guía y su conocimiento pilares fundamentales en el desarrollo de esta investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] W. M. Chengdong Wang, «Milling tool's flank wear prediction by temperature dependent wear,» Tribology International, pp. 140-156, 2016.
- [2] M. Danford, «Internacional Metalmeccánica,» Octubre 2009. [En línea]. Available: <http://www.metalmecanica.com/temas/Material-de-herramientas-alternativo-para-desbastar-piezas-de-trabajo-grandes+7072835>. [Último acceso: 01 08 2016].
- [3] D. C. Montgomery, Diseño y Analisis de experimentos, Mexico DF.: Limusa, 2010.
- [4] S. Kalpakjian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Mexico D.F.: Pearson Educación, 2016.
- [5] J. C. C. John L. Yang, «A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations,» Industrial Technology, 2001.

# Diseño y construcción de una plataforma de robot móvil teleoperada a bajo costo para interiores

Andrés Gaona, David Loza, Byron Cortez, Luis Segura

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica/Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

adgaona1@espe.edu.ec, dcloza@espe.edu.ec, bhcortez@espe.edu.ec, ljsegura@espe.edu.ec

**Resumen**—Este trabajo presenta el diseño y construcción de una plataforma robótica móvil de bajo costo. El robot ha sido desarrollado en base a tres sistemas: mecánico, sensorial y de control. El sistema mecánico describe la implementación de los mecanismos de tracción y translación. El sistema sensorial muestra los sensores implementados para realizar odometría y navegación reactiva. El sistema de control explica los componentes del algoritmo de control utilizado para la manipulación del robot móvil. Se utilizó el Sistema Operativo para Robots (ROS) como base del diseño del autómata. La plataforma robótica ha sido probada bajo diferentes circunstancias obteniendo resultados prometedores de frente a nuevos estudios.

**Palabras Claves**— Robot móvil, plataforma de bajo costo, arquitectura de control de robot.

**Abstract**—This paper presents the design and construction of a low-cost mobile robot platform. Mechanical, sensory, and control modules are developed as part of the robot. The mechanical system describes the implementation of translation and traction mechanisms. The sensory system shows the sensors that back up the reactive navigation and odometry. The control system explains the parts and algorithms used to control the mobile platform. The controller was developed in the Robotic Operating System (ROS). The robot platform has been tested obtaining promising results toward new implementations.

**Keywords**— Mobile robot, low-cost platform, robot control architecture.

## I. INTRODUCCIÓN

La robótica móvil se ha convertido en un punto importante de atención para la investigación dentro de la comunidad científica. Esto se debe a la versatilidad de los robots para adaptarse a diferentes aplicaciones; y la consideración de que estos tipos de autómatas están equipados con un grado relativamente alto de inteligencia artificial [1]. Según Bräunl [2], un robot móvil (MR) es una máquina autómata que posee capacidad de movimiento dentro de un entorno particular; esta afirmación solo interpreta las características de los robots más importantes, pero no la única. Para complementar esta idea, es importante señalar aspectos tales como la cinemática, la percepción y la localización en un entorno determinado. Un MR debe tener la capacidad de navegar en un espacio establecido, pudiendo evitar situaciones de colisión con objetos estáticos y móviles. Además, las condiciones extremas de temperatura, radiación y humedad deben ser esquivadas y esto depende de la aplicación [3].

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, la construcción de una plataforma de robot móvil (MRP) es imprescindible como punto de partida hacia diversos

desarrollos y líneas de investigación. Además, esto respalda a los alumnos en el proceso de aprendizaje y la validación de los algoritmos de control.

Es importante tener en cuenta el costo de cada elemento al diseñar y construir un robot con tales características. Una implementación de bajo costo permite replicar el robot tantas veces como sea necesario para manipular sus características, y esto hace que esta plataforma sea diferente de las comerciales. Comprar un robot comercial es costoso en Ecuador; por lo tanto, desarrollar una plataforma de bajo costo se ha convertido en una alternativa para realizar investigaciones sobre este tema.

## II. ESTRUCTURA DE LA PLATAFORMA DEL ROBOT MÓVIL

Se ha planteado una estructura modular para el diseño y la construcción de la MR. Esto permite una mejor distribución de las operaciones de la funcionalidad del robot. Los componentes, independientes entre ellos, se pueden reorganizar en diferentes arquitecturas de control; también pueden reutilizarse en otros robots y reemplazarse por otros módulos. La forma de diseño es normal y recurrente en robots de este tipo, por ejemplo, Kobuki [4], KIVA [5], Husky [4], entre otros. Se utiliza un mecanismo diferencial para integrar las ruedas motrices al robot, además se incorporan dos ruedas seguidoras que sirven como pivotes para aumentar la estabilidad del robot.

La Fig. 1 muestra un modelo CAD que contiene la distribución y ubicación de las ruedas conducidas y seguidoras. Las ruedas motrices no deben exceder el 5% del peso del robot para no influir significativamente en el dimensionamiento de los motores; el área de la banda de rodadura del neumático debe ofrecer buenas características de adherencia [6]. Por otro lado, las ruedas seguidoras deberían dar versatilidad hacia el desplazamiento adecuado de la plataforma.

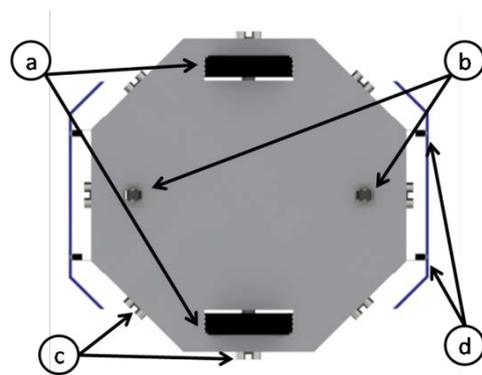


Fig. 1. Distribución de componentes: a) ruedas motrices, b) rueda de seguimiento, c) sensores ultrasónicos, y d) interruptores de límite

Los motores paso a paso se utilizan para impulsar las ruedas y se dimensionaron teniendo en cuenta el caso más crítico, como se muestra en la Fig. 2 [6]. Explica las cargas cinemáticas presentes en las ruedas motrices cuando el robot quiere superar la posición de parada. Este fenómeno está gobernado por (1).

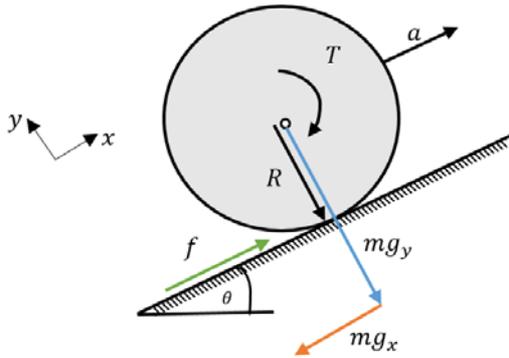


Fig. 2. Cinemática de carga en una rueda motriz para superar la posición de parada

TABLA I  
PARÁMETROS DE DIMENSIÓN DEL MOTOR

Símbolo	Descripción	Magnitud
$T_m$	Torque motor	2.2 Nm
$fs$	Factor de seguridad	2
$e$	Eficiencia del motor	0.9
$a$	Aceleración	$0.1 \frac{m}{s^2}$
$\theta$	Pendiente máxima	15°
$m$	Masa	10 kg
$R$	Radio de la rueda de tracción	0.15 m
$n$	Número de ruedas motrices	2

$$T_m = fs \cdot \left( \frac{100}{e} \right) \left[ \frac{(a + g \cdot \sin \theta) \cdot m \cdot R}{n} \right] \quad (1)$$

Al calcular (1) para los parámetros detallados que se muestran en la Tabla I, se obtiene como resultado el par necesario (2.2 Nm) para superar la posición de parada.

Se instalaron dos motores paso a paso para alcanzar el par exigido. Sus especificaciones son de 2.5 Nm y 200 pulsos por revolución. Esto permite un control preciso de la posición y orientación del robot móvil. Dos controladores que suministran el voltaje y la corriente adecuados se integraron para simplificar la etapa de potencia que controla los motores paso a paso. Estos controladores se rigen por el módulo de control que se describe más adelante en este documento. Los motores y sus accionamientos requieren 24 V. El sistema mecánico finaliza con la implementación de dos baterías de 12 V y 3 A.

El sistema sensorial permite la interpretación del entorno que rodea al robot. La navegación reactiva y la odometría están incorporadas. Se coloca un sensor de sonda para la adquisición de señal, el sensor es un elemento no confiable cuando se trabaja fuera del rango de distancia y el espectro angular [8]. Para dar solución a este problema, 24 sensores de sonar deberían distribuirse en un anillo; sin embargo, se podría generar una repetibilidad incongruente en las mediciones obtenidas [8].

Después de evaluar los diferentes anillos de sensores por prueba / error y revisar los detalles presentados [7], se determinó que una distribución de 8 sonares (Figura 3a) era la más óptima para este proyecto.

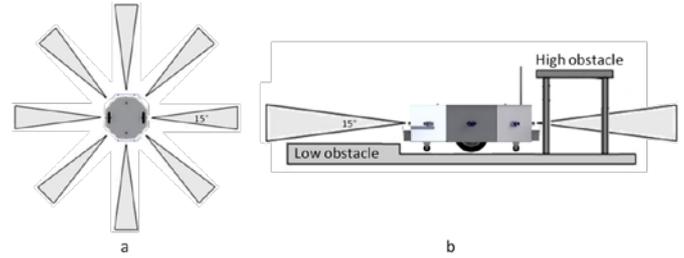


Fig. 3. (a) Distribución de sensores ultrasónicos y (b) Percepción vertical del anillo sonar-sensor

Un aspecto importante a considerar es la incertidumbre generada por los espacios no detectados, como se muestra en la Figura 3. Esto podría causar que la MR golpee con objetos en su camino. Para evitar este problema, se implementaron dos parachoques y cuando uno de ellos está activado, todas las funcionalidades del MR están desactivadas. Los efectos derivados de la variación sistemática y no sistemática son los errores para cada posición calculada. Cada valor de error indica la región de incertidumbre que tiene la posición real del robot [12], y los errores aumentan junto con la dirección de desplazamiento del robot. Esto provoca errores al determinar la posición y el ángulo que son parámetros importantes a considerar para la autonomía del robot.

Los codificadores están en los ejes de las ruedas motrices para obtener su información de rotación, también se montó otro sensor, giroscopio para obtener el ángulo de orientación del robot. La odometría calculada se basa en el modelo cinemático presentado en la Figura 4.

Como punto de partida, la matriz ortogonal rotacional  $R(\theta)$ , la cual indica el desplazamiento diferencial, establece como punto de partida el vector de posición  $\xi_I$  que se muestra en la ecuación 2.

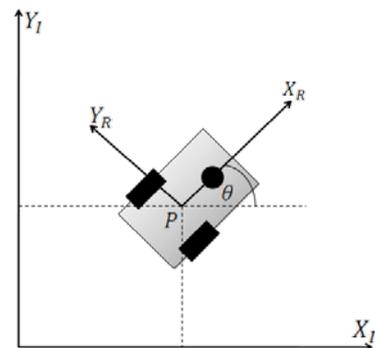


Fig. 4. Modelo de desplazamiento diferencial

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### III. PRUEBAS Y RESULTADOS

La Fig. 5(a) muestra una representación de CAD del MP y sus componentes se detallan en la Tabla II. La Fig. 7(b) presenta la implementación de MR y la Figura 7c retrata una vista externa del robot.

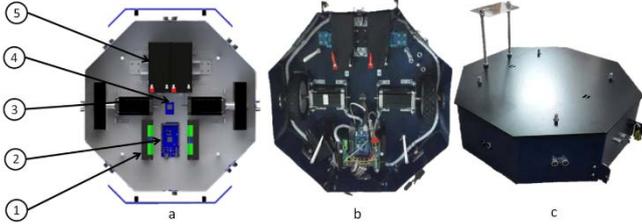


Fig. 5. Plataforma de robot móvil implementada

Número	Descripción
1	Driver del motor paso a paso
2	Sistema integrado Arduino
3	Motor paso a paso
4	Giroscopio y encoder
5	Baterías

Para comenzar con la operación del MRP, el Arduino A debe ser comunicado al sistema operativo ROS. Este procedimiento permite que los dispositivos periféricos controlen el robot. Los movimientos se envían desde el comando del joystick y están limitados por el nodo de navegación reactiva; esto evita que el operador realice desplazamientos que no están de acuerdo con el entorno donde opera el robot. Mientras tanto, la pantalla ROS muestra constantemente la posición y la velocidad de la plataforma móvil.

Para evaluar si los requisitos de diseño se lograron o no, se requieren varias pruebas. Cada vez que se desarrolló un nodo ROS, se realizó una prueba.

La prueba uno evalúa la versatilidad del comando que tiene el MP. Por lo tanto, se establece que el robot se mueve según los comandos que se envían desde el joystick sin mostrar ningún retraso al leer los datos. Esto muestra que el procesamiento y la velocidad de la señal de muestreo no se ven afectados por el costo computacional de los algoritmos. El tiempo de funcionamiento que el robot puede alcanzar también se evalúa en esta prueba. La información obtenida demuestra que el tiempo de funcionamiento sin carga del robot es de aproximadamente 7 horas. Es en este momento cuando el módulo mecánico del robot deja de funcionar ya que el voltaje drenado se ha agotado por debajo de los 18 voltios, que es el voltaje mínimo requerido por los controladores del motor para su correcto funcionamiento.

Otra característica evaluada durante esta prueba fue la capacidad del robot para superar pendientes. Se determinó que la plataforma *puede trabajar en pendientes de hasta 35 ° sin perder tracción*.

La prueba dos se ejecuta cuando se integró el nodo de

odometría. Para evaluar este componente, se realizó un monitoreo constante de la trayectoria abierta, Fig. 6(a), y la trayectoria cercana, Fig. 6(b). La Fig. 6 muestra la ruta teórica en azul y la ruta real en rojo. Con los datos recopilados de estas pruebas, es posible una cuantificación del error durante el desplazamiento.

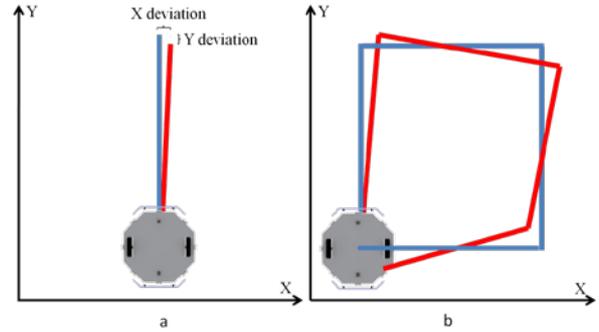


Fig. 6. Pruebas de trayectoria (Odometría) (a) Abierto y (b) cerrado

La Tabla III muestra los datos recopilados, así como el porcentaje de error. Los errores obtenidos se cuantifican en el primer y segundo caso. La magnitud de los errores no sistemáticos se calcula restando la trayectoria abierta de los valores numéricos de la trayectoria cercana. Aunque se muestran porcentajes altos considerables en la Tabla III, el error de odometría se coloca dentro de los rangos aceptables para este tipo de mediciones [10].

Número de pruebas	Trayectoria abierta		Trayectoria cerrada	
	X desviación	Y desviación	X desviación	Y desviación
1	15.6 cm	3.3 cm	47.3 cm	51.8 cm
2	12.4 cm	3.7 cm	53.1 cm	55.9 cm
3	14.7 cm	2.9 cm	43.4 cm	54.7 cm
Promedio	14.2 cm	3.3 cm	47.9 cm	54.1 cm
Porcentaje	7.9 %	1.8 %	26.6 %	30.1 %

La última prueba trata de la navegación reactiva. La estrategia se desarrolla de tal manera que los datos se toman del anillo de sensores de sonda. Sin embargo, cuando el robot identifica obstáculos en el frente, verifica las otras direcciones. Por lo tanto, si los sensores laterales están libres y el robot gira hacia la derecha como primera opción. Si el sensor lateral derecho está bloqueado, entonces el robot gira hacia la izquierda. Si ambos sensores laterales están bloqueados, el robot gira 180 ° e intenta encontrar otra salida. Cuando el MP obtiene una nueva dirección, el estado de los sensores se verifica constantemente para que el MP regrese a su orientación inicial y alcance la posición establecida. La estrategia implementada es relativamente simple y muestra la versatilidad de la plataforma con respecto a los algoritmos para la navegación reactiva.

### IV. CONCLUSIONES

Se implementó una plataforma de robot móvil teleoperado para interiores. Se determinaron las siguientes características del robot: dimensiones (50 × 50 × 30 cm), peso (10 kg), velocidad máxima (0,5 m / s), pendiente máxima que puede superarse (15 °), tiempo de funcionamiento (7 horas) El sistema de control fue

completamente desarrollado en el sistema operativo Robot (ROS). El uso de una estructura modular al construir un MRP permite incorporar nuevos dispositivos para actualizarlo o variar su funcionalidad. La navegación reactiva presenta una gran versatilidad cuando se implementa en MR. Por lo tanto, las estrategias de movimiento se pueden reformular para que el robot responda de manera diferente según los nuevos requisitos. Otro aspecto importante a considerar es el hecho de que los sensores ultrasónicos podrían exigir un alto costo computacional si el código se detiene esperando a que regrese la señal. Adicionalmente, se puede incorporar un módulo de visión para permitir la visualización de la odometría [11]. Esto mitigaría los efectos de los errores sistemáticos y no sistemáticos que están presentes en el módulo de odometría. La reducción de errores también se puede lograr desarrollando algoritmos probabilísticos como el filtro extendido de Kalman [15,16], Montecarlo [17], entre otros. Se puede lograr un beneficio importante al agregar un módulo de visión; esto hace posible la teleoperación del robot desde una estación fija [18]. Para lograr este propósito, se debe incluir una red de área local para intercambiar información entre las computadoras. Cuando el robot opera bajo esta estrategia, es necesario que lo realice dentro de una área cerrada. La autonomía de los robots móviles es una alternativa a considerar muy de cerca. La localización y mapeo simultáneo (SLAM) [7] es una de las principales áreas donde la investigación se realiza con la ayuda del robot construido. La implementación de SLAM requiere de un sistema sensorial instalado, así como la incorporación de un módulo de visión.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a todo el personal del Laboratorio de Procesos de Fabricación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, con una mención especial a Roberty Velasco.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Jones, A. Flynn, B. Seiger, *Mobile Robots: Inspiration to Implementation*, AK Peters, 1998
- [2] T. Braunl, "Embedded Robotics: Mobile Design and Applications with Embedded Systems," Springer Science & Business Media, 2008.
- [3] F. Fahimi, "Autonomous Robots: Modeling, Path Planning and Control," Springer Science & Business Media, 2009
- [4] Open Source Robotics Foundation, TurtleBot, Online and Available: <http://turtlebot.com/>
- [5] R. D'Andrea, "Guest editorial: A revolution in the warehouse: A retrospective on KIVA systems and the grand challenges ahead," *IEEE Transactions Automation Science and Engineering*, 2012, pp. 638 – 639
- [6] R. Vandana, R. Fernandes, "Optimal sizing of motor – battery system for in wheel electric vehicles," *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2010, pp. 2510 – 2515
- [7] H.-D. Kim, S.-W. Seo, I.-H. Jang, K.-B. Sim, "SLAM of mobile robot in the indoor environment with digital magnetic compass and ultrasonic sensors," *IEEE International Conference Control, Automation and Systems ICCAS'07*, 2007, pp. 87 – 90
- [8] S. Kim, Y. Kim, "Robot localization using ultrasonic sensors, Intelligence," *IEEE/RSJ International Conference Robot and Systems IROS'04*, 2004, pp. 3762 – 3766
- [9] Open Source Arduino, Arduino, Online and Available <http://arduino.cc/en/>
- [10] K. Chong, L. Kleeman, "Accurate odometry and error modeling for a mobile robot," *IEEE international Conference robotics and Automation*, 1997, pp. 2783 – 2788

- [11] B. Siciliano, O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*, Springer Science & Business Media, 2002.
- [12] J. Borenstein, H. Everett, L. Feng et al., *Where am I? Sensors and Methods for Robot Mobile Positioning*, University of Michigan, 1996
- [13] Open Source Robotics Foundation, Robot Operating System ROS, Online and Available: <http://ros.org>
- [14] D. Nister, O. Naroditsky, J. Bergen, "Visual Odometry," *IEEE International Conference Computer Vision and Pattern Recognition CVPR'04*, 2004, pp. 652.

# Desinfección bacteriana de aguas residuales utilizando cavitación hidrodinámica a través de un tubo Venturi

Esteban Lafuente, Héctor López

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE  
lafuenteesteban@hotmail.com, hector-andy@hotmail.com

**Resumen**—Este estudio muestra un proceso de desinfección bacteriana de las aguas contaminadas del Río Santa Clara utilizando un método de cavitación hidrodinámica. Se utilizó un circuito de prueba cerrado con posibilidad de controlar la velocidad de flujo y la presión estática. El comportamiento de la cavitación ha sido capturado por un sensor de temperatura, tres sensores de presión y una cámara de alta velocidad. El resultado del experimento muestra que la cavitación hidrodinámica es un método físico, energéticamente eficiente y, por lo tanto, puede considerarse como una técnica potencial para un esquema de tratamiento de agua a gran escala. Así como, que luego de tratar el agua durante el mismo tiempo a distintas presiones de descarga se evidencia que cuando la presión de descarga aumenta, el grado de eficiencia de desinfección también aumenta.

**Palabras Claves**—Desinfección bacteriana, cavitación hidrodinámica.

**Abstract**—This paper shows a bacterial disinfection process of the polluted waters of the Santa Clara River using a hydrodynamic cavitation method. A closed test circuit was used with the possibility of controlling flow velocity and the static pressure. A temperature sensor, three pressure sensors and a high-speed camera have captured the behavior of the cavitation. The result of the study shows that hydrodynamic cavitation is a physical, energy efficient method and, therefore, can be seen as a potential capability for a large-scale water treatment scheme. As well as, after treating the water during the same time at different discharge pressures it is evident that when the discharge pressure increases, the degree of disinfection efficiency also increases.

**Keywords**— Bacterial disinfection, hydrodynamic cavitation.

## I. INTRODUCCIÓN

Reynolds (1894) es el primer investigador que demuestra el fenómeno de cavitación realizando experimentos en un tubo Venturi y verificando que se forman nubes de burbujas en las proximidades de la garganta, demostrando que el agua puede hervir a temperatura ambiente en un tubo mediante una caída de presión [1]. A partir de Reynolds la cavitación se ha tornado en un tema de investigación muy fuerte asociándolo como un efecto negativo en el funcionamiento apropiado de un sistema hidráulico.

En las últimas décadas, se han hecho esfuerzos concentrados por investigadores alrededor del mundo para provechar los espectaculares efectos de la cavitación hidrodinámica en transformaciones físico/químicas. Jyoti y Pandit (2001) investigaron la aplicación de la cavitación para la desinfección de agua de pozo en diferentes reactores de cavitación utilizando una placa orificio y compararon su eficacia con el tipo de reactor ultrasónico, obteniendo como

resultado que la cavitación hidrodinámica se puede utilizar para un mayor desarrollo frente a la cavitación ultrasónica que requiere más energía y por lo tanto un costo más elevado al momento de utilizarlo [2]. Arrojo et al. (2005) ha investigado el efecto de la cavitación hidrodinámica como un procesos de oxidación avanzada utilizando diferentes diseños de cámara de cavitación como placas orificio, tubos Venturi y placas de impacto, llegando a determinar que debido a las condiciones de presión y temperatura extremas dentro de las burbujas, el agua se disocia en radicales H y OH, provocando un desinfectante muy fuerte que actúa de manera irremediable en los componentes celulares [3].

Eva Fathul Karamah et al. (2013) realizó un estudio sobre la tasa de inactivación de *Escherichia coli*, una de las bacterias más comunes presentes frecuentemente en el intestino distal de los organismos de sangre caliente, en un reactor de cavitación hidrodinámica utilizando un Tubo Venturi y una placa orificio [4].

Uno de los problemas más grande que presenta el Ecuador, es la contaminación bacteriana de los ríos a causa de la descarga de aguas residuales domésticas no tratadas mediante sistemas sanitarios y por descargas directas de aguas industriales que pueden provocar en su mayoría enfermedades del tracto digestivo humano [9].

El propósito de este artículo implica un estudio experimental de cavitación hidrodinámica en una tobera axisimétrica convergente-divergente, y cuantificar el poder bactericida en la desinfección de las aguas contaminadas del río Santa Clara en Ecuador.

## II. MÉTODO

Se utilizó un circuito de prueba cerrado con posibilidad de controlar la velocidad de flujo y la presión estática como indica la Fig. 1. Los diferentes regímenes de cavitación en un tubo Venturi se generan cambiando sistemáticamente la presión estática aguas arriba a través de una válvula de compuerta. El comportamiento de la cavitación ha sido capturado por tres sensores de presión en el tubo Venturi, un sensor de temperatura y una cámara de alta velocidad (Phantom V2512). La bomba utilizada para la experimentación es una bomba centrífuga de 2HP con una capacidad máxima de 100 lpm. Todos los elementos del circuito se encuentran conectados mediante tubería PVC y mangueras de alta presión para producir la recirculación del flujo.

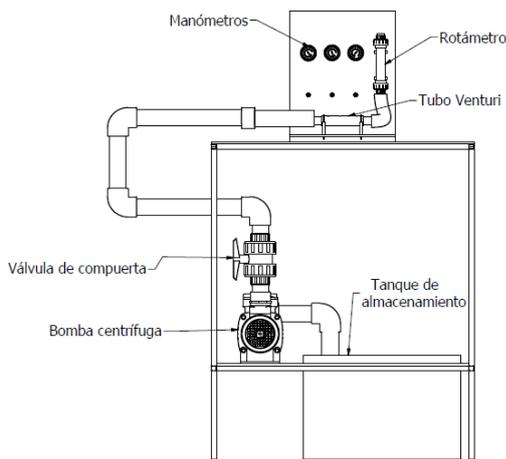


Fig. 1. Banco de pruebas para cavitación hidrodinámica

### A. Diseño del tubo Venturi

Los Venturis son dispositivos que tienen el papel principal del control del caudal másico. El tubo convergente es un dispositivo eficaz para convertir la cabeza de presión en velocidad, mientras que el tubo divergente convierte la cabeza de velocidad a la cabeza de presión [6].

El tubo Venturi está hecho de polimetilmetacrilato, que es más conocido como perspex o acrílico. La propiedad más importante de este material es la alta transmisión de luz, que brinda la capacidad de acceso óptico a la dinámica de cavitación. Según la investigación realizada por Arrojo et al. (2005), presenta que los mejores ángulos de divergencia para que un tubo Venturi tenga un cambio de presión adecuado son los ángulos entre  $10^0$  y  $30^0$ . Para nuestro diseño se optó por el ángulo de  $20^0$  que presenta el mejor cambio de presión.

### B. Procedimiento del experimento de desinfección de agua residual

El río Santa Clara presenta un mal olor, aguas grises y mala apariencia por la cantidad de desechos eliminados al río a causa de los hogares aledaños al sector, como indica la Fig. 2. Por este motivo este río presenta las condiciones de contaminación adecuada para el tratamiento.



Fig. 2. Mala apariencia del Río Santa Clara.

El procedimiento se lleva a cabo inmediatamente después de recolectada el agua, sin dejar pasar más de 30 minutos en su transporte y colocación en el equipo de cavitación. Se contó con frascos esterilizados para la toma de muestras, realizando la primera toma antes de arrancar el equipo. Posteriormente se enciende la bomba y se programa a una medición de caudal y presión fija, lo que viene asociado con una intensidad de cavitación, dejándolo en marcha durante 65 minutos.

Para el análisis de bacterias se preparó el medio de cultivo

para el crecimiento de las bacterias con “Standard Methods Agar”, el cual se repartió en 21 cajas Petri esterilizadas. Con el uso de una micropipeta se tomó 10 microlitros de cada muestra repartiendo uniformemente en cada medio; realizando 2 cultivos para cada tiempo y poder analizar los datos que se van a obtener.

Una vez finalizado el procedimiento de cultivo, se sella las cajas con parafilm y se las coloca en la incubadora a  $37^{\circ}$  C, proporcionando las condiciones propicias para el crecimiento de las bacterias. Al cabo de  $15 \pm 3$  horas se procedió a observar los cultivos y contabilizar el número de unidades formadoras de colonias (UFC) que se han producido.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Porcentaje de desinfección en función del tiempo utilizando cavitación hidrodinámica.

Se estudió la aplicación de desinfección de agua con la finalidad de caracterizar el fenómeno de cavitación verificando su efectividad para destruir bacterias y buscando relacionar la intensidad de la cavitación como función bactericida. Para esto, se realizó dos experimentos independientes, a distintas presiones de descarga, 2 bar y 3 bar. El efecto de la presión (asociada a la intensidad de cavitación) sobre la desinfección con cavitación hidrodinámica es mostrado en la Fig. 3 la cual muestra el porcentaje de desinfección versus el tiempo de tratamiento.

Dado que la concentración inicial de bacterias era diferente para cada experimento se decidió representar el porcentaje aniquilado de la población de bacterias y no el número de unidades formadoras de colonias como variable de visualización.

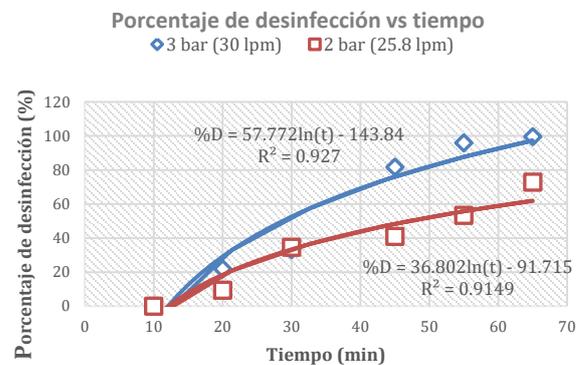


Fig. 3. Porcentaje de desinfección usando cavitación hidrodinámica.

En base a los resultados obtenidos se puede realizar las siguientes observaciones.

Luego de tratar el agua durante el mismo tiempo a distintas presiones de descarga se evidencia que cuando la presión de descarga aumenta, el grado de eficiencia de desinfección también aumenta. Así, la Fig. 3 muestra que transcurrieron 65 minutos para disminuir el recuento en un 72.8% a 2 bar, mientras que para el mismo tiempo se alcanzó una disminución del 99.5% trabajando el sistema a una presión de descarga de 3 bar. Por tanto, se puede decir que, para lograr un cierto nivel de desinfección, el tiempo requerido será menor cuando se opere con presiones más altas.

Al aumentar la presión de descarga, la caída de presión en la garganta es mayor, lo que provoca una mayor duración en cada ciclo de cavitación de 0.00267 segundos para 2 bar y 0.00303 segundos para 3 bar, logrando que las cavidades crezcan más. Las mismas que posteriormente generarán un mayor trabajo de compresión y producirán un colapso más violento, liberando mayor cantidad de energía [6].

#### B. Proceso de Tinción Gram realizado a las bacterias.

Al observar los resultados del proceso de la tinción de Gram realizado al agua antes de someterla al tratamiento como indica la Fig. 4 (izquierda) se puede evidenciar una gran presencia de bacterias Gram negativas (color rosa) y Gram positivas (color púrpura) con distintas formas como cocos, bacilos, y espirilos. Comparando con la tinción de Gram realizada a las colonias sobrevivientes después del proceso de desinfección presentado en la Fig. 4 (derecha), se evidencia la presencia de bacterias Gram positivas únicamente, las cuales son más resistentes por poseer una pared celular de peptidoglucano más gruesa. Por lo que, la desinfección con cavitación no es totalmente efectiva contra bacterias Gram positivas.

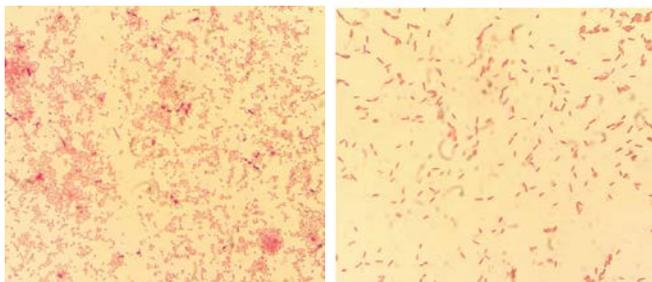


Fig. 4. Tinción de Gram para la población inicial y final de bacterias respectivamente.

Al realizar el recuento del resultado final en el tratamiento con 2 bar de presión se presentó una gran cantidad de UFC de dimensiones muy pequeñas pero perceptibles a simple vista, lo cual imposibilitó el conteo y mostró un comportamiento fuera de la tendencia. A estas colonias se les realizó una tinción de Gram que se muestra en la Fig. 5, en la cual se observó la presencia de endosporas probablemente desarrolladas por las bacterias durante el tratamiento, al encontrarse en una situación de estrés y sentirse amenazadas por los efectos de la presión, temperatura, radicales y demás mecanismos de destrucción presentes en la cavitación.

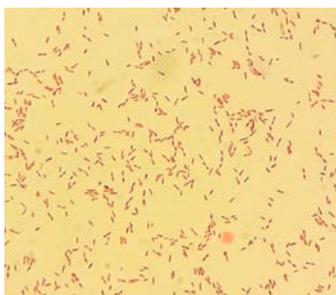


Fig. 5. Esporangios teñidos de mayor intensidad en su interior por la presencia de endosporas.

#### C. Métodos de eliminación de bacterias.

El mecanismo de desinfección de bacterias usando

cavitación hidrodinámica es una combinación de efecto mecánico, efecto químico y efecto de calor [8].

El efecto mecánico en la alteración de las células bacteriana tiene varios mecanismos mediante la formación de remolinos, vórtices y flujos reentrantes a diferentes escalas de tamaño. Estos fenómenos producen una diferencia de presión en las paredes de las células. Cuando esto excede la resistencia de la pared celular, la célula se rompe [8]. Los efectos mecánicos fueron observados a través de una cámara de alta velocidad como indica la Fig. 6 donde se presenta un ciclo de las cavidades que se puede resumir por lo siguiente: inicio de la cavitación, desarrollo de las cavidades, desprendimiento con advección y un colapso total aguas abajo generando puntos calientes localizados (condición de temperatura y presión muy altas localmente) [11].

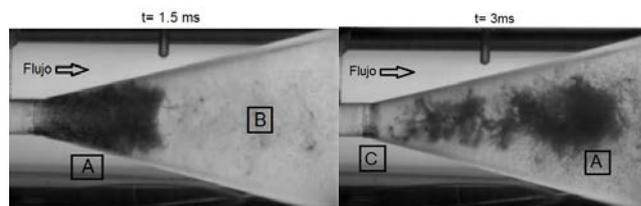


Fig. 6. Ciclo de las cavidades en cavitación hidrodinámica.

El efecto químico incluye el ataque del radical hidroxilo (OH) y la disrupción física de las membranas celulares. Según Medina et al. (2008) el radical hidroxilo OH es altamente reactivo y muy tóxico para los microorganismos, repercutiendo de manera irremediable en la cadena de ADN [12].

#### D. Eficiencia energética

Con la finalidad de verificar la viabilidad económica del proceso de cavitación, se calcula la tasa de consumo de energía para un grado específico de desinfección. Este método se basa únicamente en el consumo de energía eléctrica, como indica la Tabla I.

Tiempo del tratamiento:	65 minutos (3900 s)
Volumen utilizado:	15000 [ml]
Consumo eléctrico:	714 [W]
UFC/ml inicial:	19600
Al cabo de 65 min,	
UFC/ml:	100
UFC eliminadas en 65 min	19500
UFC eliminadas/W de consumo eléctrico:	$\frac{19500 \text{ UFC/ml}}{648 \text{ W}} = 30.1 \frac{\text{UFC/ml}}{\text{W}}$
UFC eliminadas/J de consumo eléctrico:	$30.1 \frac{\text{UFC} \cdot \text{s}}{\text{ml} \cdot \text{J}} \cdot \frac{15000 \text{ ml}}{3900 \text{ s}}$
	$= 115.77 \frac{\text{UFC}}{\text{J}}$

Adicionalmente se calcula el costo de la energía eléctrica que se consumió al aplicar el tratamiento a 15 litros de agua durante los 65 minutos. Usando la tarifa eléctrica industrial en Ecuador de 9,1 centavos el kilovatio hora [5] se obtiene un costo de 7.04 centavos de dólar por el tratamiento a 3 bar

de presión de descarga. Por lo que se evidencia la factibilidad económica de este proceso como desinfectante físico en comparación con la cloración, considerado el método más común para desinfección de bacteria que presenta desventajas peligrosas para la salud humana, incluida la formación de subproductos de desinfección cancerígenos y la aparición de problemas de sabor y olor en el agua procesada [10]. Sin embargo, su uso en Ecuador se debe a que esta técnica es más barata en dos órdenes de magnitud en comparación con el método físico de cavitación descrito en este artículo [2].

#### IV. CONCLUSIONES

La cavitación parece ser una técnica prometedora para la desinfección del agua. Al ser un método no químico, su uso no permite la formación de subproductos tóxicos, como es el caso de los tratamientos químicos que utilizan cloro. Es un proceso energéticamente eficiente y viable, por lo tanto, puede considerarse como una técnica potencial para un esquema de tratamiento de agua a gran escala. Se comprobó la aplicabilidad del fenómeno de cavitación hidrodinámica como un proceso bactericida, al tomar muestras del río Santa Clara y someterlas al tratamiento durante 65 minutos a distintas presiones. Adicionalmente se identificó que para una mayor presión de descarga el proceso mejora su eficiencia; así, para una presión de descarga de 2 bar se alcanzó una desinfección del 72.8%, mientras que para una presión de 3 bar se alcanzó el 99.5% de desinfección. Por otro lado, cabe recalcar que la cavitación no provee una protección residual, por lo que una mínima cantidad de bacterias viables pueden producir un rebrote de población.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa ABAXFEM S.A. por el apoyo financiero e intelectual brindado para esta investigación, de manera especial al Ing. Edgardo Fernández representante de la empresa.

#### REFERENCIAS

- [1] W. Hogendoorn, "Experimental investigation of cavitation regimes in a converging-diverging nozzle", Delft University of Technology, Países Bajos, 2017.
- [2] K. Jyoti y A. Pandit, "Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation", *Biochemical Engineering*, 2001. Available: [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00128-5](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00128-5)
- [3] Y. Benito y S. Arrojo, "Hydrodynamic Cavitation as a low-cost AOP for wastewater treatment", *Water Resources Management III*, pp. 495-503, 2005.
- [4] E. Karamah y I. Sunarko, "Disinfection of bacteria *Escherichia coli* using hydrodynamic cavitation", *International Journal of Technology*, vol. Available: <http://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v5i1.116>, p. 209-216, 2013.
- [5] Tapia, E. (24 de Octubre de 2017). La tarifa de energía eléctrica para industrias se revisa. *El Comercio*.
- [6] J. P. Franc, *The Rayleigh-Plesset equation: a simple and powerful tool to understand various aspects of cavitation*, Francia: University of Grenoble, 2006.
- [7] Niedźwiedzka, A., & Sobieski, W. (2016). Analytical Analysis of cavitating flow in venturi tube on the basis of experimental data. *Technical Sciences*, 215-229
- [8] Save, S.S., Pandit, A.B., Joshi, J.B., 1997. Use of Hydrodynamic Cavitation for Large Scale Microbial Cell Disruption. *Trans IChemE*, Volume 75 Part C
- [9] R.-T. Lilia y M.-N. Jorge, "Bacterial Pollution in River Waters and Gastrointestinal Diseases", *Environmental Research and Public Health*, vol. 14, pp. 1-11, 2017.

- [10] Mezule, L.S., Tsyfansky, V., Yakushevich, Juhna, T., 2009. A Simple Technique for Water Disinfection with Hydrodynamic Cavitation: Effect on Survival of *Escherichia coli*. *Desalination*, Volume 248, pp. 152-159
- [11] Gogate, P., & Pandit, A. (2001). Hydrodynamic cavitation reactors: A state of the art review. *Reviews in Chemical Engineering*, 1-85.
- [12] Medina, L., & Valencia, L. (2008). Evaluación de la eficacia de un desinfectante de alto nivel, a base de peróxido de hidrógeno, empleado en la esterilización de dispositivos e instrumentos hospitalarios. Bogotá.

# Capacidad de carga estática de una viga armada tipo I con soldadura intermitente en la unión alma-patín

Carlos Naranjo-Guatemala, Xavier Nicolalde-Espinosa, María Alcívar-Vaca  
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
carnaranjo@espe.edu.ec, mjalcivar1@espe.edu.ec, fxnicolalde@espe.edu.ec

**Resumen**—Para optimizar el uso tanto de materiales como de mano de obra empleados en la fabricación de vigas secundarias, se estudia si la variación de porcentaje de soldadura en la unión alma-patín altera la capacidad de carga de la viga. Se diseñaron tres vigas de igual geometría, pero con la variación de que la conexión viga patín tenían un porcentaje de soldadura del 70%, 57% y 37%. Las vigas cumplieron los criterios establecidos en los códigos NEC-SE-AC y AWS D1.1. Las vigas diseñadas fueron simuladas en un software CAE, las vigas construidas se sometieron a un ensayo a flexión bajo las mismas condiciones de carga y apoyos. El valor del esfuerzo normal, esfuerzo cortante y las deflexiones experimentales se compararon con los obtenidos en el modelo computacional y los que establece la formulación teórica. Adicional a esto se efectuó un análisis del costo comparativo de la fabricación de vigas con soldadura intermitente y continua, tomando como parámetros de variación los consumibles de soldadura y la mano de obra.

**Palabras Claves**—Soldadura intermitente, viga armada, flexión, esfuerzos flectores, deflexión

**Abstract**—To optimize the use of both materials and workforce used in manufacturing of secondary beams, it is studied if the variation of percentage of welding in the web-flange union does not alter the load capacity of the element. Beams of the same geometry but with different percentage of seams weld were designed according the standards NEC-SE-AC and AWS D1.1. These beams were simulated in CAD / CAE software. The simulated and constructed beams have a welding percentage of 70%, 57% and 37%. The constructed beams were submitted to a bending test under the same conditions of load and supports, the experimental results were compared with those obtained in the computational and theoretical model, the analysis of stresses and deformation of each beam was performed. In addition to this, a comparative economic analysis of the manufacture of beams with intermittent and continuous welding is presented, taking as parameters of variation the welding consumables and workforce.

**Keywords**—Intermittent welding, reinforced beam, bending, bending efforts, deflection

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos a optimizar en la industria de la construcción es el uso de materiales y mano de obra, a fin de reducir el costo y tiempo de ejecución de un proyecto, así como la afectación al medio ambiente [1].

La distribución teórica de los esfuerzos cortantes en una viga secundaria indica que en la unión del alma con los patines los valores de estos son reducidos, por lo cual se puede inferir que un cordón intermitente puede cumplir satisfactoriamente con la sollicitación de cargas sin afectar la resistencia de la viga [6].

Reza M, (2006) estudio el comportamiento de cordones de filete intermitentes en una unión placa-refuerzo sometido a cargas perpendiculares al cordón. Se hace referencia a la reducción de costos de mano de obra, materiales en la fabricación, así como a la reducción de tensiones residuales y distorsiones al utilizar soldadura intermitente en lugar de continua como método de fabricación; la reducción de tensiones se da debido a que la longitud de la soldadura y la energía de entrada de calor en la soldadura intermitente es menor que en el caso de la soldadura continua. [8]

Sin embargo, el uso de soldadura intermitente puede resultar en una reducción significativa en la capacidad de carga dinámicas si se compara con una soldadura continua [9], por lo que este estudio se limita al análisis de elementos que no se encuentren sometidos a fatiga.

El presente trabajo estudia la unión alma-patín soldada con cordones de filete de varios valores de intermitencia, considerando los valores límites establecidos para soldadura intermitentes en los códigos NEC-SE-AC y AWS D1.1.

El estudio se realizó en tres vigas en los que se midió: esfuerzo normal, esfuerzo cortante y deflexión. Estos resultados fueron comparados con los obtenidos en modelos computacionales y teóricos para verificar su validez.

## II. DISEÑO DE LA VIGA

### A. Diseño Geométrico de la Viga

Requisitos de diseño:

- Viga de sección tipo I compacta.
- El modo de fallo debe ser por flexión.
- La carga crítica será puntual y estará aplicada en la mitad de la viga con un valor de 6 toneladas.
- La soldadura debe ser de filete con una junta en T
- La viga estará simplemente apoyada.
- El material de la viga será acero estructural ASTM A36.
- Una longitud máxima de 3 metros.

Con base al código NEC-SE-AC [7] y la especificación ANSI/AISC 360-10 [2], se obtuvo las medidas de la sección de viga como se muestra en la Fig. 1.

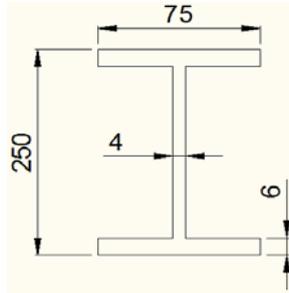


Fig. 1. Sección de la viga.

### B. Especificación del Procedimiento de Soldadura

Se realizó en base a un procedimiento precalificado conforme a lo establecido en el código AWS D1.1 [3] y los parámetros principales del proceso se muestran en la Tabla I. El cordón de soldadura se especificó en un filete de 5 mm de pierna.

TABLA I  
PARÁMETROS PARA EL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Proceso	GMAW
Material de aporte: clase/diámetro (mm)	ER70S-6 / 0.8
Gas de protección	Argón/CO2
Corriente (A)	130 - 160
Voltaje (V)	20 - 22
Velocidad de avance (cm/min)	42 - 46
Velocidad de alimentación (cm/min)	380 - 420

### C. Diseño de la Conexión Soldada - Intermitencia de Soldadura

El párrafo 2.12.2.2 del código AWS D1.1, establece que el espacio máximo entre cordones de soldadura intermitente es de  $E_s = 100$  mm [3]. De todas las posibles combinaciones de cordón e intermitencia, se consideró vigas con cordones de 37%, 57% y 70% de longitud soldada, cuyos valores se detallan en Tabla II.

TABLA II  
DATOS DE LA INTERMITENCIA DE SOLDADURA EN CADA CASO DE ESTUDIO

Espacio entre soldaduras $E_s$ [mm]	Número de espacios #e	Número de cordones #c	Longitud del cordón $L_c$ [mm]	Porcentaje de soldadura [%]
100	9	10	210	70
100	13	14	121	57
100	19	20	55	37

### D. Modelos teóricos de cálculo de vigas.

La teoría de vigas establece los siguientes modelos matemáticos para el cálculo de vigas simplemente apoyadas con carga en el centro de la viga [4], [5].

La deformación máxima:

$$\delta_{max} = \frac{P \cdot L_r^3}{48 \cdot E \cdot I_x} \quad (1)$$

donde  $P$  es la fuerza aplicada,  $E$  es el módulo de elasticidad del material,  $L_r$  es la longitud entre apoyos e  $I_x$  es la inercia respecto al eje mayor

El esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{P \cdot Q}{I_x \cdot b} \quad (2)$$

donde  $Q$  es el momento estático de primer orden y  $b$  es el ancho del alma

El esfuerzo normal:

$$\sigma_n = \frac{P \cdot L_r}{4 \cdot Z_x} \quad (3)$$

Donde  $Z_x$  es el módulo plástico de la sección

## III. SIMULACIÓN

Con las condiciones del diseño se simuló en software CAE el comportamiento de las vigas con diferente porcentaje de soldadura. Los valores de deformación máxima, esfuerzo normal y esfuerzo cortante se registraron para su análisis.

En la Fig. 2 se observa que no todos los cordones de soldadura están sometidos a los mismos esfuerzos y deformaciones, presentado los mayores requerimientos los cordones ubicados en la mitad de la viga.

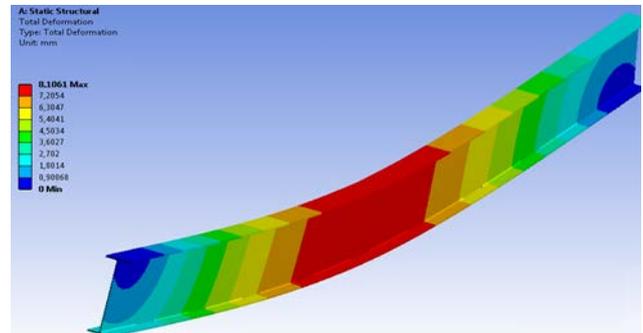


Fig. 2. Deformación total.

## IV. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS REALES

### A. Construcción de las Vigas

Los 3 modelos para experimentar, con 70, 57 y 37 por ciento de cordones de soldadura, se construyeron conforme los diseños a cargo de un soldador experimentado para garantizar el tamaño y longitud de los cordones de soldadura.

### B. Arriostamiento o Apoyos Laterales

Para garantizar que el modo de fallo del elemento sea por flexión y no por pandeo lateral torsional, se diseñó apoyos laterales [6], en base a lo establecido en la norma ANSI/AISC 360-10.

### C. Instrumentación de la Viga.

Para medir la deformación se utilizó galgas extensiométricas de tipo lineal con una resistencia de 120 Ohmios y una tolerancia de  $\pm 0.35\%$ , ubicadas en la mitad de la viga a unos 5 milímetros por encima del cordón inferior.

La deformación se midió con un comparador de reloj analógico de resolución 0.01 mm, el cual se ubicó en el punto medio de la viga.

Los desplazamientos laterales se midieron con calibrador pie de rey de 150 mm con resolución de 0.02 mm, en la Fig. 3 se muestra la ubicación de los puntos de medición.

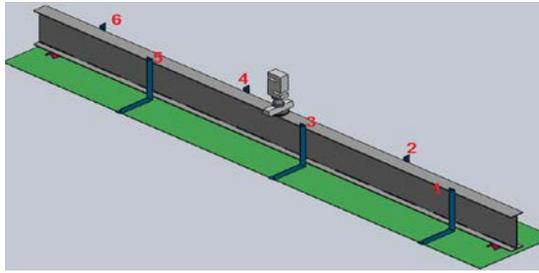


Fig. 3. Numeración de los apoyos.

#### D. Ensayo de Flexión

Las vigas se ensayaron conforme se visualiza en la Fig. 4. Durante el ensayo se midió la deformación unitaria, deformación máxima y desplazamiento lateral de la viga con respecto a los apoyos.



Fig. 4. Ensayo a flexión.

### V. RESULTADOS

#### A. Modelo Teórico

Los resultados teóricos para cualquier viga de la misma geometría y material son iguales independientemente de la intermitencia de los cordones de soldadura y son:  $\sigma_n = 248.11$  MPa,  $\tau = 22.55$  MPa y  $\delta = 7.28$  mm.

#### B. Simulación con CAE

En la Tabla III se muestra los resultados obtenidos con el modelo de simulación con el software CAE, de las tres vigas.

TABLA III  
RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LAS VIGAS CONSTRUIDAS

	Porcentaje de soldadura (%)	Deflexión Máxima ( $\delta$ ) [mm]	Esfuerzo Normal Máximo ( $\sigma_n$ ) [MPa]	Esfuerzo Cortante Alma-Patín ( $\tau$ ) [MPa]
viga 1	37	8,18	265,27	24,35
viga 2	57	8,14	263,81	24,02
viga 3	70	8,11	263,64	24,78

#### C. Modelo Experimental

La Tabla IV presenta la deflexión y la deformación unitaria medida, valores con los que se calcula los esfuerzos normales y cortantes que fueron calculados a partir de la deformación unitaria de cada viga cuando eran sometidas a la carga máxima de 6000 kg.

TABLA IV  
RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA EXPERIMENTACIÓN

	Porcen. de soldad. (%)	Deflex. Máxima ( $\delta$ ) [mm]	Deform. Unitaria $\epsilon$ [ $\times 10^{-6}$ ]	Esfuerzo Normal Máximo ( $\sigma_n$ ) [MPa]	Esfuerzo Cortante Alma-Patín ( $\tau$ ) [MPa]
viga 1	37	8,39	1223	256,83	23,42
viga 2	57	8,29	1193	250,53	22,85
viga 3	70	7,81	1195	250,95	22,89

### VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### A. Comparación de Resultados entre Modelo Teórico, Experimental y Computacional

La Tabla VI muestra las variaciones de los resultados entre los modelos utilizados.

Se observa en la Tabla V que la variación de los resultados de la simulación CAE respecto a los resultados obtenidos experimentalmente están por debajo del 10% tanto en los esfuerzos como en la deformación.

TABLA V  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES VS TEÓRICOS

Nº DE VIGA	VARIACIÓN EXP - TEO			VARIACIÓN SIM. CAE - TEO			VARIACIÓN EXP - SIM. CAE		
	$\delta$ (%)	$s_n$ (%)	t (%)	$\delta$ (%)	$s_n$ (%)	t (%)	$\delta$ (%)	$s_n$ %	t %
1	15,2	3,5	3,8	12,4	6,5	9,9	2,5	3,2	5,8
2	13,8	0,98	1,3	11,7	6,0	6,5	1,8	5,0	5,1
3	7,2	1,1	1,5	11,4	5,9	8,0	3,8	4,8	6,4

Comparando los valores experimentales con los teóricos, los valores de esfuerzos están bajo el 10%, sin embargo, la deformación sobrepasa este límite. Se puede utilizar un factor de corrección para reducir esta variación. Este factor de corrección ( $f_c$ ) será el promedio de las razones entre los valores experimentales y teóricos de las tres vigas obteniendo como resultado  $f_c=1.12$ .

#### B. Análisis Económico

En la Tabla VI se presentan los costos de fabricación de vigas completamente soldadas y las vigas ensayadas que tienen un porcentaje de soldadura de 37%, 57% y 70 %.

En el costo de fabricación solo se consideró como un valor de variación los costos de mano de obra y consumibles de soldadura (electrodo y gas de protección), los otros costos se consideran independientes del porcentaje de soldadura.

TABLA VI  
COSTOS DE FABRICACIÓN DE LAS VIGAS

Porcentaje de soldadura	100%	70%	57%	37%
Mano de Obra (USD)	25,51	24,96	26,54	28,40
Electrodo ER70S-6 (USD)	8,33	5,83	4,71	3,08
Gas de protección Ar+CO2 (USD)	5,18	3,62	2,92	1,92
<b>COSTO TOTAL (USD)</b>	<b>39,02</b>	<b>34,41</b>	<b>34,17</b>	<b>33,40</b>

Los costos totales de la Tabla anterior son para vigas de 3 metros de longitud, para realizar un mejor análisis se presentan los costos por metro de viga en la Tabla VII.

TABLA VII  
COSTOS DE FABRICACIÓN DE LAS VIGAS POR METRO

Número de Viga	Costo total por metro (USD/m)
Viga soldada (100%)	13,01
Viga 3 (70%)	11,47
Viga 2 (57%)	11,39
Viga 1 (37%)	11,13

Si se realiza soldadura intermitente se obtiene una variación de entre el 13% y el 15% en los costos de fabricación respecto a una viga completamente soldada.

## VII. CONCLUSIONES

Al comparar los valores del esfuerzo normal, esfuerzo cortante y deformación entre los modelos experimental y teórico existe una variación del 3,51%, 3,86% y 15,25% respectivamente, se concluye que el modelo teórico predice acertadamente los valores de los esfuerzos, sin embargo, sería de aplicar un factor de corrección para la deformación. El valor se calculó en 1,12 que corrige la variación disminuyéndola al 4,35%. Dado que el esfuerzo normal, el esfuerzo cortante y la deformación tienen una relación inversamente proporcional al porcentaje de soldadura en la unión alma-patín mismas que presentan variaciones del 2,28% en el esfuerzo normal, 9,06% en el esfuerzo cortante y 1,59% en la deformación, se establece que la variación en la longitud de los cordones de soldadura que unen alma y patín en una viga secundaria tipo I, no provoca una afectación significativa a la capacidad de carga y rigidez de la viga al ser sometida a cargas estáticas. Las vigas fabricadas con cordón de soldadura intermitente en comparación con las de cordón continuo presentaron una disminución en costo de consumibles para soldadura y mano de obra de 11,83%, 12,45%, 14,44% por cada metro de soldadura en vigas fabricadas con 37%, 57% y 70% de soldadura respectivamente, otros rubros como los costos de material base, montaje, transporte, etc., no fueron tomados en cuenta ya que son iguales para vigas con soldadura continua o intermitente. En vigas secundarias sometidas a carga estática se podría reemplazar una soldadura continua por una intermitente en la unión de sus elementos, ya que, según el estudio realizado, esto no afectara al funcionamiento estructural de la viga.

## REFERENCIAS

- [1] Abarca, L. (Enero de 2016). *TEC| Tecnológico de Costa Rica*. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de TEC| Tecnológico de Costa Rica: <https://www.tec.ac.cr/en/proyectos/optimizacion-recursos-materiales-mano-obra-educaciones>
- [2] ANSI/AISC. (2010). *Especificaciones ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. Santiago de Chile: Asociación latinoamericana del Acero.
- [3] ANSI/AWS. (2002). *AWS D1.1 CÓDIGO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL-ACERO (Español)*.
- [4] Bresler, B., Lin, T., & Scalzi, J. (1990). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: LIMUSA.
- [5] Budynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- [6] McCormac, J. C. (2013). *Diseño de Estructuras Metálicas*. México DF: Alfaomega.
- [7] NEC-SE-AC. (2014). *Código Ecuatoriano de la Construcción Estructuras de acero*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- [8] Reza, M., Rastani, M., & Ghavami, K. (2006). Numerical study on the permissible gap of intermittent fillet welds of longitudinally

- stiffened plates under in plane axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 1415-1428.
- [9] Toyoda, M., & Mochizuki, M. (2004). Control of mechanical properties in structural steel welds by numerical simulation of coupling among temperature, microstructure, and macro-mechanics. *Science and Technology of Advanced Materials*, 255-266.

# Usos de la Sangre de drago (*Croton Lechleri Müll*) en apósitos para heridas crónicas obtenidos mediante la técnica de Electrospinning

Gabriel Melo<sup>a</sup>, Nathaly Villacís<sup>a</sup>, Karla Vizuete<sup>b</sup>, Carlos Arroyo<sup>b</sup>, Christian Narváez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

<sup>b</sup> Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

jgmelo@espe.edu.ec, cnvillacis@espe.edu.ec, ksvizuete@espe.edu.ec, ccarroyo@espe.edu.ec, cpnarvaez1@espe.edu.ec

**Resumen**—El presente estudio tiene como principal objetivo dar uso a un material ancestral poco usado como es la sangre de drago (*Croton Lechleri Müll*), tecnificándolo por primera vez a través de un proceso tecnológico como el electrospinning para la obtención de fibras y partículas a escalas nano y micrométricas proyectándolas a posteriores aplicaciones en apósitos bioactivos para heridas crónicas, que aprovechen las propiedades curativas (antibacteriales, cicatrizantes, antibióticas, antioxidantes, etc.) de la savia y las características morfológicas de las estructuras propias de la técnica. Se consideraron varias concentraciones de sangre de drago en diferentes soluciones poliméricas base, siendo principal la solución de fibroína de seda aprovechando las propiedades de la seda en aplicaciones de ingeniería de tejidos desarrollando de 4 alternativas de apósito analizadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y finalmente aproximando cual sería la mejor para la aplicación antes definida.

**Palabras Claves**—Apósito, Electrospinning, Sangre de Drago.

**Abstract**—The goal of this study is to use an unused ancestral material such as drago's blood (*Croton Lechleri Müll*), using it for the first time through a technological process such as electrospinning to obtain fibers and particles at scales nano and micrometers projecting them to subsequent applications in bioactive wound dressings, which take advantage of the healing properties (antibacterial, healing, antibiotics, antioxidants, etc.) of the sap and the morphological characteristics of the structures of the technique. Several concentrations of drago blood were considered in different base polymeric solutions, the main one being the silk fibroin solution that exploits the properties of silk in tissue engineering applications of 4 analysis alternatives analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and finally approximating which would be the best alternative for the previously defined application.

**Keywords**—Wound dressing, Electrospinning, Drago's blood.

## I. INTRODUCCIÓN

Los apósitos o *wound dressing* son elementos que ayudan a evitar la infección y mantener un entorno apropiado que permita la correcta cicatrización de la herida [1], para ello deben contar con ciertas características esenciales como la capacidad hemostática o antihemorrágica, poder antibacteriano, absorción de excesos de líquidos exudados como fluidos de la herida o pus, transmisión apropiada entre agua y vapor, capacidad de ajustarse al contorno de la herida, adhesión funcional al tejido sano, no al herido, indoloro para el paciente y finalmente que pueda removerse con facilidad [2-5]. Lograr estas propiedades es posible con

procesos tecnológicos como el *electrospinning*, proceso utilizado para la formación de fibras a escala nano y micrométrica. Las nanofibras electrohiladas cuentan con una serie de propiedades que las fortalecen como materiales para apósitos y vendaje de heridas tales como la facilidad de trabajar con una serie de polímeros biocompatibles, alta permeabilidad al oxígeno, tamaño de poro variable, alta relación de área superficial a volumen, pequeños diámetros de fibra que se asemejan a la matriz extracelular (EM) y al área de superficie grande de una fibra que permite unir las proteínas y los receptores de la membrana celular durante el proceso de cultivo celular. Por lo tanto, son capaces de potenciar la proliferación celular [6]-[9]. En la producción de apósitos según Chen et. al. [10], dependiendo de las necesidades del sujeto o paciente son varios los agentes dopantes aplicables a la membrana para mejorar su acción sobre la herida, por ejemplo, si lo que se busca son propiedades homeostáticas se usaría fibrogéno, para propiedades antibacteriales partículas de plata o antibióticos, para propiedades antiinflamatorias caléndula o con factores de crecimiento. Curiosamente dichas propiedades son abarcadas por la sangre de drago, una savia usada ancestralmente para una serie de aplicaciones médicas.

La sangre de drago o *Croton lechleri Müll* es un árbol amazónico de pequeña envergadura común en las laderas andinas orientales de Perú, Colombia, Bolivia y Ecuador. Históricamente su savia se ha utilizado sobre heridas para detener la hemorragia, acelerar el proceso de cicatrización evitando dejar huellas visibles o queloideas, sellar y proteger las lesiones de la infección, secándose rápidamente y generando una barrera de tono rojizo, formando una "segunda piel" [11]. Este componente es usado principalmente para el tratamiento de una serie de patologías [12]-[16]. Su componente activo principal es un elemento llamado *taspina*, alcaloide encargado de la formación del colágeno y por ende la aceleración de la cicatrización, además de ser un excelente antibacteriano y antiséptico [17]-[21]. Vaisberg et al. [22] demostraron que la aplicación tópica diaria de 0,05 ml de una solución al 10% de la savia a heridas cutáneas presentadas por ratones causa un aumento significativo del 31% en la tasa de reparación de la herida, corroborando que el efecto de cicatrización está estrechamente relacionado con la existencia de *taspina* y la convierte en un material biológicamente adecuado para aplicaciones de curación de heridas.

En el siguiente artículo se describen algunas alternativas de apósitos para heridas crónicas en la piel de una solución

polimérica base con sangre de drago obtenida mediante la técnica de electrospinning. En la sección II se presenta los materiales y métodos utilizados en la experimentación, en la sección III se presenta el análisis de resultados y finalmente, las conclusiones relevantes son presentadas en la sección IV.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales y Equipos

Producto del proceso de experimentación y dado que no existen registros de haber usado la savia previamente en electrospinning se usó Sangre de drago orgánica certificada de la Fundación Chankuap en Macas, Ecuador, capullos de seda Bombyx Mori de la empresa Bao Jian Zhen, quitosán sintetizado Chemsavers de pureza 99%, Óxido de polietileno (PEO) de 1000KDa S3 Chemical, Polyvinil alcohol (PVA) de 15KDa LobaChemie, Polyvinil pirrolodona (PVP) de 30KDa LobaChemie y Ácido acético glacial de pureza del 99% del laboratorio J.T. Baker. Además, para la preparación de muestras se usó un agitador magnético Thermo Scientific S130815y una balanza analítica Shimadzu TW423L de apreciación 0.01g.

### B. Protocolo de preparación de muestras

Para mezclar la sangre de drago con una solución polimérica base se utilizó la fórmula de concentración volumen/volumen descrita en (1):

$$X\%_{v/v} = \frac{V_{soluto}}{V_{solución}} = \frac{V_{Sdrago}}{V_{Sdrago} + V_{Soluciónbase}} \quad (1)$$

Usando los instrumentos de laboratorio y el equipo de seguridad adecuados se midió el volumen necesario de solución polimérica base y sangre de drago, colocándolas en un frasco de plástico con un agitador magnético, sellándolo y posteriormente colocándolo en la plancha de agitación donde se agitó durante 10-15 minutos a velocidad constante, corroborando que el sistema de calentamiento esté apagado.

### C. Electrospinning

Una vez preparada la solución se la lleva a la máquina de electrospinning Basic Research Y-Flow, mostrada en la Fig. 1.



Fig. 1. Máquina de electrospinning Basic Research

La solución es colocada en una jeringa convencional de 10mL, posteriormente se la ubica en la bomba de infusión, se conecta tanto el polo negativo al capilar como el positivo al colector previamente preparado y se prende la bomba y la fuente de alto voltaje procurando en la variación de la tensión genere el campo eléctrico necesario para romper la tensión superficial de la solución y generar el cono de Taylor visible en la pantalla que al estabilizarse corrobora la formación de fibras o partículas dependiendo de la solución

polimérica base.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se mezcló sangre de drago con una serie de polímeros sintéticos y biopolímeros teniendo inconvenientes de solubilidad cuando está concentrada al 100%, donde al mezclar la savia con una solución acuosa de Fibroína de Seda + PEO 3%w/v en distintas concentraciones 100%, 50%, 25%, 10% v/v, la solución tendía a formar una mezcla altamente viscosa, no homogénea y grumosa imposible de electrohilar.

Debido a que no es posible generar una mezcla homogénea entre soluciones poliméricas y la sangre de drago, se realizó un estudio experimental de la solubilidad de la savia frente a otros polímeros y solventes. La sangre de drago concentrada o diluida en solventes como agua o etanol únicamente se mezcla con polímeros de bajo peso molecular para la generar fibras (quitosán, PEO) o partículas (PVP).

En primer lugar se realizó un estudio de flujo estacionario de la savia en un reómetro TA-Instruments Discovery HR-2 con una precizalla a velocidad de cizalla constante de 1 rad/s para procurar uniformidad en la solución y posteriormente un ensayo de flujo estacionario a velocidades de cizalla entre 0.01 y 160 [rad/s] para obtener la gráfica que permita definir el tipo de fluido, obteniendo los resultados que se muestran en la Fig. 2. La viscosidad de la sangre de drago fluctúa entre 1,493 [Pa.s] a la velocidad de precizalla y 13,61 [Pa.s] a 160 [rad/s]. Dado que no existe una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la tasa de cizalla y que la viscosidad decrece mientras que el esfuerzo crece frente al aumento de la velocidad de cizalla, se concluye que se trata de un fluido no newtoniano pseudoplástico.

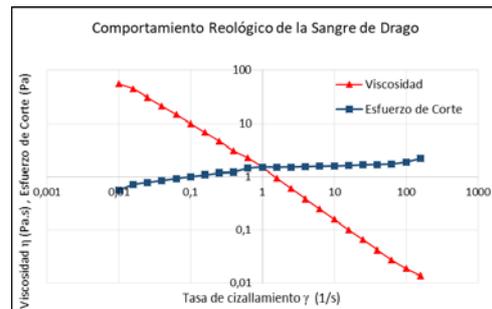


Fig. 2. Comportamiento Reológico de la sangre de drago

Todas las alternativas tienen como solución polimérica base la solución de fibroína de seda con óxido de polietileno al 3%w/v. La fibroína de seda es un biopolímero ampliamente usado como biomaterial en el campo biomédico, especialmente en ingeniería de tejidos y en medicina regenerativa, dado que facilita la adhesión de las células, estimula su crecimiento y permite la diferenciación, además, es biocompatible, resistente y biodegradable en fases controlables, lo que lo convierte en el biomaterial con las mejores características para la producción de apósitos bioactivos. [23,24].

### 1) Membrana de fibroína de seda con sangre de drago

Tras poder mezclar la sangre de drago diluida al 2%v/v en agua con la solución de fibroína de seda, esta se electrohila

obteniendo una membrana manipulable con presencia de beads (collares) con un diámetro medio defibra de 160 [nm] y una desviación estándar relativamente alta de 47,14 [nm] como se muestra en la Fig. 3.

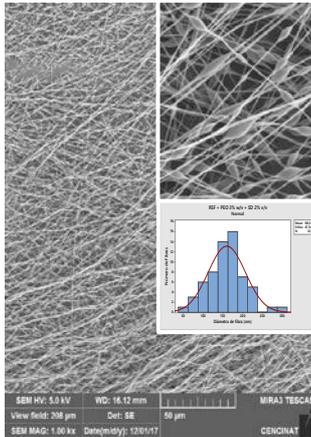


Fig. 3. Membrana de RSF + PEO 3% w/v con s. de drago al 2% v/v

#### 2) Nanopartículas de PVP 30K 10%w/w + SD 20%v/v

Otra de las alternativas dado que fue posible generar partículas con una solución polimérica de PVP fue dopar las membranas obtenidas de RSF + PEO 3% + SD 2% v/v con nano y micropartículas de PVP 30K + SD 20% v/v obteniendo los resultados que se muestran en la Fig. 4, donde es visible la existencia tanto de las fibras como de las partículas en su estructura.

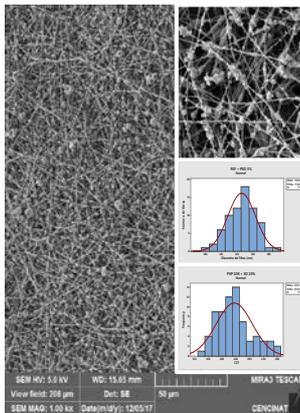


Fig. 4. Fibras de RSF-PEO3% w/v-SD 2% v/v dopadas con nanopartículas de PVP 30K 13% w/w-SD 20% v/v

#### 3) By-layer de RSF + PEO 3%w/v + SD 2% y CS4% en AA 70% + PVA 10% + SD 100%

Otra de las opciones fue realizar un by-layer uniendo una capa de RSF + PEO 3% w/v + SD 2% v/v con una capa de quitosán (CS)4% en AA 70% + PVA 10% + SD 100% aprovechando que la solución de quitosán permitió solubilizar la sangre de drago concentrada al 100%. De esta forma se obtuvieron los resultados mostrados en la Fig. 5, donde se observa las capas de los dos biomateriales usados. La membrana obtenida de la solución de quitosán tiene un espesor mayor dado que el radio de dibujo en el colector es mucho menor al de la fibroína. Por esta razón, a pesar de tener el mismo tiempo de deposición existe una mayor cantidad de fibras de quitosán en relación a las de fibroína de seda.

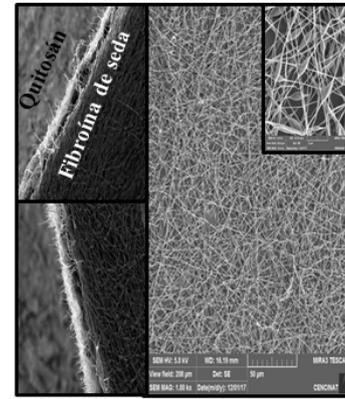


Fig. 5. By-layer de RSF + PEO 3% w/v + SD 2% y CS4% en AA 70% + PVA 10% + SD 100%

#### 4) Atomización de Sangre de Drago concentrada

Una de las alternativas más sencillas es agregar directamente sangre de drago concentrada al 100% mediante un atomizador de uso comercial, pero el inconveniente que se presenta con este método es que la fibroína de seda reconstituida o RSF obtenida de la extracción por protocolo químico al ser electrohilada es soluble al agua y dado que la sangre de drago cuenta con agua en su estructura disuelve la fibroína obteniendo la imagen del microscopio óptico que se muestra en la Fig. 6.



Fig. 6. Sangre de drago atomizada sobre una membrana de RSF + PEO 3% w/v

## IV. CONCLUSIONES

La solubilidad de la sangre de drago presentó problemas a la hora de mezclarla con una serie de soluciones poliméricas, por tal motivo, se experimentó la solubilidad con ciertos polímeros sintéticos y biopolímeros; permitiendo una mezcla uniforme en polímeros de bajo peso molecular como el PVA de 15[KDa] o como el PVP 30[KDa] y generando una solución grumosa y poco uniforme con polímeros como el PEO de 1000[KDa]; esto dio lugar a que la única concentración de sangre de drago que se mezcló uniformemente con la solución de fibroína de seda sea al 2% v/v en agua, concentración relativamente baja frente al uso común que está concentrado al 100% y relativamente alta frente a la solución diluida que se usa en úlceras gástricas que está aproximadamente en 0.06% v/v en agua. Realizadas las 4 alternativas de apósitos, se identificó que la atomización de sangre de drago sobre la membrana de fibroína de seda no es la más adecuada; las otras 3 alternativas resultan adecuadas para la producción de un apósito siempre que se procure antes ensayos biológicos que

analicen el comportamiento de las mismas frente a agentes que impiden la correcta cicatrización de la herida. El uso de nano partículas permite usar la mezcla sobre cualquier apósito pasivo para convertirlo en bioactivo, mientras que la diferencia entre el uso de una membrana y un by-layer radica principalmente en la rigidez del apósito y la concentración de sangre de drago que se puede alcanzar en la estructura final, siendo para el primer caso del 2% v/v mientras que para el segundo caso es posible concentrarla al 100% en la solución de quitosán. De esta forma, la solución más adecuada en base a los estudios realizados es un by-layer de fibroína de seda (material regenerativo) con quitosán (material antibacterial) y la sangre de drago tanto por las propiedades curativas como por las propiedades mecánicas y morfológicas del apósito desarrollado.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto de investigación PIC-16-BENS-002 del programa becas ENSAMBLE de la SENESCYT. Se agradece al Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos y el Laboratorio de Microscopía del Centro de Nanociencia y Nanotecnología la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Del mismo modo, un agradecimiento al Dr. Salvador Aznár Cervantes por su colaboración activa en el desarrollo del estudio.

#### REFERENCIAS

[1] N. Percival, "Classification of wounds and their management," *Surgery (Oxford)*, vol. 20, n° 5, pp. 114-117, 2002.

[2] J. Venugopal, L. Ma y S. Ramakrishna, "Biocompatible nanofiber matrices for engineering dermal substitute for skin regeneration," *Tissue Engineering*, 2005.

[3] S. R. Bhattarai, N. Bhattarai, H. Yi, P. Hwang, D. Cha y H. Kim, "Novel biodegradable electrospun membrane: scaffold for tissue engineering," *Biomaterials*. 25, pp. 2595-2602, 2004.

[4] P. Zahedi, I. Rezaeian, S. O. Ranaei-Siadat, S. H. Jafari y P. Supaphol, "A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages," *Polymers for Advanced Technologies* 21, pp. 77-95, 2010.

[5] G. T. Lionelli y T. W. Lawrence, "Wound dressings," *Surg. Clin. North Am.* 83, p. 617, 2003.

[6] L. A. Smith y P. X. Ma, "Nano-fibrous scaffolds for tissue engineering," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 39, pp. 125-131, 2004.

[7] Y. Zhou, D. Yang, X. Chen, Q. Xu, F. Lu y J. Nie, "Electrospun water-soluble carboxyethyl chitosan/poly(vinyl alcohol) nanofibrous membrane as potential wound dressing for skin regeneration," *Biomacromolecules*, vol. 9, pp. 349-354, 2006.

[8] M. S. Khil, D. Cha, H. Kim, I. Kim y N. Bhattari, «Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing,» *Biomed. Res.* 67B, pp. 675-679, 2003.

[9] X. Xu, J. Zhang y Y. Fan, *Biomacromolecules*, pp. 2283-2289, 2010.

[10] S. Chen, L. Bing, M. Carlson, A. Gombart, D. Reilly y J. Xie, "Recent advances in electrospun nanofibers for wound healing Review," *Nanomedicine*, pp. 107-115, 2017.

[11] D. Gupta, B. Bleakley y R. K. Gupta, "Dragon's blood: Botany, chemistry and therapeutic uses," *Journal of Ethnopharmacology*, 115, p. 361-380, 2008.

[12] T. Cerutti, "Plantas Medicinales Cultivo, importancia y formas de uso," *EsSalud - IMET Iquitos.*, pp. 72-73, 2000.

[13] A. J. Marcelo, C. Calderon, D. Medina, M. Valencia, M. Pariona y M. Meza, *Desarrollando Nuestra Diversidad Biocultural "Sangre de grado" y el Reto de su Producción Sustentable en el Perú*, Lima: Gráficos S.R. Ltd, 1999.

[14] G. Persinos-Perdue, R. N. Blomster, D. A. Blake y N. R. Farnsworth, "South American Plants II: Taspine isolation and anti-inflammatory activity," *J. Pharm. Sci.* 68, pp. 124-126, 1979.

[15] A. Domínguez, *Fitoquímica y Caracterización del alcaloide, USA: Editorial WHO*, 1985.

[16] Z. P. Chen, "Studies on the anti-tumour, anti-bacterial and wound-healing properties of dragon's blood," *Planta Med.* 1994.

[17] J. Lobardo, *Diccionario Médico, España: Ediciones Doyna*. Pág. 400, 1994.

[18] A. Herforth, "Antifungal plants of the Peruvian Amazon: A Survey of ethnomedicinal uses and biological activity," *Cornell University USA: Honors Thesis*, 2002.

[19] A. Vaisber y J. Millan, *Taspine in the Cicatrizant Principle in Sangre de Grado Extracte from (Croton lechlerii)*, Córdoba. Argentina: Plantas M.C Vol. 5, 1989.

[20] S. N. Elliot, A. Buret, W. McKnight, M. Miller y J. L. Wallace, "Bacteria rapidly colonize and delay the healing of gastric ulcers in rats," *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* 275, pp. 424-432, 1998.

[21] B. H. Porras-Reyes, W. H. Lewis, J. Roman, L. Simchowicz y T. A. Mustoe, "Enhancement of wound healing by the alkaloid taspine defining mechanism of action," *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 203, pp. 18-25, 1993.

[22] P. Allaica Tenesaca, *Comparación del efecto cicatrizante de tinturas elaboradas a base de guarango (caesalpinia spinosa) y sangre de drago (croton lechleri) aplicados en ratones (mus musculus)*, Riobamba: Tesis, 2015.

[23] M. Calafat, G. Guinea, J. Rigueiro y G. Plaza, "Usos médicos de la seda," *Investigación y Ciencia*, pp. 28-35, 2011.

[24] U. Kim, J. Park, H. Kim, M. Wada y D. Kaplan, "Three dimensional aqueous-derived biomaterial scaffolds from silk fibroin," *Biomaterials*. 26, pp. 2775-2785, 2005.

# Estrategia de mecanizado óptima en operaciones de fresado 3D en superficies inclinadas, con alta velocidad de corte (HSM) en el aluminio 7075 T6

Xavier Vaca, Borys Culqui  
Centro de Posgrados, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
xvaca@ups.edu.ec, bhculqui@espe.edu.ec

**Resumen**—En el presente proyecto de investigación, se ha seleccionado cuatro tipos de estrategias de fresado 3D de acabado para el mecanizado en superficies inclinadas, el material de trabajo es aleación de aluminio 7075 T6 y se analizó la calidad superficial a través de la medición de la rugosidad. En los ensayos se varía la velocidad de corte y se mantiene constante los parámetros de corte como velocidad de avance, profundidad de corte, paso y velocidad del husillo conforme al recomendado por el fabricante de la fresa punta redonda. La velocidad de corte varía a lo largo del filo de la herramienta esférica. Se realizó un diseño CAD con ocho pendientes, de 35° a 87,5° en intervalos de 7,5°. Se utilizó una metodología experimental, donde se combinó todas las variables, por lo tanto las ocho superficies fueron mecanizadas en seco y evaluadas por cada estrategia. Se realizó un análisis de resultados y se encontró que la estrategia que presenta menor rugosidad superficial es la de paralelo con trayectoria en descenso (PD), con un rango de velocidad de corte efectiva de 260 a 422 m/min y se obtuvo una rugosidad Ra promedio de 0,295  $\mu\text{m}$ .

**Palabras Claves**—Estrategias de mecanizado, Mecanizado de alta velocidad HSM, Rugosidad superficial, trayectoria en descenso.

**Abstract**—This research project establishes four different strategies of 3D end milling for inclined surfaces. The workpiece material used in the project was aluminum alloy 7075 T6. The aim of the project analyzes the surface quality of the product in each strategy. The process has fixed four parameters: feed speed, depth of cut, width of cut and spindle speed according to the tool manufacturer. A ball nose end mills was use in the process. The cutting speed varies along the edge of the spherical tool. The CAD design has eight steps between 35° to 87,5° in gaps of 7,5°. The experimental methodology was applied. The eight surfaces were dry machined and evaluated by each strategy. An analysis of results was carried out and it was found that the strategy that presents the lowest surface roughness is that of parallel with a downward trajectory (PD), with an effective cutting speed range of 260 to 422 m/min and a roughness Ra was obtained. average of 0.295  $\mu\text{m}$ .

**Keywords**— Strategies of machining, High speed machining HSM, Surface roughness, downward milling

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de investigaciones y experimentos en operaciones de mecanizado en aleaciones de aluminio 7075 T6, tiene un gran interés en la industria de moldes y matrices debido a su alta resistencia mecánica y bajo peso [1]. En algunos artículos concernientes con el mecanizado, realizan ensayos con variaciones en los parámetros de corte y mencionan algunos criterios: En un estudio [2], menciona que, para el mecanizado en superficies con inclinaciones, la velocidad de corte varía alrededor del filo de la fresa punta

esférica en el punto de contacto con la superficie y la trayectoria que ésta realiza, ya sea en ascenso o en descenso. Y propone que se obtienen valores de rugosidad pequeños con altas velocidades de corte en este caso 188 m/min.

En cuanto a trayectorias de mecanizado [3], determina, que el fresado con trayectoria en ascenso, presenta mayor estabilidad de corte y menor flexión de la herramienta, sin embargo, no presenta resultados de calidad superficial.

La primera definición de altas velocidades de corte HSM fue propuesta por el Dr. Ing. Carl Salomon en 1931, su argumento se basaba en que la temperatura de corte alcanzaba un pico a una velocidad de corte determinada, en el caso de materiales no ferrosos, la velocidad crítica es de 200 m/min y una temperatura de 900 °C, sin embargo, si se seguía aumentando esta velocidad, la temperatura de corte disminuía [4], ver figura 1, por lo tanto, trabajar con altas velocidades de corte, puede ofrecer varias ventajas con relación al mecanizado con velocidad convencional.

Un estudio presentado en [5], menciona que la velocidad de tiene un efecto dominante en la rugosidad superficial, y que esta disminuye cuando la velocidad de corte aumenta.

El presente proyecto desea apreciar el comportamiento de la rugosidad Ra en superficies inclinadas mecanizadas con altas velocidades de corte, desde 160 a 440 m/min, con cuatro diferentes estrategias de mecanizado y determinar las condiciones de velocidad de corte, trayectoria y dirección de la herramienta, para obtener una mejor calidad superficial.

## II. MÉTODO

### A. Descripción del experimento

El material de las probetas mecanizadas es AA7075 T6. La herramienta para el acabado es una fresa de carburo revestido TiAlN, diámetro 14 mm, 4 filos, marca Izartool. Se utilizó un centro de mecanizado CNC de tres ejes marca EMCO con control Sinumerik. El mecanizado se realizó sin refrigerante.

La velocidad de corte fue de 160 a 440 m/min. Se considera HSM según las curvas del Dr Salomon, expuestas en la Fig 1. Para materiales no ferrosos, la velocidad de corte crítica es 200 m/min y superior a este valor se trabaja con HSM, donde la temperatura de mecanizado empieza a descender a medida que la velocidad de corte aumenta [4].

### B. Modelo CAD

El diseño contiene superficies con diferentes pendientes, en total ocho, en intervalos de 7.5° y son: 35° / 42.5° / 50° / 57.5° / 65° / 72.5° / 80° / 87.5°.

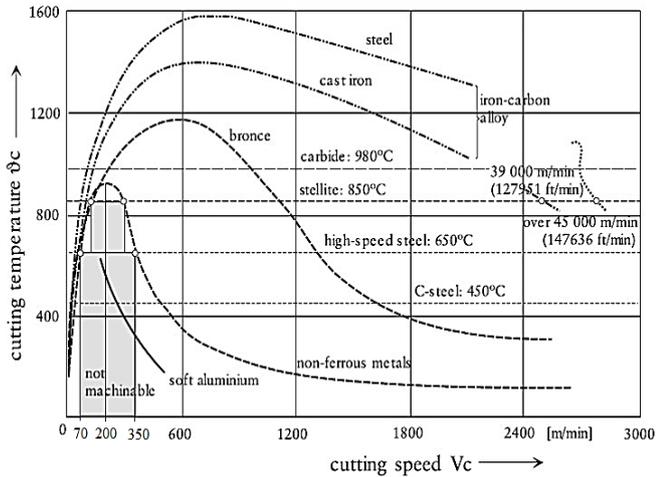


Fig. 1. Curvas de Salomon [4].

### C. Estrategias de mecanizado y trayectorias

La programación se realizó en un software de gama alta, las estrategias 3D que se definieron para el proceso de acabado son: Contorno (z constante) y Paralelo (z no constante), con trayectoria en ascenso y en descenso como se muestra en la Fig. 2.

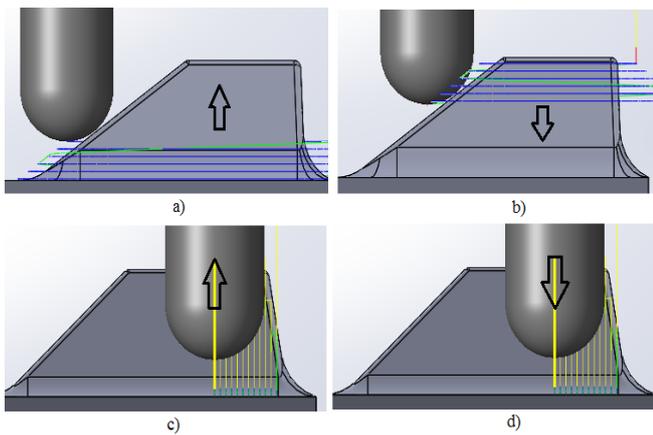


Fig. 2. Estrategias (a) Contorno en ascenso CA, (b) Contorno de descenso CD, (c) Paralelo en ascenso PA, (d) Paralelo en descenso PD.

### D. Parámetros de corte

Los parámetros de corte que se mantienen constantes conforme al recomendado por el fabricante de la fresa en el catálogo [6] son  $Fz = 0.05 \text{ mm/z}$ ,  $V_f = 2000 \text{ mm/min}$ ,  $a_p$  y  $a_e = 0.2 \text{ mm}$ ,  $N = 10000 \text{ RPM}$

La velocidad de corte efectiva ( $V_{Cef}$ ) y el diámetro efectivo ( $D_{ef}$ ) dependen de la pendiente, trayectoria y profundidad de corte  $a_p$ , como muestra la Fig. 3.

El diámetro efectivo en ascenso se obtiene con la expresión proveniente de la referencia [7]:

$$D_{efa} = D \cdot \sin \left[ \alpha + \arcsin \left( \frac{D - 2a_p}{D} \right) \right] \quad (1)$$

La velocidad de corte efectiva se obtiene con la expresión proveniente de la referencia [8]:

$$V_{Cef} = \frac{\pi \cdot N \cdot D_{ef}}{1000} \quad (2)$$

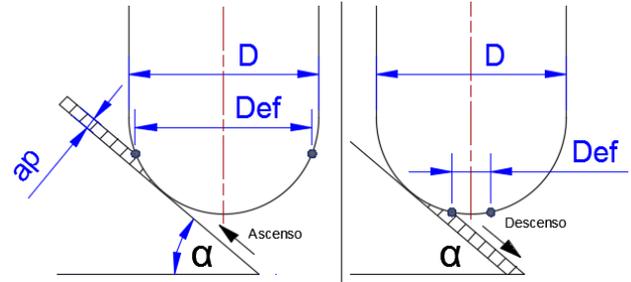


Fig. 3. Relación de la pendiente y diámetro efectivo con a) trayectoria en ascenso, b) trayectoria en descenso.

Con trayectoria en descenso, el diámetro efectivo es menor, se obtiene con la expresión:

$$D_{efd} = D \cdot \sin \left[ \alpha + \arcsin \left( \frac{D - 2a_p}{D} \right) \right] \quad (3)$$

La variación del diámetro efectivo con herramienta de diámetro 14 mm se muestra en la Fig. 4.

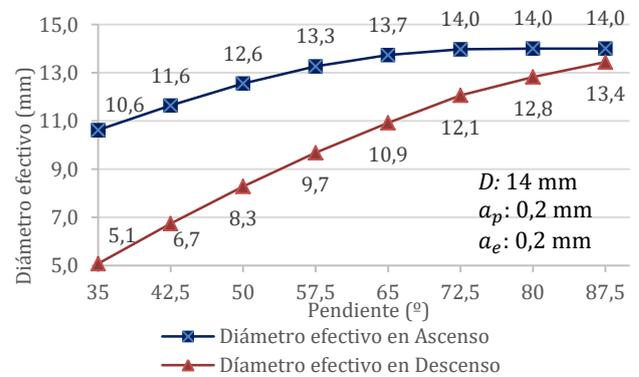


Fig. 4. Relación entre diámetro efectivo y pendiente.

Esto exige a calcular la velocidad de corte en función del diámetro efectivo.

### E. Detalle del experimento.

El experimento tiene un diseño que combina todas las variables, en la tabla 1, se muestra el conjunto de pruebas que se realizaron.

### F. Medición de la rugosidad superficial.

La medición de la rugosidad se realizó en sentido perpendicular al mecanizado con el rugosímetro Mitutoyo SJ210, se realizan treinta y dos experimentos, con tres muestras de cada una, es decir se mecanizan y se miden en total noventa y seis superficies.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de la calidad superficial se realizó a través de la medición de rugosidad en las superficies mecanizadas.

TABLA I  
DETALLE DE EXPERIMENTOS

Velocidad Husillo: 10000 RPM		D: 14 mm			
ap: 0,2 mm		Vf: 2000			
ae: 0,2 mm		F: 0,05 mm/z			
No	Exp.	Estrategia / Trayectori	Pendiente [°]	Def [mm]	Vcef [m/min]
1	CA 1	Contorno / Ascenso (CA)	35	10,6	333
	CA 2		42,5	11,6	365
	CA 3		50	12,6	394
	CA 4		57,5	13,3	416
	CA 5		65	13,7	431
	CA 6		72,5	14,0	439
	CA 7		80	14,0	440
	CA 8		87,5	14,0	440
2	PA 1	Paralelo / Ascenso (PA)	35	10,6	333
	PA 2		42,5	11,6	365
	PA 3		50	12,6	394
	PA 4		57,5	13,3	416
	PA 5		65	13,7	431
	PA 6		72,5	14,0	439
	PA 7		80	14,0	440
	PA 8		87,5	14,0	440
3	CD 1	Contorno / Descenso (CD)	35	5,1	160
	CD 2		42,5	6,7	212
	CD 3		50	8,3	260
	CD 4		57,5	9,7	304
	CD 5		65	10,9	343
	CD 6		72,5	12,1	379
	CD 7		80	12,8	403
	CD 8		87,5	13,4	422
4	PD1	Paralelo / Descenso (PD)	35	5,1	160
	PD2		42,5	6,7	212
	PD3		50	8,3	260
	PD4		57,5	9,7	304
	PD5		65	10,9	343
	PD6		72,5	12,1	379
	PD7		80	12,8	403
	PD8		87,5	13,4	422

### A. Comparación de rugosidad por estrategias

En la Fig. 5 se muestra un diagrama de dispersión con líneas suavizadas de los valores de la rugosidad superficial Ra obtenidos con las estrategias en cada pendiente. La mejor rugosidad promedio entre las cuatro estrategias mecanizadas es la que se obtiene con estrategia de (PD).

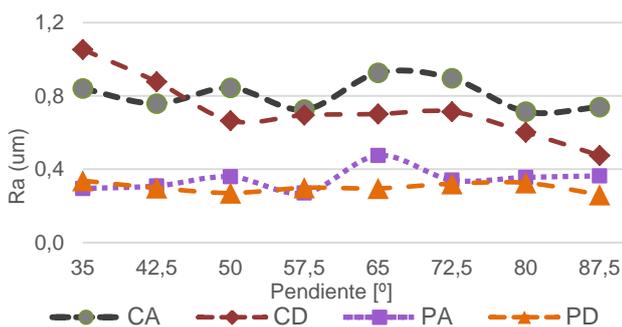


Fig. 5. Comparación de la rugosidad Ra obtenida con las diferentes estrategias en cada pendiente.

### B. Rugosidad promedio Ra, Rq, Rz, Rth

En el proceso de medición de rugosidad superficial, se obtuvo la rugosidad media aritmética Ra, rugosidad media cuadrática Rq y la profundidad media de rugosidad Rz.

La rugosidad teórica o altura de la cresta Rth, se obtuvo con la ecuación número 5 proveniente de la referencia [9], para estrategias de contorno con dirección z constante:

$$R_{th} = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{a_p}{2 \cdot \sin \alpha}\right)^2} \quad (4)$$

donde R es el radio de la herramienta esférica y  $\alpha$  es el ángulo de la pared.

La ecuación 6 para estrategias de paralelo con dirección z no constante:

$$R_{th} = \frac{a_e^2}{8 \cdot R} \quad (5)$$

En la Tabla II se muestra los resultados de la rugosidad superficial promedio Ra, Rq, Rz y Rth con cada estrategia mecanizada.

TABLA II  
RUGOSIDAD SUPERFICIAL PROMEDIO

Estrategia/ Trayectoria	Prom Ra [µm]	Prom Rq [µm]	Prom Rz [µm]	Prom Rth [µm]
CA	0,805	0,969	4,386	1,133
CD	0,723	0,875	3,956	1,133
PA	0,346	0,416	1,682	0,714
PD	0,301	0,364	1,513	0,714

### C. Rugosidad Ra promedio por velocidad de corte

En la Fig. 6, se muestra el comportamiento de la rugosidad promedio con respecto a la velocidad de corte efectiva desde 160 a 440 m/min. La rugosidad disminuye a medida que la velocidad de corte aumenta hasta una velocidad de 260 m/min, a partir de este punto la curva de la rugosidad varía con menor regularidad, hasta que a 422 m/min se obtiene la menor rugosidad.

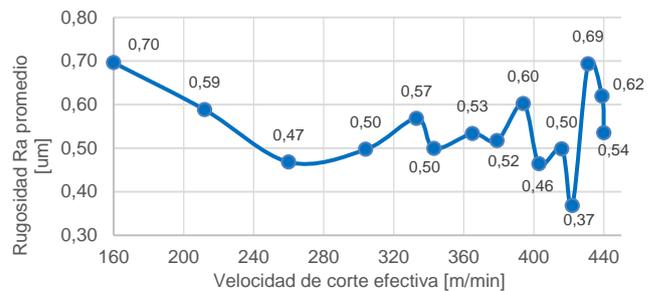


Fig. 6. Velocidad de corte efectiva vs rugosidad.

### D. Análisis de trayectoria

Para estrategias de contorno y paralelo se tiene una rugosidad promedio menor con trayectorias en descenso como se muestra en la Fig. 7.

### E. Análisis de estrategia

La estrategia que obtiene una menor rugosidad es la de paralelo, la rugosidad disminuye en un 57,8 % con relación a la estrategia de contorno, como se ve en la figura 8.

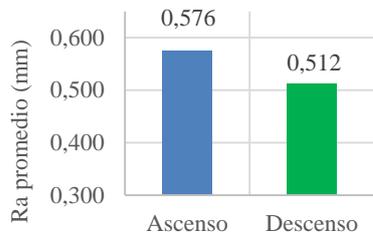


Fig. 7. Trayectoria con menor rugosidad.

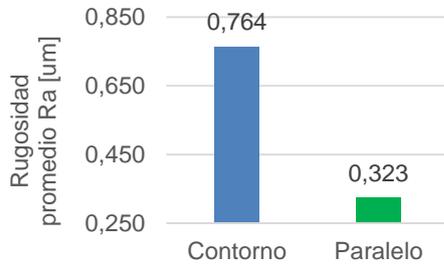


Fig. 8. Estrategia con menor rugosidad.

#### F. Estrategia de mecanizado óptima

En la Tabla III, se muestra los resultados finales del análisis que permiten proponer una estrategia de mecanizado óptima.

Condiciones	Resultado óptimo
Velocidad de corte efectiva	422 [m/min]
Trayectoria	Descenso
Estrategia	Paralelo

La velocidad de corte varía con las pendientes, de modo que, no es posible fijar una velocidad de corte para toda una superficie 3D, por esto se establece un rango de velocidad.

#### G. Resultados del Análisis

En la Tabla IV se muestra los mejores resultados del análisis para cada estrategia, en condiciones que permitan una menor rugosidad superficial.

N	Estrategia Trayectoria	Pendiente [°]	Vcef. [m/min]	Ra prom [ $\mu\text{m}$ ]
1	(CA)	35° a 57,5°	333 a 416	0,791
2	(CD)	50° a 87,5°	260 a 422	0,641
3	(PA)	35° a 57,5°	333 a 416	0,308
4	(PD)	50° a 87,5°	260 a 422	0,295

#### H. Resultados óptimos de cada estrategia.

La Fig. 9 muestra el rango de velocidad de corte óptimo para cada estrategia.

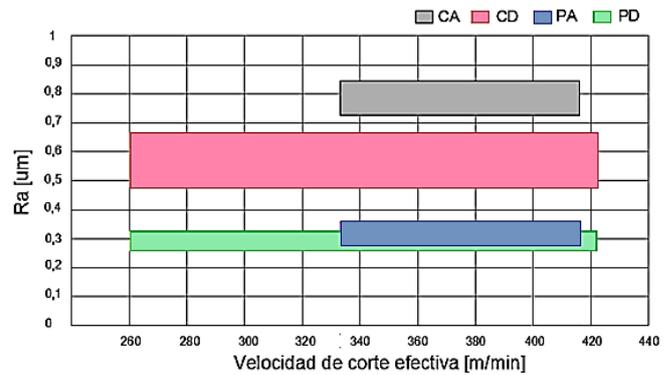


Fig. 9. Rango de velocidad de corte óptimo.

## IV. CONCLUSIONES

Trayectorias en descenso reduce la rugosidad en un 11,1 % con respecto a la que se obtiene con trayectorias en ascenso. Estrategia de paralelo reduce la rugosidad en un 57,8% con respecto a la que se obtiene con estrategia de contorno. La estrategia de mecanizado que muestra una menor rugosidad es la (PD), con un rango de velocidad de corte efectiva entre 260 m/min a 422 m/min, que presenta un valor de rugosidad promedio Ra de 0,295  $\mu\text{m}$  como se mostró en la tabla 4.

## REFERENCIAS

- [1] Ivan Bohman, «Duraluminio para moldes plásticos catálogo,» Ivan Bohman, Quito, 2015.
- [2] Lemes Capla, «Efectos de la variación de sobremedida debido al uso de 2 ½ ejes en la operación de acabado,» Ingeniería Mecánica, vol. 1, pp. 31 - 39, 2008.
- [3] M. Lee a, «The optimal cutter orientation in ball end milling of cantilever-shaped thin plate,» Material Processing Technology, vol. 1, pp. 900 - 906, 2004.
- [4] L. M. López de Lacalle Marcaide, Mecanizado de Alto Rendimiento, 1st ed., Bilbao: Izaro, 2004.
- [5] P. L. & S. B. Pasko, «High speed machining (HSM) – The effective way of modern cutting,» de International Workshop CA Systems And Technologies, Poland, 2002.
- [6] IzarTool, «Catálogo de parámetros de corte de herramientas IzarTool,» IzarTool, España, 2017.
- [7] M. J. Wang, «Residual Stresses Analysis in Ball end Milling of Nickel-Based Superalloy Inconel 718,» Materials Reserch, vol. 20, pp. 1681 - 1689, 2017.
- [8] S. S Kalpakjian S R, [1] S. G. López de Lacalle Marcaide, Lamikiz Menchaca, Mecanizado de Alto Rendimiento, 1st ed. Bilbao: Izaro, 2004., México: Pearson, 2016.
- [9] M. Balázs, «Study of Z-level Finishing Milling Strategy,» Development in machining technology, vol. 2, pp. 83 - 90, 2012.

# Electrospinning de fibras submicrométricas de Fibroína de seda con Sangre de drago (Croton Lechleri Müll) para la producción de apósitos

Jorge Gabriel Melo<sup>a</sup>, Nathaly Villacís<sup>a</sup>, Karla Vizúete<sup>b</sup>, Carlos Arroyo<sup>b</sup>, Christian Narváez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

<sup>b</sup> Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

jgmelo@espe.edu.ec, cnvillacis@espe.edu.ec, ksvizúete@espe.edu.ec, cparvaez1@espe.edu.ec, ccarroyo@espe.edu.ec

**Resumen**—El presente trabajo de investigación hace uso de la técnica de electrospinning. Los biomateriales utilizados fueron fibroína de seda que resalta entre otros biopolímeros por sus excelentes propiedades mecánicas y biológicas dopado con sangre de drago, savia natural con muchas bondades curativas utilizadas ancestralmente por pueblos indígenas de la Amazonía. Tras la extracción del biopolímero y la preparación de la solución acuosa usando óxido de polietileno (PEO) de 1000 [KDa]. Las muestras fueron caracterizadas de las siguientes formas: morfológicamente a través de microscopía SEM (microscopio electrónico de barrido) obteniendo diámetros entre 139,43 - 160 [nm] y mecánicamente en microscopía de fuerza atómica (AFM) obteniendo módulos de Young de 279,9[MPa] sin sangre de drago y 107,1 [MPa] con sangre de drago.

**Palabras Claves**—Apósitos, Electrospinning, Fibroína de Seda, Sangre de drago.

**Abstract**—This research work makes use of the electrospinning technique. The biomaterials used were silk fibroin that stand out among others, biopolymers for their natural mechanical and biological properties, with drago's blood, natural sap with many healing benefits, used ancestrally by indigenous peoples of the Amazon. After the extraction of the biopolymer and the preparation for the production of polyethylene oxide (PEO) of 1000 [KDa]. The samples were characterized in the following ways: morphologically through SEM microscopy (scanning electron microscope) obtaining the parameters between 139.43 - 160 [nm] and mechanically in atomic force microscopy (AFM) obtaining Young's modules of 279.9 [MPa] without drago's blood and 107.1 [MPa] with drago's blood.

**Keywords**— Wound dressings, Electrospinning, Silk Fibroin, Drago's blood.

## I. INTRODUCCIÓN

La técnica de electrospinning permite la formación de fibras poliméricas a escala nano y micrométricas mediante el uso de fuerzas electrostáticas, los mismos que presentan características particulares entre las que resaltan: alta relación área/volumen, flexibilidad, alta porosidad y un rendimiento mecánico relativamente superior comparados con otros tipos de material de características morfológicas similares; así como la posibilidad de combinar las propiedades de varios polímeros para la formación de fibras [1].

Las fibras obtenidas con el tiempo han encontrado cabida en una serie de aplicaciones biomédicas antes desconocidas entre las cuales resaltan: andamios de tejidos [2], apósitos [3]. Los apósitos o wound dressing son elementos que ayudan a evitar la infección y mantener un entorno

apropiado que permita la correcta cicatrización de la herida [4] para ello debe contar con ciertas características esenciales como la capacidad hemostática, que son los mecanismos que detienen las hemorragias, poder antibacteriano, absorción de excesos de líquidos exudados como fluidos de la herida o pus, transmisión apropiada entre agua y vapor, capacidad de ajustarse al contorno de la herida, adhesión funcional, es decir, que se adhiera al tejido sano, no al herido, indoloro para el paciente, capacidad de removerse con facilidad y finalmente que sea de bajo costo [5]-[8], esto fortalecido además por beneficios propios de la técnica como la facilidad de trabajar con una serie de polímeros biocompatibles, alta permeabilidad al oxígeno, tamaño de poro variable, la posibilidad de incorporar una variedad de moléculas bioactivas (fármacos como antimicrobianos, antiinflamatorios) en su estructura [9], [10] los pequeños diámetros de fibra, que se asemejan a la matriz extracelular (EM) y al área de superficie grande de una fibra que permite unir las proteínas y los receptores de la membrana celular durante el proceso de cultivo celular. Por lo tanto, son capaces de potenciar la proliferación celular y la formación de fibroplastos [11]- [13].

La fibroína de seda es el mayor constituyente proteico en los capullos del gusano de seda (alrededor del 72-81%). En la actualidad se usa ampliamente como biomaterial en el campo biomédico, especialmente en ingeniería de tejidos y en medicina regenerativa, dado que facilita la adhesión de las células, estimula su crecimiento y permite la diferenciación, además, es biocompatible, resistente y biodegradable en fases controlables. [14], [15].

Además, presenta una serie de propiedades que la hacen muy interesante como biopolímero: es un material de naturaleza proteica, altamente biocompatible, no presenta rechazo ni respuesta inflamatoria en los tejidos donde se injerta [16]. El rechazo ocasional es producto de la contaminación de la fibroína con sericina generado por errores en el proceso de desgomado [17]. Presenta una gran resistencia mecánica a tracción, junto a una gran flexibilidad, es biodegradable, pero a un ritmo más lento que en otros biopolímeros orgánicos, lo que permite una mejor consolidación de los tejidos. En 2 años se reabsorbe totalmente y no se encuentran rastros de la misma en los tejidos [18]- [21].

Para ser electrohilable la solución acuosa de fibroína de seda es necesaria la mezcla con un polímero de alto peso molecular como el óxido de polietileno (PEO) que le brinde mejores propiedades reológicas, mayor viscosidad y

concentración, parámetros muy importantes en el electrospinning. Para la ingeniería de tejidos dérmicos, la fibroína de seda tiene el potencial de actuar como un sustituto del colágeno, proporcionando soporte estructural y resistencia mecánica al injerto de ingeniería de tejidos [22].

La sangre de drago o croton lechleri Müll. es un árbol amazónico de pequeña envergadura común en las laderas andinas orientales de Perú, Colombia, Bolivia y Ecuador, cuya savia se ha utilizado históricamente sobre heridas para detener la hemorragia, acelerar el proceso de cicatrización evitando dejar huellas visibles o queloideas, sellar y proteger las lesiones de la infección. La savia se seca rápidamente y genera una barrera de tono rojizo, formando una "segunda piel" [23].

Su componente activo principal llamado taspina es un alcaloide encargado de la formación del colágeno y por ende la aceleración de la cicatrización, además de ser un excelente antibacteriano y antiséptico [24]- [28].

En el siguiente artículo se describe tanto el protocolo de preparación de extracción de la fibroína de seda como de la preparación de la solución acuosa, así como los resultados obtenidos de la caracterización de las membranas desarrolladas. En la sección II se presenta los materiales y métodos utilizados en la experimentación, en la sección III se presenta el análisis de resultados y finalmente, las conclusiones más relevantes son presentadas en la sección IV.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales y Equipos

Producto del proceso de experimentación se usó como materiales Sangre de drago orgánica certificada de la Fundación Chankuap de la ciudad de Macas, Ecuador, capullos de seda Bombyx Mori de la empresa Bao Jian Zhen y Óxido de polietileno (PEO) de 1000KDa S3 Chemical, mientras que para la extracción química se usó Carbonato de Sodio pureza del 99% del laboratorio Panreac y Bromuro de litio pureza del 99% del laboratorio S3 Chemical.

Además, para la preparación de las muestras se usó un agitador magnético Thermo Scientific S130815, una plancha de calentamiento y agitación BIPEE, un conductivímetro OHAUS Starter 300C y una balanza analítica Shimadzu TW423L de apreciación 0.01g.

### B. Preparación de la solución acuosa

Dada la complejidad de manejar proteínas de alto peso molecular como la fibroína de seda es necesario la formulación de una solución acuosa reconstituida o regenerada o conocida como RSF (reconstituted silk fibroin) mediante un protocolo químico.

El protocolo químico usado centra su desarrollo en 3 puntos. El *desgomado*, hace uso de una solución salina de carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ ) 0.02M para la eliminación de la sericina, proteína de menor concentración porcentual en el capullo que une las fibras de fibroína, obteniendo finalmente fibroína pura en forma de una gasa o algodón. La *disolución*, se realizó con una solución salina de bromuro de litio(LiBr) 9.3M durante 3 horas hasta que los filamentos de fibroína de seda se disuelvan en una solución de tonalidad ámbar altamente viscosa y conductora, propiedad nociva para el proceso de electrospinning. Por último, se realizó

durante 3 días el proceso de *diálisis* que a través de continuos cambios de agua ultrapura permite realizar un intercambio de iones entre agua y la solución previamente cargada por el LiBr mediante el uso de membranas porosas de diálisis obteniendo finalmente la solución acuosa con adecuada conductividad eléctrica [31] que al mezclar con PEO y Sangre de drago en concentraciones bajas en agua destilada puede ser electrohilada. La solución acuosa de fibroína de seda debe ser almacenada a 4°C por el lapso de 30 días, antes de que esta se degrade por completo y no sea electrohilable.

### C. Electrospinning

Una vez realizada la mezcla de fibroína de seda con PEO, se coloca la solución en una jeringa de 10[mL] y posteriormente en la bomba de inyección, se prepara el plato colector con papel aluminio o gasa, precautelando así la fácil extracción de la membrana al final del proceso y se lo coloca a una distancia entre 12 y 16 [cm] de la punta del capilar. Posteriormente, se conecta el polo positivo de la fuente de alto voltaje en el capilar y el polo negativo en el colector, se setea el caudal entre 0.5 y 1.5[mL/hr] y se aplica un voltaje afín de generar un cono de Taylor estable entre 5 y 10 [kV].

### D. Caracterización

Se realizó el análisis morfológico en un microscopio electrónico de barrido (SEM) del Laboratorio de Microscopia del CENCINAT y el análisis mecánico del módulo de Young en el microscopio AFM MFP-3D de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a problemas de solubilidad con la sangre de drago, que fueron estudiados experimentalmente con una serie de polímeros se llegó a la conclusión de que la savia únicamente genera mezclas uniformes con soluciones de bajo peso molecular, característica ajena a la solución de RSF+PEO. De esta forma fue posible únicamente mezclarlos cuando la sangre está diluida al 2%v/v.

### A. Analisis Morfológico

Se obtuvieron membranas de Fibroína de seda con PEO al 3%w/v con un diámetro medio de 139,43 nm y una desviación estándar de 19,26nm como se muestra en la Fig.1(a); así como membranas de fibroína de seda con PEO al 3%w/v y sangre de drago al 2%v/v como se muestra en la Fig. 1(b). Las dos muestras obtenidas se caracterizan por ser manipulables formadas de fibras continuas con presencia de beads porosos. Los beads porosos y la membrana que cuenta con intersticios son unos de los principales requerimientos en apósitos para acelerar la migración celular y por ende el crecimiento de células epiteliales que regeneren el tejido.

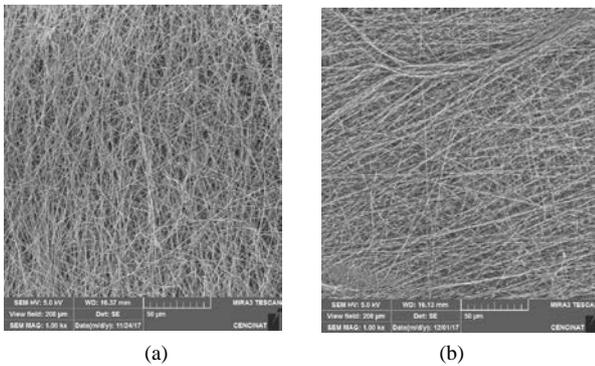


Fig. 1. Membranas de (a) RSF + PEO3%w/v (b)RSF + PEO3%w/v + SD 2%v/v

### B. Análisis Mecánico de módulo de Young

Para la muestra de RSF + PEO 3% w/v se reportó un valor promedio de 279,9 [MPa] con desviación estándar de 167 [MPa]. La Fig. 2 presenta el histograma de frecuencia de los datos.

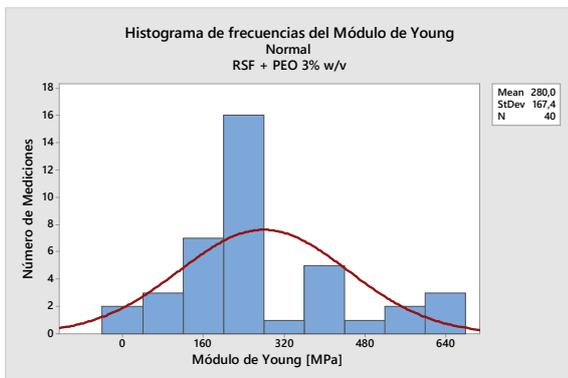


Fig. 2. Histograma de frecuencia del Módulo de Young (RSF + PEO 3% w/v)

Para la muestra de RSF + PEO 3% w/v + SD 2% v/v se reportó un valor promedio de 107,1 [MPa] con desviación estándar de 70,08 [MPa], lo que quiere decir que, aunque la adición de sangre de drago aumenta la viscosidad de la solución acuosa también disminuye el valor del módulo de Young de la membrana obtenida por electrospinning. La Fig. 3 presenta el histograma de frecuencia de los datos.

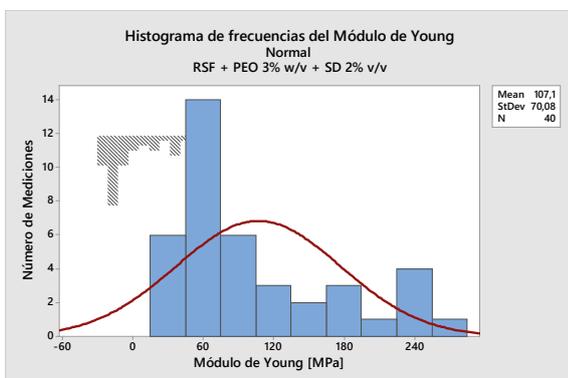


Fig. 3. Histograma de frecuencia del Módulo de Young (RSF + PEO 3% w/v + SD 2% v/v)

En las figuras previamente presentadas se observa que no existe uniformidad en cuanto a los valores obtenidos, siendo la desviación estándar de los valores del Módulo de Young relativamente altos, esto producto del número reducido de

pruebas realizadas dada la complejidad y por ende coste de las mismas, así como de la variación de los diámetros de las fibras cuya desviación estándar también tendía a ser alta.

## IV. CONCLUSIONES

Producto de la caracterización morfológica se obtuvieron las mejores muestras a los siguientes parámetros operacionales de electrospinning: Voltaje: 6-7 [kV], caudal: 1,2-1,4 [mL/h] y distancia entre el colector/capilar: 12 [cm] y parámetros ambientales: Temperatura: 18-19 °C y humedad relativa: 60-63% , tras el análisis mediante microscopía SEM se obtuvieron los siguientes datos, por un lado para la solución RSF + PEO 3% w/v se obtuvo diámetro medio de 139,43[nm] con una desviación estándar de 19,26[nm] siendo esta la mejor muestra en cuanto a morfología, mientras que la solución RSF + PEO 3%w/v + SD2%v/v tuvo un diámetro medio de 160[nm] con una desviación estándar de 47,14,19[nm] con presencia de beads porosos que tenían como diámetro medio de poro 30,19[nm] y desviación de 8,81[nm] siendo las dos membranas manipulables que pueden ser utilizadas como apósitos en heridas tras análisis biológicos. Los datos de Módulo de Young obtenidos de las pruebas realizadas en el Microscopio de Fuerza Atómica AFM muestra que las fibras en base a fibroína de seda RSF + PEO 3% w/v tiene un valor promedio de 279,9 [MPa] con una desviación estándar de 167[MPa], mientras que al agregarle la savia de sangre de drago obteniendo la solución RSF + PEO 3% w/v + SD 2% v/v tiene un valor promedio de 107,1 [MPa] con una desviación estándar de 70,08 [MPa]. Además, se puede concluir que los altos valores de desviación estándar en las pruebas demuestran que es necesario realizar más ensayos con variaciones en los diferentes parámetros, lo que se dificulta por la complejidad técnica del ensayo y el elevado costo de la misma, además de procurar que la desviación estándar del diámetro de las fibras ensayadas no tienda a ser muy elevado, para el caso en particular la desviación para la primera muestra es de 19,26 [nm], mientras que para el segundo caso es de 47,14 [nm] que en escala nanométrica es relativamente alto provocado por la dificultad presentada al trabajar con biopolímeros y el reducido control que se tiene sobre los parámetros ambientales en el proceso de electrospinning. Adicionar sangre de drago a la solución de RSF + PEO 3% w/v a pesar de aumentar la viscosidad de la solución tiende a reducir el módulo de Young de las fibras obtenidas del proceso de electrospinning, aspecto que no cuenta con mucha relevancia para el caso de un apósito donde un parche secundario se caracteriza por su rigidez y resistencia mecánica mientras que el apósito primario como el elaborado, es el que cuenta con los agentes biológicos que aportan a acelerar la cicatrización de la herida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto de investigación PIC-16-BENS-002 del programa becas ENSAMBLE de la SENESCYT. Agradecemos a nuestros colegas del Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos y el Laboratorio de Microscopía del Centro de Nanociencia y Nanotecnología la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Del mismo modo, un agradecimiento al Dr. Salvador

Aznár Cervantes por su colaboración activa en el desarrollo del estudio.

#### REFERENCIAS

- [1] W. Li, E. Cateson, R. Tuan y F. Ko, «Electrospun Nanofibrous Structure a Novel Scaffold for Tissue Engineering.» *J. Biomed. Mater. Res.* pp. 60, 613, 2012.
- [2] L. Niklason, «Engineering of bone grafts.» *Nature Biotechnol.* 18, pp. 929-930, 2000.
- [3] M. S. Khil, D. Cha, H. Kim, I. Kim y N. Bhattari, «Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing.» *Biomed. Res.* 67B, pp. 675-679, 2003.
- [4] N. Percival, «Classification of wounds and their management.» *Surgery (Oxford)*, vol. 20, nº 5, pp. 114-117, 2002.
- [5] J. Venugopal, L. Ma y S. Ramakrishna, «Biocompatible nanofiber matrices for engineering dermal substitute for skin regeneration.» *Tissue Engineering*, 2005.
- [6] S. R. Bhattarai, N. Bhattarai, H. Yi, P. Hwang, D. Cha y H. Kim, «Novel biodegradable electrospun membrane: scaffold for tissue engineering.» *Biomaterials.* 25, pp. 2595-2602, 2004.
- [7] P. Zahedi, I. Rezaeian, S. O. Ranaei-Siadat, S. H. Jafari y P. Supaphol, «A review on wound dressings with an emphasis on electrospun nanofibrous polymeric bandages.» *Polymers for Advanced Technologies* 21, pp. 77-95, 2010.
- [8] G. T. Lionelli y T. W. Lawrence, «Wound dressings.» *Surg. Clin. North Am.* 83, p. 617, 2003.
- [9] J. J. Elsner y M. Zilberman, «Antibiotic-eluting bioresorbable composite fibers for wound healing applications: Microstructure, drug delivery and mechanical properties.» *Acta Biomater.* 5, p. 2872-2883, 2009.
- [10] E. Chevalier, D. Chulia, C. Pouget y M. Viana, «Fabrication of porous substrates: A review of processes using pore forming agents in the biomaterial field.» *J. Pharm. Sci.* p. 1135-1154, 2008.
- [11] X. Xu, J. Zhang y Y. Fan, *Biomacromolecules*, pp. 2283-2289, 2010.
- [12] L. A. Smith y P. X. Ma, «Nano-fibrous scaffolds for tissue engineering.» *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 39, pp. 125-131, 2004.
- [13] Y. Zhou, D. Yang, X. Chen, Q. Xu, F. Lu y J. Nie, «Electrospun water-soluble carboxyethyl chitosan/poly(vinyl alcohol) nanofibrous membrane as potential wound dressing for skin regeneration.» *Biomacromolecules*, vol. 9, pp. 349-354, 2006.
- [14] M. Calafat, G. Guinea, J. Rigueiro y G. Plaza, «Usos médicos de la seda.» *Investigación y Ciencia*, pp. 28-35, 2011.
- [15] U. Kim, J. Park, H. Kim, M. Wada y D. Kaplan, «Three dimensional aqueous-derived biomaterial scaffolds from silk fibroin.» *Biomaterials.* 26, pp. 2775-2785, 2005.
- [16] D. Gaviria y L. C. Caballero, «Uso de biomateriales a partir de la fibroína de la seda de gusano de seda (*Bombyx mori* L.) Para procesos de medicina regenerativa basada en ingeniería de tejidos.» *Rev. Méd. Risaralda*, pp. 38-43, 2015.
- [17] Y. Wong, H. J. Kim, G. Vunjak-Novakovic y D. L. Kaplan, «Stem cell-based tissue engineering with silk biomaterials.» *Biomaterials.* 27, pp. 6064-6082, 2006.
- [18] G. Altman, F. Diaz, C. Jakuba, T. Calabro, R. L. Horan, J. Chen, H. Lu, J. Richmond y D. L. Kaplan, «Silk-based biomaterials.» *Biomaterials*, 2003.
- [19] S. H. Kim, Y. S. Nam, T. S. Lee y W. H. Park, «Silk fibroin nanofiber. Electrospinning, properties, and structure.» *Polym. J.* 35, pp. 185-190, 2003.
- [20] J. Kundu, M. Dewan, S. Ghoshal y S. Kundu, «Mulberry non-engineered silk gland protein vis-à-vis silk cocoon protein engineered by silkworms as biomaterial matrices.» *Mater. Sci. Mater. Med.* 19, p. 2679-2689, 2008.
- [21] S. Kundu, B. Kundu, S. Talukdar, S. Bano, S. Nayak, J. Kundu, B. Mandal, N. Bhardwaj, M. Botlagunta, B. Dash, C. Acharya y A. Ghosh, «Invited review nonmulberry silk biopolymers.» *Biopolymers.* 97, p. 455-467, 2012.
- [22] L. Wray, X. Hu, J. Gallego, I. Georgakoudi, F. Omenetto, D. Schmidt y D. Kaplan, «Effect of processing on silk-based biomaterials: reproducibility and biocompatibility.» *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 99, p. 89-101, 2011.
- [23] D. Gupta, B. Bleakley y R. K. Gupta, «Dragon's blood: Botany, chemistry and therapeutic uses.» *Journal of Ethnopharmacology*, 115, p. 361-380, 2008.
- [24] P. Allaica Tenesaca, Comparación del efecto cicatrizante de tinturas elaboradas a base de guarango (*caesalpinia spinosa*) y sangre de drago (*croton lechleri*) aplicados en ratones (*mus musculus*), Riobamba: Tesis, 2015.
- [25] A. Vaisber y J. Millan, *Taspine in the Cicatrizant Principle in Sangre de Grado Extracte from (Croton lechlerii)*, Córdoba. Argentina: Plantas M.C Vol. 5, 1989.
- [26] J. Lobardo, *Diccionario Médico*, España: Ediciones Doyna. Pág. 400, 1994.
- [27] A. Herforth, *Antifungal plants of the Peruvian Amazon: A Survey of ethnomedicinal uses and biological activity*, Cornell University USA: Honors Thesis, 2002.
- [28] S. N. Elliot, A. Buret, W. McKnight, M. Miller y J. L. Wallace, «Bacteria rapidly colonize and delay the healing of gastric ulcers in rats.» *Am. J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 275, pp. 424-432, 1998.

# Análisis de la reproducibilidad y repetitividad en ensayos reológicos I suspensiones de óxido de silicio y etilenglicol

L.F. Naranjo Herrera<sup>a</sup>, F.J. Rubio Hernández<sup>b</sup>, R. Delgado García<sup>a</sup>, N.M. Páez Flor<sup>ab</sup>, C.N. Villacís Núñez<sup>a</sup>, J.G. Melo Altamirano<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador

<sup>b</sup> Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Málaga, España

lfnaranjo4@espe.edu.ec, fjrubio@uma.es, rrdelgado1@espe.edu.ec, nmpaez@espe.edu.ec, cnvillacis@espe.edu.ec, jgmelo@espe.edu.ec

**Resumen**—El presente estudio tiene como principal objetivo encontrar un protocolo adecuado para la experimentación repetible y reproducible de ensayos reológicos de suspensiones con nanopartículas. Se consideraron mezclas con diferentes concentraciones de óxido de silicio y etilenglicol para el análisis. Se experimentó inicialmente con control de velocidad en una geometría cono – plato, para posteriormente cambiar a control de esfuerzo en una geometría de vanos. Se observó el comportamiento reológico con saltos de escalón en búsqueda de reproducibilidad. También se comparó los resultados obtenidos con y sin aplicación de baño ultrasónico para homogeneización de la suspensión. Finalmente, se compararon las gráficas construidas y se definieron los parámetros adecuados para garantizar reproducibilidad en este tipo de suspensiones.

**Palabras Claves**—Reología, reproducibilidad, suspensión

**Abstract**—The goal of this study is to find an appropriate protocol to develop repeatable and reproducible rheological experimentation of suspensions with nanoparticles. Mixtures with different concentrations of silicon dioxide and ethylene glycol were considered for analysis. Initially, shear rate control and cone plate geometry were used; then, the conditions changed to stress control and vane geometry. The rheological behavior was observed by applying steps in order to find reproducibility. Results with and without ultrasonic bath were also compared. Ultrasonic bath was applied to homogenize the samples. Ultimately, the resulting graphs were compared and the appropriate parameters to guarantee reproducibility in these kinds of suspensions were defined.

**Keywords**— Rheology, reproducibility, suspension

## I. INTRODUCCIÓN

Una suspensión se puede definir como una mezcla heterogénea (microscópicamente, ya que macroscópicamente es homogénea) entre un líquido (fase dispersante) y partículas sólidas no solubles (fase dispersa). Son varios los estudios que han tratado de verificar la relación existente entre la reología de suspensiones y su microestructura [1], [2].

Wei-Guo y Struble [3], estudiaron el comportamiento reológico de la pasta de cemento fresca a través de técnicas de microscopía, concluyendo que, durante el periodo de inducción, el incremento del esfuerzo de fluencia es el resultado de la acumulación de gel entre los granos de cemento, lo que, a su vez, aumenta la fuerza de cohesión entre los granos, infiriendo directamente sobre su viscosidad. Stickel y Powell [4] determinaron que la

descripción de la microestructura resulta compleja dado que es necesario tener datos de la posición exacta de todas las partículas; sin embargo, pudieron obtener un modelo para migración de partículas por efecto de la velocidad de cizalla.

La concentración de partículas y la intensidad de las fuerzas con las que interactúan influyen en dos características de las suspensiones de partículas. En primer lugar, dependiendo de las fuerzas de repulsión y atracción entre las partículas, la suspensión estará más o menos estructurada lo que determinará si su viscosidad aumenta o disminuye en función de la velocidad de cizalla impuesta. De manera general, si las fuerzas de atracción son predominantes, la suspensión tiende a flocular cuando la cizalla tiende a cero (shear-thinning); si las fuerzas de repulsión predominan, la suspensión puede dar lugar a la formación de agregados de partículas cuando la cizalla aumenta (shear-thickening). En segundo lugar, las partículas sólidas podrían flotar en la superficie, suspenderse o sedimentar, dependiendo de la densidad de cada una de las fases, de la temperatura, de la morfología de las partículas así como también de las fuerzas de atracción-repulsión entre ellas.

Encontrar un procedimiento adecuado para realizar medidas reológicas de suspensiones de partículas, tomando en cuenta las interacciones entre ellas, es la razón principal que motiva el presente estudio; así como la proyección de futuras aplicaciones asociadas [5]–[10]. Concretamente, en el siguiente artículo se describe detalladamente el protocolo de preparación de suspensiones de óxido de silicio en etilenglicol y el análisis de la reproducibilidad y repetitividad de determinados ensayos reológicos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales y equipos

En este estudio se trabajó con suspensiones de óxido de silicio (como fase sólida) y etilenglicol (como fase líquida). Las nanopartículas de SiO<sub>2</sub> (US Research Nanomaterials Inc.) tienen tamaños de partícula comprendidos entre 60 y 70 nm, pureza del 98% y forma amorfa. El etilenglicol (Loba Chemie) es de grado analítico y tiene una pureza mínima del 99.5%. Los ensayos reológicos se llevaron a cabo en un reómetro de esfuerzo controlado Discovery HR-2 (TA-Instruments) del laboratorio de Reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Las suspensiones se prepararon con la ayuda de un agitador

magnético S130815 (Thermo Scientific), y un baño ultrasónico digital PS-40A (AionScientific) de 40 kHz. Para verificar la reproducibilidad de los resultados se utilizó un reómetro Haake MarsIII (Thermo Scientific) del laboratorio de Reología de la Universidad de Málaga. Las geometrías utilizadas en ambos casos fueron cono-plato y de vanos.

### B. Protocolo de preparación de muestras

Para la preparación de muestras de suspensiones de óxido de silicio y etilenglicol se realizó una mezcla w/w. Primero se colocó la fase sólida en un frasco de plástico y, posteriormente, la fase líquida, sellando el frasco para evitar que la muestra reaccione con el medio ambiente. Posteriormente, se aplicó agitación magnética con velocidad de rotación estable por 120 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se aplicó a la muestra ultrasonidos durante 30 minutos a temperatura ambiente. El proceso de ultrasonido reduce la polidispersidad de la fase sólida.

### C. Experimentación

Una vez preparada la suspensión, se la llevó al reómetro y se realizaron ensayos de salto de escalón con control de velocidad, usando en primer lugar la geometría cono-plato (cono de 60mm de diámetro y ángulo de 2 grados). Para cada experimento se aplicó una pre-cizalla inicial, con la que se eliminaron respuestas erráticas resultantes de la influencia de la historia de cizalla en la respuesta reológica del material. Adicionalmente, el estudio reológico se realizó partiendo de un misma microestructura inicial.

Como se mostrará más adelante, los ensayos no presentaron repetitividad. Asumiendo que esto podría deberse a sedimentación de una parte de la fase sólida, se procedió a realizar pruebas con una geometría capaz de reducir parcialmente el efecto de la sedimentación (cilindros concéntricos). Más específicamente, se decidió trabajar con una geometría de vanos (diámetro 28mm y longitud 42mm) para reducir deslizamientos en las paredes del rotor. Para evitar posibles errores debido a que el equipo tenga dificultad en mantener velocidades de cizallas pequeñas, estos ensayos se realizaron en modo de control de esfuerzos.

Para obtener el valor máximo de cizalla previo a la turbulencia (las condiciones básicas para estudios reológicos son: flujo laminar, minimizar cambios físicos, reproducibilidad y repetitividad) se analizó las expresiones (1) y (2). La expresión 2 es propia de un fluido newtoniano pero se la puede usar para una cizalla específica. Luego, se despejó el esfuerzo de cizalla y se analizó en las condiciones en las que sería crítico como se muestra en la expresión (3). De todas maneras otro limitante en la cizalla máxima es que el material se mantenga entre las geometrías del reómetro y obviamente que el reómetro sea capaz de aplicar este esfuerzo de cizalla.

$$\dot{\gamma} = \frac{Re \cdot \eta}{\rho \cdot D} \quad (1)$$

$$\tau = \dot{\gamma} \cdot \eta \quad (2)$$

Al sustituir (2) en (3) se obtiene:

$$\tau = \frac{Re \cdot \eta^2}{\rho \cdot D} \rightarrow \tau_{cizalla\ maxima} = \frac{2000 \cdot \eta^2}{\rho \cdot D} \quad (3)$$

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Saltos de Escalón con control de velocidad

Se realizaron ensayos en modo de control de velocidad a concentraciones de SiO<sub>2</sub> entre 10 y 30% w/w. Para soluciones al 10% de SiO<sub>2</sub>, la desviación existente entre un ensayo y otro fue menor al 10%, Fig. 1.

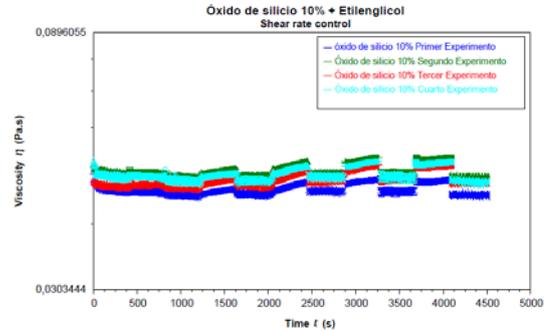


Fig. 1. Saltos de Escalón con control de velocidad SiO<sub>2</sub> 10% w/w

Al aumentar la concentración del SiO<sub>2</sub> al 20% se muestra un dispersión mucho mayor, en lugar de traslaparse los resultados de viscosidad, su valor disminuye secuencialmente de un ensayo a otro, Fig. 2. A partir de esta concentración se puede observar que los valores estacionarios de viscosidad, a distintos cambios de velocidad de cizalla, varían notablemente a diferencia de los resultados al 10% de concentración. Esto indica que la respuesta es no-newtoniana y que la viscosidad depende de la velocidad de cizalla impuesta. Aunque cada experimento varía considerablemente uno de otro, la respuesta tiene la misma tendencia. Las respuestas son cada vez menos viscosas y existen cambios de velocidad de cizalla que no llegaron al valor estacionario.

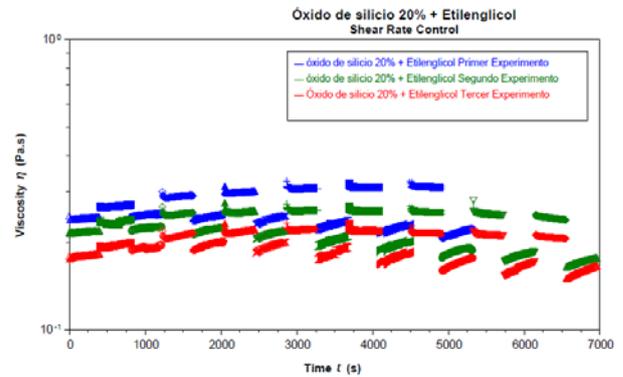


Fig. 2. Saltos de Escalón con control de velocidad SiO<sub>2</sub> 20% w/w.

Al aumentar la concentración al 30% w/w se observa una disminución progresiva en la viscosidad tanto al aumentar la velocidad de cizalla a lo largo del experimento como también en los experimentos sucesivos. El estado estacionario para cada velocidad de cizalla no pudo ser alcanzado, lo cual evidencia la falta de estabilidad en la suspensión producto de un proceso de sedimentación que es mayor cuando la concentración aumenta, Fig. 3. Por esta razón, se decidió no seguir con la experimentación utilizando la geometría cono-plato. Para verificar la reproducibilidad se llevó a cabo algunos de los experimentos mencionados en otro Reómetro (Haake

MarsIII) en el Laboratorio de Reología de la Universidad de Málaga, como indica la Fig. 4. Los resultados presentan reproducibilidad pero no repetitividad. La respuesta viscosa varía en función de la velocidad de cizalla y disminuye para cada nuevo ensayo. Se evidencia que la estabilidad de la suspensión presenta un problema de sedimentación. Esta comparación se la realizó únicamente con concentraciones al 20% de fase sólida.

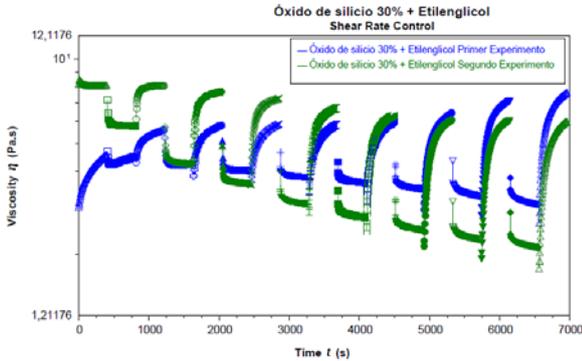


Fig. 3. Salto de Escalón con control de velocidad SiO<sub>2</sub> 30%w/w

**B. Saltos de Escalón con control de esfuerzos**

Dado que en ningún experimento, utilizando el modo de control de velocidad con geometría cono-plato, se pudo obtener repetitividad en los ensayos, se realizaron experimentos en modo de control de esfuerzos utilizando una geometría de vanos. El modo de control de esfuerzos se utilizó para verificar si el reómetro tenía inconvenientes en mantener la velocidad de cizalla impuesta. La geometría de vanos se utilizó para disminuir el efecto de sedimentación de las partículas en suspensión y evitar posibles efectos de deslizamiento. La solución al 20%w/w mostró estabilidad en la ejecución de los experimentos y presentó un comportamiento ligeramente no-Newtoniano.

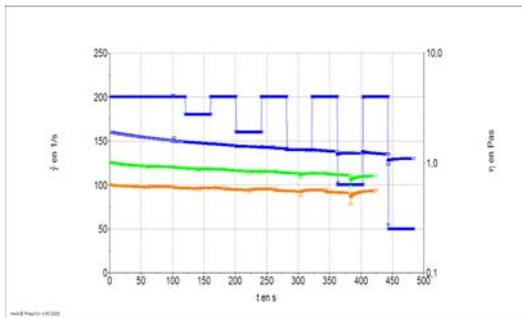


Fig. 4. Salto de Escalón con control de velocidad SiO<sub>2</sub> 20%w/w, Reómetro Haake MarsIII. La respuesta azul es la primera seguida por la verde y finalmente por la anaranjada.

Se consiguió una repetitividad aceptable, la cual se evidencia en la forma en la que las gráficas se superponen, con variaciones menores al 5%, Fig. 5. En la Fig. 6 se procedió a repetir las medidas de la Fig. 5 desde la preparación de la muestra, por otro operador y aumentando el tiempo de la pre-cizalla para verificar la reproducibilidad. Como se observa en la figura en mención, los resultados son reproducibles. Mientras mayor era el esfuerzo de pre-cizalla se necesitó mayor tiempo para alcanzar el valor estacionario, por lo cual se optó por trabajar con una pre-cizalla más baja.

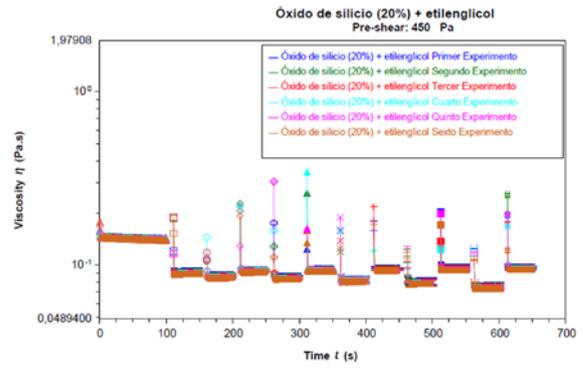


Fig. 5. Salto de Escalón con control de esfuerzos de SiO<sub>2</sub> 20%w/w con 450 [Pa] de precizalla por 100s

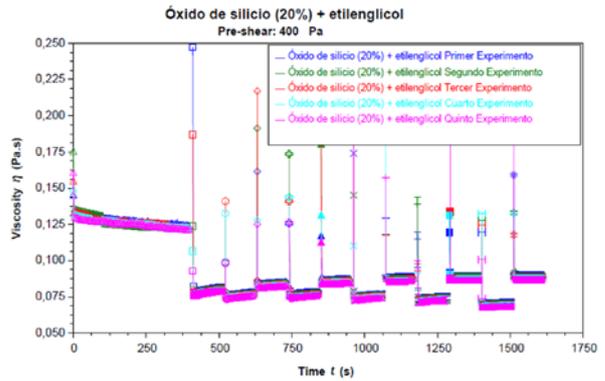


Fig. 6. Salto de Escalón con control de esfuerzos de SiO<sub>2</sub> 20%w/w con 400 [Pa] de precizalla por 400s

Para verificar la influencia del tamaño de partículas en la suspensión, se realizaron ensayos con y sin ultrasonido y con la corrección en la pre-cizalla, Fig. 7 y Fig. 8. Las dos gráficas presentan comportamiento repetible tras cada experimento, con una dispersión de los resultados dentro de lo esperado, menor al 10%. No obstante es evidente que la sedimentación se mantiene aunque su efecto no repercute en la repetitividad. Se observa que para las muestras sin ultrasonido existe mayor variación en los resultados, entre cada corrida de escalones. Por otro lado, los experimentos con ultrasonido muestran mayor repetitividad. Se podría atribuir este resultado al proceso de sedimentación de las partículas de SiO<sub>2</sub>.

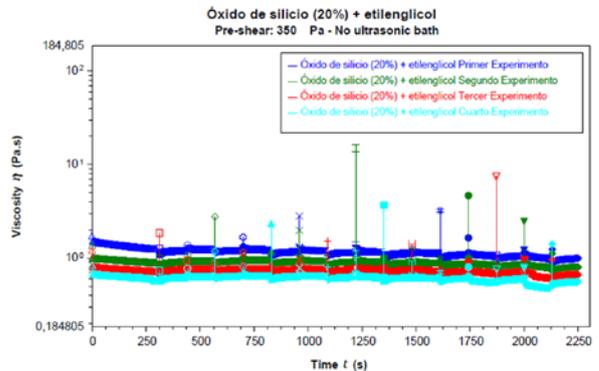


Fig. 7. Salto de Escalón con control de esfuerzos de SiO<sub>2</sub> 20%w/w con 350 [Pa] sin ultrasonido

## REFERENCIAS

- [1] J. F. Morris, "A review of microstructure in concentrated suspensions and its implications for rheology and bulk flow," *Rheol. Acta*, vol. 48, no. 8, pp. 909–923, Oct. 2009.
- [2] W. B. Russel, "Review of the Role of Colloidal Forces in the Rheology of Suspensions," *J. Rheol. (N. Y. N. Y.)*, vol. 24, no. 3, pp. 287–317, Jun. 1980.
- [3] W.-G. Lei and L. J. Struble, "Microstructure and Flow Behavior of Fresh Cement Paste," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 80, no. 8, pp. 2021–2028, Jan. 2005.
- [4] J. J. Stickel and R. L. Powell, "FLUID MECHANICS AND RHEOLOGY OF DENSE SUSPENSIONS," *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 37, no. 1, pp. 129–149, Jan. 2005.
- [5] Y. Lee, E. Wetzel, N. W.-J. of materials science, and undefined 2003, "The ballistic impact characteristics of Kevlar® woven fabrics impregnated with a colloidal shear thickening fluid," Springer.
- [6] M. Esfahani, D. T.-J. of M. Liquids, and undefined 2017, "Experimental investigation for developing a new model for the thermal conductivity of silica/water-ethylene glycol (40%–60%) nanofluid at different temperatures and," Elsevier.
- [7] S. Raghavan, H. Walls, S. K.- Langmuir, and undefined 2000, "Rheology of silica dispersions in organic liquids: new evidence for solvation forces dictated by hydrogen bonding," ACS Publ.
- [8] G. Żyła, J. F.-T. Acta, and undefined 2017, "Viscosity, thermal and electrical conductivity of silicon dioxide–ethylene glycol transparent nanofluids: An experimental studies," Elsevier.
- [9] L. Khiun, "Preparation and Characterization of Silicon Dioxide Nanoparticles and Thin Films," 2007.
- [10] V. Gaishun, O. Tulenkova, ... I. M.-M., and undefined 2002, "Preparation and properties of colloidal nanosize silica dioxide for polishing of monocrystalline silicon wafers," researchgate.net.

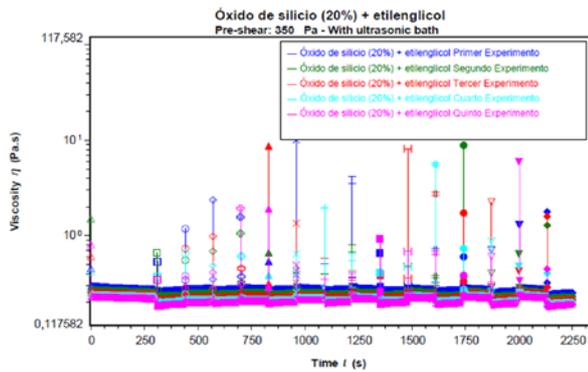


Fig. 8. Salto de Escalón con control de esfuerzos de SiO<sub>2</sub> 20%w/w con 350 [Pa] con ultrasonido

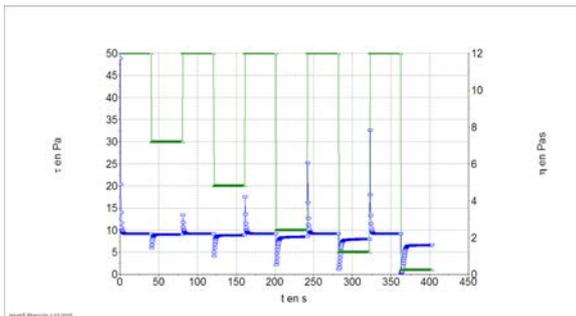


Fig. 9. Salto de Escalón con control de esfuerzos de SiO<sub>2</sub> 20%w/w con Reómetro Haake MarsIII

Una vez más se realizó uno de los experimentos en el laboratorio de Reología de la Universidad de Málaga para verificar su reproducibilidad. En la Fig. 9 se observa solo uno de los ensayos ya que todos se superponen, errores menores al 2%. La tendencia de los resultados es la misma, por lo que hay reproducibilidad y repetitividad.

## IV. CONCLUSIONES

La respuesta reológica siempre tiene que ir acompañada de un análisis previo en el que se ponga a prueba los tres requerimientos básicos en estudios de fluidos no-newtonianos: flujo laminar, ausencia de cambios físico-químicos y repetitividad y reproducibilidad. Como se ve en este estudio la disminución de viscosidad en función de la cizalla puede ser mal-interpretada como una respuesta reológica cuando, en este caso, es causada por la sedimentación. Es importante también tener en cuenta que la estabilidad de una suspensión es, entre otros factores, dependiente de la forma y de la fracción en volumen de las partículas suspendidas. La aglomeración de partículas así como la posible absorción de fase líquida dichas partículas puede afectar notablemente la estabilidad de la suspensión. Cabe puntualizar que en este estudio se ha prescindido de componentes estabilizadores en la suspensión ya que se requería conocer el comportamiento de la suspensión en su forma más pura.

## AGRADECIMIENTOS

La ejecución del presente trabajo no hubiera sido posible sin la colaboración del Laboratorio de Reología y Fluidos Complejos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

# The Effect of Machining on Surface Integrity of AISI 1018

Carlos Díaz<sup>a</sup>, Carlos Vila Pastor<sup>b</sup>, César Ayabaca<sup>b</sup>, Orlando Calle<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento Materiales / Facultad de Ingeniería Mecánica / Escuela Politécnica Nacional

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales/ Universitat Politècnica de València

<sup>c</sup> Investigación y Desarrollo / Departamento de Diseño e Ingeniería / Duquematriz Cía. Ltda.

carlos.diaz@epn.edu.ec, carvipas@upv.es, ceaysarl1@doctor.upv.es, and ocalles@duquematriz.com.ec

**Resumen**—El presente trabajo estudia los efectos de la velocidad de avance y profundidad de corte en la rugosidad superficial, microdureza, microestructura y propiedades mecánicas del acero AISI 1018. El método científico es aplicado a una metodología experimental que permite la cuantificación de resultados mediante pruebas de composición química, procesos CAD/CAE/CAM, análisis metalográfico y mediciones de dureza. Los resultados obtenidos contrastan la tendencia y la influencia de los parámetros de estudio, plantean causas y efectos favorables o desfavorables en la superficie del acero mecanizado dentro de un proceso de fabricación sostenible.

**Palabras Claves**—AISI 1018, integridad superficial, rugosidad, microestructura, microdureza, manufactura sostenible.

**Abstract**—The present work studies the effects of the feed rate and depth cut in the surface roughness, microhardness, microstructure and mechanical properties of AISI 1018 steel. The scientific method is applied to an experimental methodology that allows the quantification of results through chemical composition tests, CAD processes / CAE / CAM, metallographic analysis and hardness measurements. The results obtained contrast the trend and influence of the study parameters, raise causes and favorable or unfavorable effects on the surface of machined steel within a sustainable manufacturing process.

**Keywords**—AISI 1018, surface Integrity, roughness, microstructure, microhardness, sustainable manufacturing.

## I. INTRODUCTION

The steel industry is a very active market worldwide, and it is planned that by 2018 there will be an expansion of 7.0%. In Latin America (LA) it is estimated that the production of this raw material will increase by 9.2%. The most important sectors related to steel are: construction, electrical equipment, metal products, mechanical and automotive machinery [1].

The importance of this study is based on the participation of AISI 1018 steel in the Latin America (LA) market due to its cost/benefit ratio, being also an easy welding and hardening material, suitable for parts that require cold forming, forging, bending or stamping [2].

The state of the art shows different experimental methods to evaluate the surface integrity depending on the mechanical properties. However, the analysis criteria of several authors such as: Leskovar [3], Lalwani [4] and Sasahara [5] maintain the same structure using variable machining parameters to study the metallographic changes. Therefore, the present work focuses on the influence that the feed rate and depth of cut at constant rotation speed exert on the surface integrity of AISI 1018 steel and how this affects

microhardness and microstructure [6].

The revolution in the industry was an effect of the development of CNC machinery [7]. The combination of mechanical systems with electronic components has improved the industry in terms of time, cost and quality. CAX processes (Computed Help Processes), help minimize human errors in machining and optimize resources to introduce the concept of sustainable manufacturing. CAD programs allow the creation, analysis and modification of graphic representations of prototypes [8] and the CAE process supports the development of conceptual engineering with simulations of finite element methods to evaluate the design, durability and optimize the prototype. The CAM process, on the other hand, links the stage of engineering design with the manufacture of the final product.

The following sections describe the experimental methodology applied, the discussion of the results, the outstanding conclusions and the future work.

## II. METHODOLOGY

This section describes the methodology used for assessing an AISI 1018 steel workpiece. The current methodology is based on experimental data obtained from a novel study case developed on a university research laboratory.

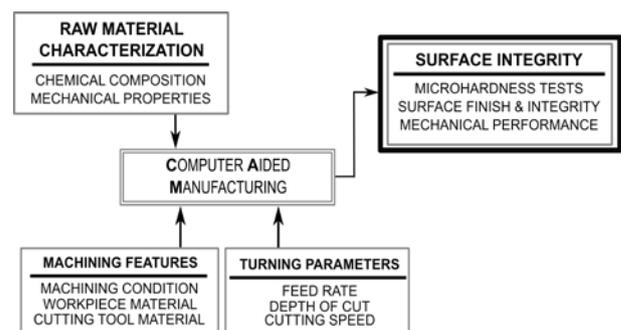


Fig. 1. Experimental Methodology.

Fig. 1 describes the pathway to study chemical and mechanical performance of machined workpiece. The raw material is the input, CAD processes support the experimental method, and the surface integrity analysis is the output. In the following paragraphs, each one of the mentioned aspects will be explained.

### A. Raw Material Characterization

The steel selected for this study was the AISI 1018 since it has a wide range of industrial applications in the Ecuador, the test specimen has a diameter = 25.4 [mm] and a length = 70 [mm], the chemical composition and mechanical

properties have been validated by experimental methods to ensure the methodology and results.

### B. Computer Aided Manufacturing

The machining process was carried out on a CNC Lathe Romi C420. CAM was applied to control the machining characteristics and the turning parameters. The machining features to consider were machining condition, workpiece material, and cutting tool material.

The machining conditions of the specimens is a wet machining process, the lubricant used was Promax Taladrin (Valvoline), the cutting tool for machining was the insert DNMG 15 06 08-PM 4325 manufactured by Sandvik Coromant. The parameters of cut established in this study are: depth of cut, feed rate and rotation speed. The experimental method considers a constant rotation speed of 1200 [rpm] and is considered as variables to the depth of cut and the feed rate.

### C. Surface Integrity

The integrity of the surface was evaluated by metallographic analysis and Vickers  $HV_{200gf}$  microhardness measurement applied to the load for 15s, following the ASTM E407-99 and ASTM E384 standards.

The last stage proposed by the methodology establishes the link between the manufacturing process, the deformation of the material and the variation of the mechanical properties [9], [10].

### D. Mechanical Performance

According to Cahoon, microhardness is an adequate parameter to calculate the yield strength ( $\sigma_y$ ) in a material. The relationship between these parameters is shown in the following equation [11].

$$\sigma_y = \left(\frac{H}{3}\right) \cdot (0.1)^{m-2} \quad (1)$$

Equation (1) represents the relation of mechanical characteristic, where H is the hardness obtained from the test in Vickers scale, and m is the coefficient of hardening by deformation established by Meyer is equal to 0.26 for low carbon steels [12].

Furthermore, strains ( $\varepsilon$ ) involved in plastic deformation due to machining operations can be related with yield strength, C is a constant of 0.801 [9].

$$\ln(\sigma_y) = \ln(C) + (m-2) \cdot \ln(\varepsilon) \quad (2)$$

$$\varepsilon = e^{\frac{\ln(\sigma_y) - \ln(C)}{m-2}} \quad (3)$$

Equation (2) represents the mathematical model that helps to relate the mechanical properties such as yield strength with deformation and mechanical characteristics such as the strain hardening coefficient and the deformations produced in the region affected by machining.

Table I shows the two case studies proposed in this paper, for case A it was established as a variable at the depth cut ( $a_p$ ) and as constants to the parameters feed rate ( $f_n$ ) and rotation speed ( $\omega$ ). Case B considers the feed rate ( $f_n$ ) as a variable and as constant to the parameters depth cut ( $a_p$ ) and rotation speed ( $\omega$ ).

TABLE I  
STUDY CASES CRITERIA

	Case A	Case B
Feed rate [mm/rev]	0.2	0.3 / 0.4 / 0.5
Depth of cut [mm]	0.5 / 1 / 1.5	1
Rotation speed [rpm]	1200	1200

## III. RESULTS AND DISCUSSION

The following paragraphs show the results obtained from the application of the experimental methodology in the study of surface integrity changes due to machining.

### A. Raw Material Characterization

Due to chemical composition tests, the raw material was ratified as heat-treated steel. Based on chemical parameters, the results demonstrate the belonging of this steel to AISI 1018 type.

TABLE II  
RAW MATERIAL CHEMICAL COMPOSITION

Results	% C	% Mn	% P	% S
Experimental	0.15	0.572	0.031	0.017
ASTM A108	0.15 < C	0.6 < Mn	≤0.04	≤0.05
	< 0.20	<0.9		

Table II shows the results obtained from the chemical composition study. Although, manganese is not within the established, the variation is very small, this variation may be due to the fact that the raw material is coming from scrap and can influence the results.

### B. Surface Integrity

*Roughness.* The following results show the influence of the machining parameters on the roughness. Fig. 2(a) shows that, when increasing the feed rate during the cutting operation, the surface roughness is affected in a negative way (case A).

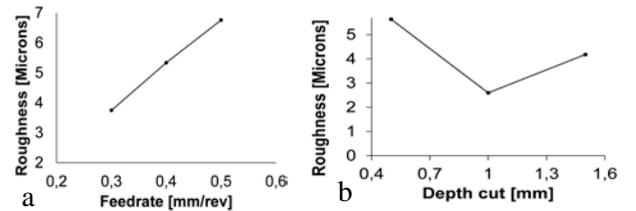


Fig. 2. Effects of feed rate and depth cut on roughness case A and B.

For the case of the study B, when the depth cut is less than 1mm (see Fig. 2b), the surface roughness of the work piece tends to decrease, showing a better surface quality. On the contrary, at depths cut greater than 1mm, the roughness is increased negatively affecting the surface of the element.

*Microhardness.* The hardness of the base material was evaluated from the surface towards the center of the steel shaft, obtaining an average value of 206  $HV_{200gf} \pm 10$ .

Fig. 3 represents the effect of the depth of cut and the feed rate on the microhardness. The highest values were obtained with indentations made at depths less than 100 microns with an average value of 236  $HV_{200g}$ , corresponding to the area of greatest plastic deformation, henceforth the hardness decreased until obtaining a constant trend.

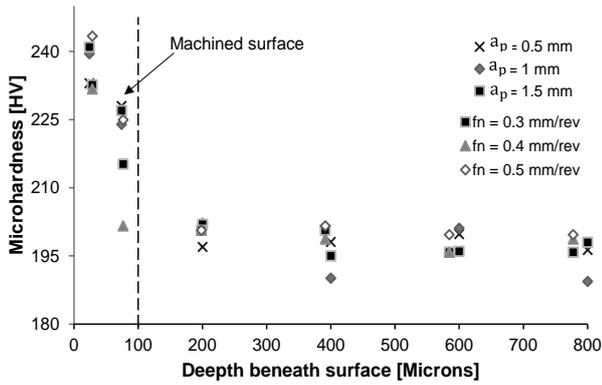


Fig. 3. Microhardness on AISI 1018 machined surface.

**Surface metallographic analysis.** The grain size of the base material was measured before machining in order to determinate the influence of machining on microstructure variations. The grain size in the machined area, and in the center of the shaft was ASTM No 8.

Fig. 4 shows the microstructures when the parameters of Case A were applied. There is a great deformation caused by the contact between the cutting tool and the surface of the work piece. The ferrite grains (light color) and pearlite (dark color) elongate in the cutting direction and the plastic deformation produces an induced hardening, which increases the microhardness in the machined surface by increasing the depth of cut.

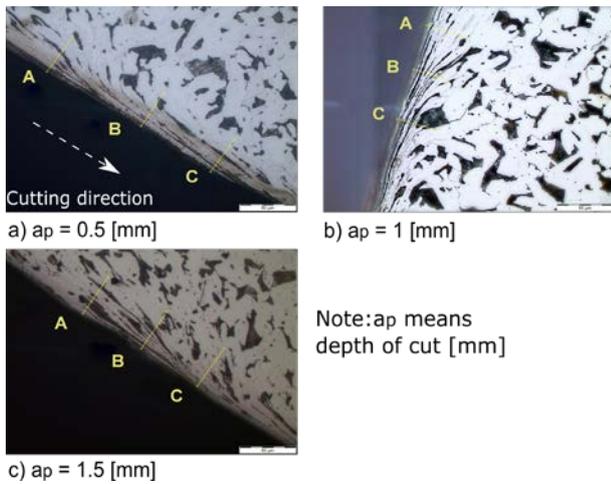


Fig. 4. Surface hardening, Case A, 500X.

Table III shows the plastic deformation induced in the material due to the contact of the cutting tool with the work piece during the machining of the surface. It is possible to identify an increase in plastic deformation as the depth of cut increases.

TABLE III  
DEPTH CUT EFFECT ON PLASTIC DEFORMATION

$a_o$ [mm]	A / 1 [ $\mu\text{m}$ ]	B / 2 [ $\mu\text{m}$ ]	C / 3 [ $\mu\text{m}$ ]
0.5	28.37	27.73	28.08
1.0	38.75	34.20	37.33
1.5	42.6	42.71	43.99

For case B, the microstructure and plastic deformation obtained by varying the feed rate is very similar case A.

Table IV shows the plastic deformation induced in the material because of the variation in feed rate. Furthermore, higher levels of plastic deformation are an effect of high

feed rate values.

TABLE IV  
FEED RATE EFFECT ON PLASTIC DEFORMATION

f [mm/rev]	A / 1 [ $\mu\text{m}$ ]	B / 2 [ $\mu\text{m}$ ]	C / 3 [ $\mu\text{m}$ ]
0.3	19.0	18.11	19.30
0.4	38.75	34.20	37.33
0.5	42.60	42.71	43.99

**Mechanical Performance.** Yield strength, and deformation are the mechanical features carried out from the application of Equation 2, and experimental data obtained from microhardness tests.

Fig. 5 relates the yield strength with material's hardness. Demonstrating that changes in feed rate or depth of cut produces a positive slope variation in material's yield strength.

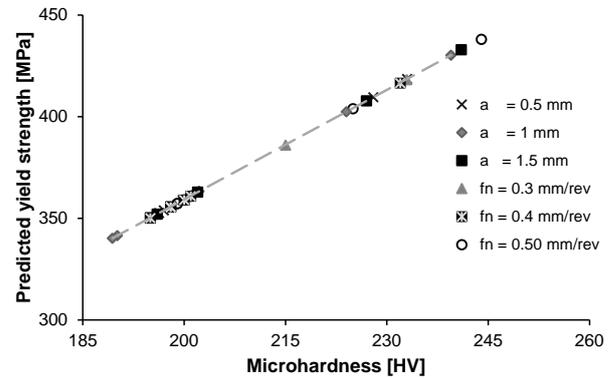


Fig. 5. Yield strength due to microhardness.

Fig. 6 shows that the highest deformation generated by strain is in the machined area. The latter results are not affected by machining parameters.

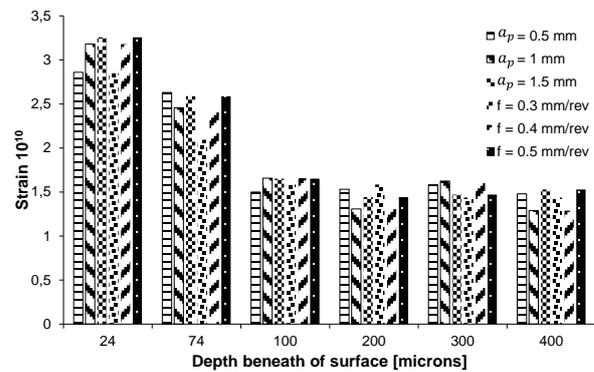


Fig. 6. Behavior of Strain versus depth beneath of surface.

**Electron Microscopy.** The quality and surface texture were performed by SEM analysis. Fig. 7 shows the generation of marks and microcracks on the machined surface, generated by the displacement of the cutting tool when separating the chip.

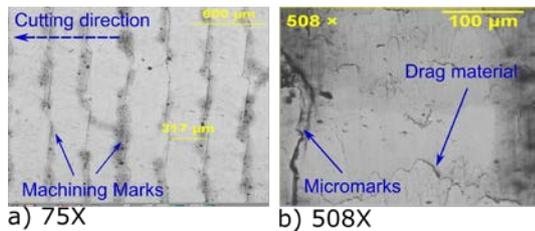


Fig. 7. SEM of the longitudinal advance of the cutting tool.

#### IV. CONCLUSIONS

The feed rate exerts a greater influence on the surface roughness in the machined sample, since by increasing this parameter the slope remains positive and growing in the range of 0.3 – 0.5 mm/rev. The depth cut in the range of 0.5 – 1 mm induces a favorable behavior when reducing the roughness by 53%, however, when increasing the penetration of the cut greater than 1 mm the slope again takes a positive value. The increase of 14.5% (206 – 236 HV<sub>200gf</sub>) in the surface hardness of the two samples, is due to the superficial plastic deformation caused by the machining and to the direct affectation of the ferrite and perlite phases that are also deformed causing in this region a displacement and accumulation of dislocations, that increase the yield strength, mechanical resistance and hardness. Plastic deformation in the workpiece surface is highly influenced by depth of cut. The study showed a deformation from 28 to 44 [microns] and a deformation of 29.4% lower when feed rate was established as variable in the experimental method.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the financial support provided by Escuela Politécnica Nacional, Universitat Politècnica de València UPV and Carolina Foundation for the support of this article through the 2017 call and project PIS 16-15, since this article has been developed with your valuable collaboration.

#### REFERENCES

- [1] Asociación Latinoamericana del Acero (ALACERO). "Latin America in Figures" 2017.
- [2] N., Bhanot, P., Venkateswara, and S., Deshmukh. "An Assessment of Sustainability for Turning Process in an Automobile Firm". 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Elsevier B.V., pp. 538 – 543, 2016. DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.024
- [3] Leskovar, P., y Peklenik, J.(1982). Influences Affecting Surface Integrity in the Cutting Process. CIRP Annals 31 (1982) pp 447-450.
- [4] D. Lalwani, N. Mehta, P. Jain, Experimental investigations of cutting parameters influence on cutting forces and surface roughness in finish hard turning of MDN250 steel, Journal of Materials Processing Technology,
- [5] Sasahara, H. (2004). The effect on fatigue life of residual stress and surface hardness resulting from different cutting conditions of 0.45%C Stel. Machine Tools & Manufacture 45 (2005) pp. 131-136.
- [6] Z. Pan, Y. Feng, & Y. Liang, "Material microstructure affected machining: a review", Manufacturing Review, Vol 4, pp. 1-12, 2017, DOI: 10.1051/mfreview/2017004.
- [7] F. Wang, J. Zhao, A. Li & H. Zhang, "Effects of cutting conditions on microhardness and microstructure in high-speed milling of H13 tool Steel", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol 73, pp. 137 – 146, 2014, DOI:10.1007/s00170-014-5812-9.
- [8] Tien-Chien Chang, and R. Wysk. "Computer Aided Manufacturing" Prentice Hall PTR. Upper River, NJ, USA. (1997).
- [9] R. Pawade, S. Joshi, and P. Brahmanekar, "Effect of machining parameters and cutting-edge geometry on surface integrity of high-speed turned Inconel 718". International Journal of Machine

- Tools&Manufacture. Vol 48, pp. 15 – 28, January 2008. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2007.08.004.
- [10] N. Agarwal, "Surface Roughness Modeling with Machining Parameters (Speed, Feed & Depth of Cut) in CNC Milling". MIT International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 2, pp. 55 – 61, January 2012. pp. 167-179, 2008. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.018
- [11] J. Cahoon, W. Broughton & A. Kutzak, "The Determination of Yield Strength from Hardness Measurements". Metallurgical Transactions, Vol. 2, pp 1979 – 1983, July 1970.
- [12] S. Kalpakjian, and S. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Pearson Educación, 5ta Ed. 2018.

# Circuitos integrados fotónicos para la generación de frecuencias ópticas (OFCG)

F. Vinicio Corral<sup>a</sup>, Guillermo Carpintero<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

<sup>b</sup>Departamento de Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid.

fvcorral@espe.edu.ec, guiller@ing.uc3m.es

**Resumen**—Se presentan los avances realizados en el desarrollo de generadores de peines de frecuencias ópticas (OFCG *Frequency Comb Generator*) mediante circuitos integrados fotónicos (PIC, *Photonic Integrated Circuits*). Estos son diseñados y fabricados en un proceso de construcción común en plataformas genéricas de integración. Se muestran los resultados experimentales de las diferentes clases de OFCG destacándose los grandes anchos de banda logrados, en el orden de THz. Se resalta la factibilidad de disponer circuitos fotónicos miniaturizados en sistemas de banda ancha y otras aplicaciones futuras en el marco de la nanotecnología.

**Palabras Claves**—Circuitos integrados fotónicos, diodo láser, fibras ópticas, fotónica, peine de frecuencias ópticas.

**Abstract**—We present the progress made in the development of optical frequency combs generators (OFCG) using Photonic Integrated Circuits (PIC). These are designed and manufactured in a common building process in generic integration platforms. The experimental results of the different OFCG classes are shown, highlighting the large bandwidths achieved, in the order of THz. The feasibility of providing miniaturized photonic circuits in broadband systems and other future applications in the framework of nanotechnology is highlighted.

**Keywords**—Laser diode, Optical fiber, Optical frequency comb, Photonic integrated circuits, Photonics.

## I. INTRODUCCIÓN

Los generadores de frecuencias ópticas (OFCG, *Optical Frequency Comb Generator*) tienen varios campos de aplicación. Por ejemplo, son utilizados en comunicaciones ópticas como fuentes para transmisores en sistemas de multiplexación densa por división de longitud de onda (DWDM, *Dense Wavelength Division Multiplexing*) que explotan el gran ancho de banda de las fibras ópticas monomodo [1], [2]. WDM es una técnica de transporte que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, incrementando la capacidad de los enlaces. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha definido el estándar G.692 para DWDM en el que establece unas longitudes de onda utilizables (“rejilla ITU”), en la banda de 1550 nm [3]. Dicha rejilla se especifica en frecuencia con espaciados de 100 GHz y de 50 GHz.

Un solo peine de frecuencias, potencialmente reemplaza a múltiples fuentes individuales de láseres, optimizando los sistemas. Las técnicas más utilizadas para conseguir OFCG son: a) Moduladores en cascada [4], [5], b) Moduladores en anillo recirculante [6] y c) Láseres mode-locked [7].

Nuestra investigación se ha enfocado en el desarrollo de OFCG basados en circuitos integrados fotónicos (PIC, *Photonic Integrated Circuits*), por sus múltiples ventajas

como menor tamaño, mayor simplicidad en el ensamblaje, menor consumo de potencia y mejor rendimiento porque se integran elementos activos y pasivos en el mismo chip. Además, se pueden utilizar plataformas genéricas de integración, en las que diferentes PICs con un amplio rango de funcionalidades pueden ser construidos a partir de bloques estandarizados básicos, tales como amplificadores, moduladores, fotodiodos, guías de onda, acopladores, filtros y multiplexores. Los bloques estándares son provistos por las plataformas genéricas y utilizando software de diseño y simulación, se pueden crear nuevos circuitos. Los PICs provenientes de diferentes diseñadores, usando la misma plataforma pueden compartir el proceso de fabricación común en una ronda denominada MPW (*Multi-Project Wafer*), con calidad confiable y reducción de costos [8]. Hay varios grupos de investigación trabajando en PICs [9]-[12].

En nuestro trabajo, se han caracterizado varias estructuras que implementan un OFCG fabricadas en PICs. Primero operamos con moduladores en anillo recirculante, con diferentes estructuras: a) OFCG con moduladores de fase y láser semilla externo; b) OFCG con moduladores de fase y láser semilla interno y c) OFCG con modulador de fase, modulador de intensidad (MZM, *Mach Zehnder Modulator*) y láser semilla interno. Después desarrollamos un OFCG basado en un láser anillo mode locked pasivo monolíticamente integrado [13], cuyo diseño permite generar frecuencias espaciadas 10 GHz y que al no requerir fuente láser semilla, es más ventajoso que el OFCG con moduladores en anillo recirculante.

El presente artículo tiene como objetivo describir los diseños de PICs realizados y presentar los resultados de las mediciones. Su estructura es la siguiente: en la sección II se describen los dispositivos OFCG diseñados y fabricados. En la sección III se presentan y analizan las mediciones de espectro óptico obtenidos. Finalmente, las conclusiones más relevantes son expuestas en la sección IV.

## II. DESCRIPCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Un OFCG es una fuente óptica que genera un gran número de longitudes de onda, equiespaciadas en frecuencia y de igual amplitud, todas ellas enganchadas en fase.

### A. OFCG Basado en un Anillo Recirculante utilizando Moduladores de Fase.

Presentamos el diseño de un PIC que implementa el OFCG basado en un anillo recirculante utilizando moduladores de fase electro-ópticos (EOPM, *Electro-Optic Phase Modulator*) [6]. El diseño se basa en los bloques estándares de la plataforma de integración de OCLARO Tech. [14]. El peine óptico produce múltiples longitudes de

onda, equiespaciadas por la frecuencia RF proporcionada por un sintetizador externo, a partir de una longitud de onda ( $\lambda$  semilla). Esta  $\lambda$  semilla se puede introducir externamente o por fuente interna (on-chip), por medio de un láser monomodo para desarrollar un OFCG totalmente integrado. La ventaja es que tiene pequeñas dimensiones (6 x 2 mm), cuyos elementos se interconectan con guías de onda de InP que reemplaza a la fibra óptica, evitando variaciones térmicas que afecten la señal generada. La fotografía del PIC diseñado y fabricado se muestra en la Fig. 1.

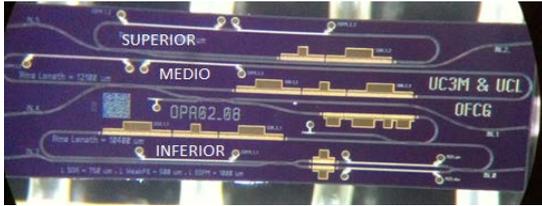


Fig. 1. Fotografía del PIC, generador de peine de frecuencias ópticas, mostrando los tres anillos: superior, medio e inferior

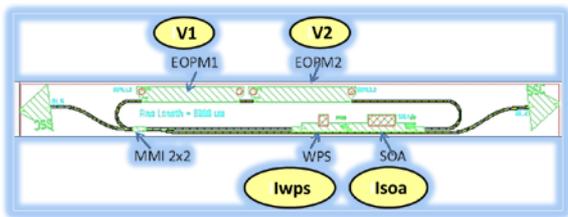


Fig. 2. Estructura del anillo OFCG con láser semilla externo, con dos EOPMs, un SOA, un WPS y un acoplador MMI.- V1, V2: polarización inversa.- Iwps, Isoa: corriente en el WPS y SOA.

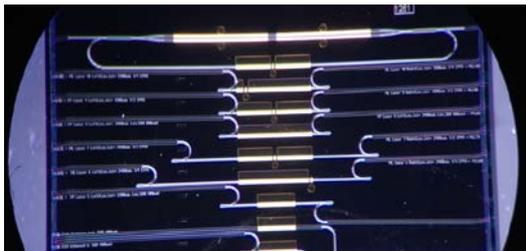


Fig. 3. Fotografía del Circuito integrado fotónico que contiene el láser mode-locked pasivo anillo y otros láseres.

El chip diseñado incluye tres estructuras en anillo, con diferente longitud de cavidad, para experimentar con diversas frecuencias. Nos referimos a estos anillos como SUPERIOR (longitud 8000  $\mu\text{m}$ , frecuencia de repetición,  $f_{RP} = 10$  GHz), MEDIO (longitud 12100  $\mu\text{m}$ ,  $f_{RP} = 6.7$  GHz) e INFERIOR (longitud 10400  $\mu\text{m}$ ,  $f_{RP} = 7.5$  GHz). Nos enfocaremos en el primer anillo para lograr un OFCG con moduladores de fase y láser semilla externo (10 GHz). Este anillo superior dispone de los siguientes bloques estándares:

- Dos moduladores EOPM, de 1000  $\mu\text{m}$  de longitud; este valor es recomendado para lograr una eficiente modulación a altas frecuencias ( $\sim 10$  GHz) y bajos voltajes de polarización ( $< 5$  voltios) [15]. Se usan dos moduladores para conseguir un mayor ancho de banda del peine óptico [16].
- Un amplificador óptico (SOA, *Semiconductor Optical Amplifier*) de 750  $\mu\text{m}$  de longitud, establecida mediante curvas de ganancia modal versus longitud de onda y densidad de corriente de inyección.
- Una guía de onda pasiva con control de fase (WPS,

*Weak waveguide with Phase control*), de 500  $\mu\text{m}$  de longitud, que permite el cambio del índice de refracción, a través de la inyección de corriente. El WPS se encarga de la sintonización fina de la fase de la señal que se genere.

La longitud total de la cavidad es 8062  $\mu\text{m}$ , que se calcula para conseguir un espaciamiento de 10 GHz. El esquema se muestra en la Fig. 2, con dos accesos que permiten inyectar el láser externo y observar la potencia óptica de salida.

### B. OFCG Basado en un Láser Anillo Mode Locked Pasivo.

Los láseres mode locked (MLLD) tienen en la cavidad dos secciones: el medio activo semiconductor (SOA) para generar luz, y el absorbente saturable (SA), que permite enganchar los modos ópticos en fase. Existen dos regímenes de operación. Cuando en el SA se introduce una polarización inversa, con una fuente de tensión (DC), el dispositivo opera en régimen Mode-Locking pasivo (PML). Si a la señal continua se le añade una señal de referencia eléctrica, cuya frecuencia es la misma que la del armónico fundamental, el dispositivo opera en régimen Mode-Locking Híbrido (HML).

Nosotros realizamos el diseño mediante láser PML monolíticamente integrado en configuración anillo. El láser contiene dos SOA de 370  $\mu\text{m}$  con un SA en el medio de 20  $\mu\text{m}$  y un acoplador de interferencia multimodo (MMI, *Multimode Interference Coupler*) que acopla las dos ondas ópticas generadas en el anillo [17]. La regla de diseño establece que la relación de la longitud entre el SOA y el SA debe ser de 10 a 20 veces, para conseguir un mode locked estable [18]. En nuestro caso, la relación entre SOA y SA es 18.5. También dispone de un Interferómetro Mach Zehnder que usa dos EOPM de 1000  $\mu\text{m}$  en cada brazo para equalizar el espectro de ganancia en la cavidad láser [19]. El PIC fue fabricado en la plataforma de Cobra/SMART Photonics [20]; su fotografía y diagrama se muestran en las Fig. 3 y Fig. 4.

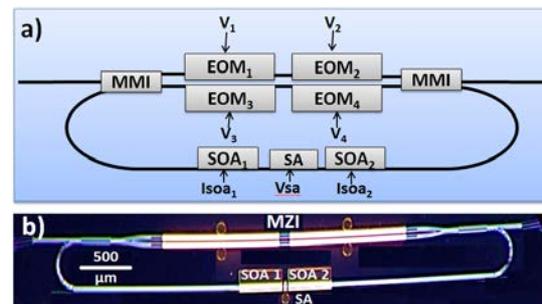


Fig. 4. (a) Diagrama del láser anillo. SOA: Semiconductor optical amplifier, SA: Saturable absorber, MMI: Multimode interference, EOM: electro-optic modulator. (b) Fotografía del láser indicando el Mach Zehnder Interferometer (MZI) y los EOM.

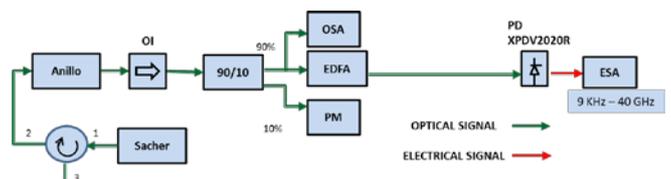


Fig. 5. Setup para mediciones en estructura anillo con láser externo. OI: Aislador Óptico. OSA: Analizador de Espectros Óptico. EDFA: Amplificador de fibra dopada de erbio. PM: medidor de potencia. PD: fotodiodo modelo XPDV2020R. ESA: Analizador de Espectros Eléctrico

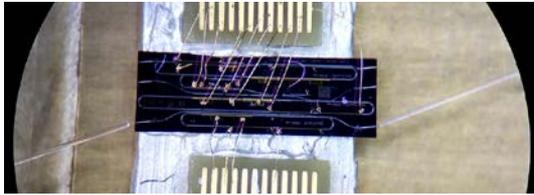


Fig. 6. Estructura de anillo con dos EOPMs, un SOA y un WPS, en el interior del PIC, con dos fibras ópticas de acceso.

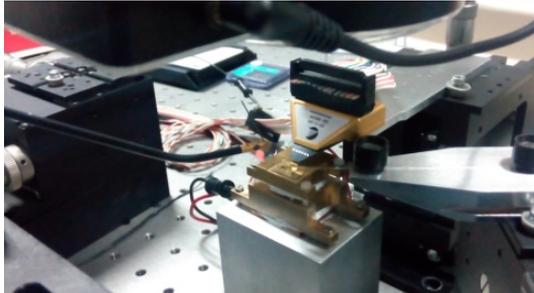


Fig. 7. Fotografía del montaje del PIC.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Presentamos los resultados de espectro óptico emitidos por cada uno de los OFCG diseñados y fabricados.

#### A. OFCG en Anillo Recirculante con Moduladores de Fase.

Para las mediciones utilizamos el setup indicado en la Fig. 5. Una fibra con lente y un aislador óptico (OI, *Optical isolator*) sirven para acoplar la luz de salida de la guía de onda. Este se conecta con un divisor de potencia 90/10. La salida del 10% se une al Medidor de Potencia (PM) que mide la potencia óptica generada. El otro brazo, con 90% de división, se conecta a los instrumentos de medida. Se utiliza un láser sintonizable, marca Sacher Technique, con potencia de emisión de hasta 200 mW. La luz emitida por este láser ingresa al anillo del PIC, a través de un circulador, que evita reflexiones. El anillo tiene dos accesos para inyectar el láser externo y observar la potencia óptica de salida, según la fotografía que mostramos en la Fig. 6. Las corrientes y tensiones se inyectan a través de la punta multi-contacto (Microtech EP-12-250), cuyo montaje se visualiza en la Fig. 7.

Para extraer el espectro óptico inyectamos la señal del láser externo con los valores: potencia de salida= 1 dBm, y  $\lambda = 1541.6$  nm. Los moduladores EOPM fueron polarizados en forma inversa con voltajes  $V_1 = V_2 = -2.5$  V y la corriente del SOA a 80 mA. Obtuvimos el espectro óptico mostrado en la Fig. 8 y una ampliación en el rango de 1544 y 1550 nm, para estimar la planitud ("flatness") del peine óptico, se observa en la Fig. 9.

El peine óptico obtenido tiene un rango (span) de 11.5 nm (1.44 THz) @ -10 dB y 15.48 nm (1.9 THz) @ -20 dB; con separación intermodal de 10.17 GHz. No es totalmente plano puesto que tiene una variación en la intensidad de los modos; hemos estimado una planitud de 73 líneas @ -5 dB, en las mejores condiciones de medición.

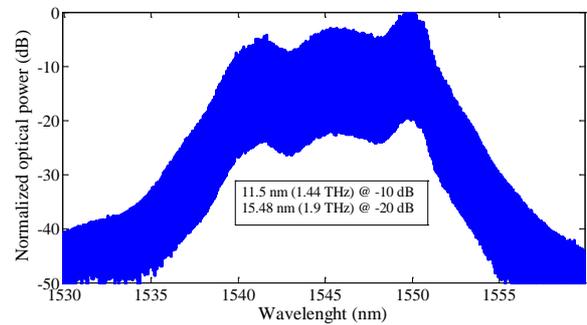


Fig. 8. Espectro óptico con moduladores y láser semilla. El ancho de banda es 1.44 THz @ -10dB y 1.9 THz @ -20dB.

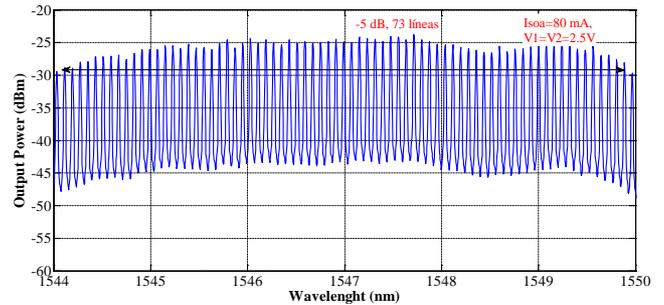


Fig. 9. Planitud del peine óptico obtenido con 73 líneas @ -5dB y 10.1 GHz de separación. Isoa=80 mA,  $V_1=V_2=-2.5$  V

#### B. Resultados Experimentales del OFCG Basado en un Láser Anillo Mode Locked Pasivo.

El setup que usamos para caracterizar el dispositivo es similar al del precedente OFCG con moduladores. Se aplica la corriente a los dos SOAs cortocircuitados, en pasos de 2 mA desde 0 a 65 mA. Los moduladores de fase EOM<sub>1</sub> and EOM<sub>2</sub> del brazo superior del MZI son polarizados con voltajes de  $V_1=V_2 = -1.3$  V; los moduladores EOM<sub>3</sub> y EOM<sub>4</sub> son conectados a tierra. Esto establece una polarización asimétrica de los moduladores de fase, lo cual genera el desplazamiento de fase necesario para conseguir la planitud del espectro. El SA se polariza al nivel  $V_{sa} = -2.0$  V con el que se consigue el régimen mode-locking. El espectro óptico generado @ -10 dB va desde 1558 nm a 1566.7 nm cuando la corriente del SOA es de 51.7 hasta 65 mA. El mejor resultado se consigue mediante la polarización de los dos SOA con 62 mA, el SA con -2V y los moduladores de fase con voltaje  $V_1 = V_2 = -1.3$  V. La potencia óptica promedio lograda es 2 mW. El espectro óptico se muestra en las Fig. 10 y Fig. 11.

El ancho de banda @ -10 dB es 8.7 nm (1.08 THz) con 107 líneas espectrales espaciadas por 10.16 GHz. Los EOPM se utilizan para un ajuste fino de la planitud del peine y así equalizar la forma del espectro de salida [21]. Obtuvimos una planitud de 44 líneas dentro de una variación de potencia de 1.8 dB; lo cual es un valor notable en el contexto del estado del arte actual, en el que se han logrado valores de planitud de 38 líneas en 1.5 dB [16] con OFCG operando con moduladores en cascada.

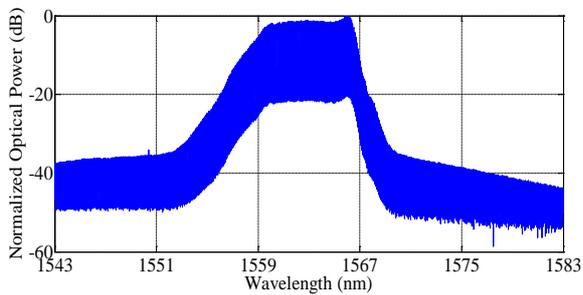


Fig. 10. Espectro óptico con láser mode locked pasivo. El ancho de banda es 1.08 THz @ -10dB.

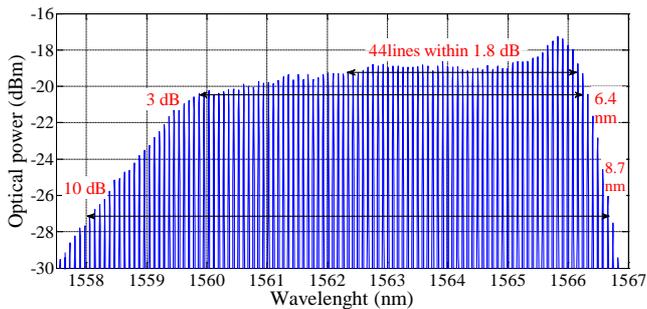


Fig. 11. Planitud del peine óptico con 107 líneas @ -10dB y 10.16 GHz de separación. Isoa1=Isoa2= 62 mA; V1= V2= -1.3V; Vsa= -2.0 V.

#### IV. CONCLUSIONES

Diseñamos un generador de frecuencias ópticas basado en moduladores de fase electro-ópticos, totalmente integrado, que incluye internamente un láser semilla monomodo. Fabricamos el PIC en una plataforma estándar, el mismo que contiene tres anillos, y tiene la capacidad de generar peines a tasas de repetición de 6.73 GHz, 7.5 y 10 GHz. El espectro óptico obtenido es de 11.5 nm (@ -10 dB. Este parámetro es equiparable a resultados del estado del arte actual obtenidos con dispositivos OFCG con anillo de fibra óptica. Observamos un incremento de líneas espectrales y eualización del espectro cuando varía la polarización de los EOPM. Por tanto, se concluye que los moduladores electro-ópticos influyen en la planitud del peine y en el ancho de banda. También demostramos la generación de peines de frecuencias ópticas usando un láser anillo integrado con interferómetro Mach Zehnder, operando en régimen mode locked pasivo, fabricado en una plataforma de integración genérica, en una ronda MPW, compartiendo costos con otros usuarios. Conseguimos un peine óptico con líneas espaciadas 10.16 GHz y un ancho de banda de 8.7 nm @ -10 dB. No es necesario el uso de una señal RF externa ni un láser semilla, lo cual es ventajoso respecto a OFCG con moduladores en cascada. Concluimos que el uso de bloques estandarizados en el presente diseño y fabricación permitirá el desarrollo de un set de dispositivos que pueden ser utilizados en otras rondas de manufactura; implementando circuitos más complejos, como transmisores multi-longitud de onda para aplicaciones DWDM.

#### REFERENCIAS

[1] S. Bennett, B. Cai, E. Burr, O. Gough, and A. J. Seeds, "1.8-THz bandwidth, zero-frequency error, tunable optical comb generator for DWDM applications," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, No. 5, pp. 551–553, May 1999.

[2] Silva, C.F.C. y Seeds, A.J., "A dense WDM source for high spectral efficiency system using comb generation and SG-DBR injection-

locked laser filtering", in *European Conference on Optical Communication*, 2001.

[3] International Telecommunications Union, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.692-199810-I/es>.

[4] T. Sakamoto, T. Kawanishi and M. Izutsu, "Widely wavelength-tunable ultra-flat frequency comb generation using conventional dual-drive Mach-Zehnder modulator", *Electronic Letters*, vol 43, pp. 1039-1040, 2007.

[5] J. Zhang, J. Yu, N. Chi, Z. Dong, X. Li, Y. Shao, J. Yu and L. Tao, "Flattened comb generation using only phase modulators driven by fundamental frequency sinusoidal sources with small frequency offset," *Opt. Lett.*, vol. 38, no. 4, pp. 552–4, Feb. 2013.

[6] K. Ho and J. Kahn, "Optical frequency comb generator using phase modulation in amplified circulating loop," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 5, no. 6, pp. 721–725, 1993.

[7] E. A. Avrutin, J. H. Marsh and E. L. Portnoi, "Monolithic and multi-gigahertz mode-locked semiconductor lasers: constructions, experiments, models and applications," in *IEE Proceedings Optoelectronics*, vol. 147, no. 4, pp. 251-278, Aug. 2000.

[8] M. Smit, X. Leijtens, E. Bente, J. Van der Tol, H. Ambrosius, D. Robbins, M. Wale, N. Grote, and M. Schell, "Generic foundry model for InP-based photonics," *IET Optoelectron.*, vol. 5, no. 5, p. 187, 2011.

[9] N. Dupuis, C. R. Doerr, L. Zhang, L. Chen, N. J. Sauer, P. Dong, L. L. Buhl, y D. Ahn, "InP-based comb generator for optical OFDM", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 30, no. 4, pp. 466–472, 2012.

[10] T. Saikai, T. Yamamoto, H. Yasaka and E. Yamada, "Flat-top Optical Frequency Comb Block Generation using InP-based Mach-Zehnder Modulator", in *Proc. of the 25th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials*, IPRM2013, Kobe, Japan, May. 2013, paper MoD3-3.

[11] Z. Wang, K. Van Gasse, V. Moskalenko, S. Latkowski, E. Bente, B. Kuyken y G. Roelkens, "A III-V-on-Si ultra-dense comb laser", *Journal Light: Science & Applications*, Vol 6, e16260, 2017.

[12] S. Arafin and L. A. Coldren, "Advanced InP Photonic Integrated Circuits for Communication and Sensing," in *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 24, no. 1, pp. 1-12, Jan.-Feb. 2018.

[13] J. S. Parker, A. Bhardwaj, P. R. A. Binetti, Y.-J. Hung, and L. A. Coldren, "Monolithically Integrated Gain-Flattened Ring Mode-Locked Laser for Comb-Line Generation," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 2, pp. 131–133, Jan. 2012.

[14] OCLARO. <http://www.oclaro.com/technology/photonic-integration/>

[15] J. Zhao, "Integrated Multi-Wavelength Transmitter using Filtered-Feedback", Thesis dissertation, The Netherlands, 2013.

[16] Y. Dou, H. Zhang and M. Yao, "Generation of Flat Optical-Frequency Comb Using Cascaded Intensity and Phase Modulators," in *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 24, no. 9, pp. 727-729, May 2012.

[17] E. Bente, V. Moskalenko, S. Latkowski, S. Tahvili, L. Augustin and M. Smit, "Monolithically integrated InP-based modelocked ring laser systems", *Proc. of SPIE*, vol. 9134, pp. 91340C-1–91340C-10, 2014.

[18] K. A. Williams, M G Thompson and I H White "Long-wavelength monolithic mode-locked diode lasers" *New Journal of Physics* Vol. 6, 179, 2004.

[19] V. Moskalenko, J. Javaloyes, S. Balle, M. K. Smit and E. A. J. M. Bente, "Theoretical Study of Colliding Pulse Passively Mode-Locked Semiconductor Ring Lasers With an Intracavity Mach-Zehnder Modulator," in *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 50, no. 6, pp. 415-422, Jun. 2014.

[20] SMART PHOTONICS. <http://www.smartphotonics.nl/>

[21] L. Chen, C. R. Doerr, N. Dupuis, "Tunable optical frequency comb generator", United States Patent application publication, Sep. 13, 2012.

# Tamaño óptimo de la ventana en un filtro de media móvil para RSSI: mejorando la estimación de la distancia con Bluetooth

Diego Ordóñez-Camacho, Estevan Gómez, Héctor Ávalos

Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador  
dordonez@ute.edu.ec, estevan.gomez@ute.edu.ec, havalos@ute.edu.ec

**Resumen**—Estimar la distancia a partir de la intensidad de la señal RSSI tiene varias complicaciones, especialmente al usar dispositivos no especializados o de consumidor. La señal es muy inestable y presenta importantes niveles de ruido; es fuertemente afectada por las condiciones del entorno y de los mismos dispositivos. En este artículo, en primer lugar se caracterizan experimentalmente diferentes condiciones de este ruido, luego se analizan distintas parametrizaciones del filtro de media móvil simple, para estabilizar y suavizar la señal; finalmente, se calcula mediante el Óptimo de Pareto, el valor de ventana que hace las veces de punto de equilibrio para todos los datasets analizados. Los resultados experimentales muestran que el filtro de media móvil tiene notables beneficios al estimar la distancia a partir de la señal RSSI.

**Palabras Clave**—RSSI, Bluetooth, filtros de señal, media móvil, sistemas de posicionamiento en interiores.

**Abstract**—Estimating distance from RSSI is not a straightforward task, especially when using consumer devices. The signal presents large levels of noise, and it is heavily affected by the conditions of the environment and by the devices themselves. In this paper we characterize experimentally different conditions of this noise, then we analyze different parameter values for the simple moving average filter used for signal smoothing and stabilization; finally, we calculate the Pareto Optimum to find the window size acting as equilibrium point for all the datasets. The experimental results showed that the moving average filter has notorious benefits on precision when estimating distance based on the RSSI signal.

**Keywords**—RSSI, Bluetooth, Signal filter, Moving Average, Indoor positioning system.

## I. INTRODUCCIÓN

Los *Indoor Positioning Systems* (IPS) [1], se diseñaron para determinar la ubicación cuando el uso del GPS no es posible. Pueden usarse emisores de Radio Frecuencia (RF) para difundir una señal; los equipos receptores capturan y procesan dicha señal para poder estimar su distancia del emisor. Para calcular la distancia a partir de señales de RF deben presentarse al menos dos condiciones: la ubicación precisa de los emisores debe ser conocida por los equipos receptores y la potencia de la señal debe disminuir al aumentar la distancia. La disminución de la potencia en la señal de RF es intrínseca en sistemas de comunicación tales como WiFi o Bluetooth [2].

En la actualidad Bluetooth está presente en prácticamente todo teléfono inteligente. Esta disponibilidad hace que esta sea una buena alternativa para construir sistemas experimentales de posicionamiento en interiores [3]. Al poner el componente Bluetooth de un dispositivo Android en

modo visible, este empieza a emitir una señal de RF que puede ser capturada por aquellos receptores en los cuales se haya activado el modo de detección. De esta manera un dispositivo receptor puede extraer información acerca de un emisor, como por ejemplo nombre, dirección de red y el *Received Signal Strength Indication* (RSSI). El RSSI es un valor que representa la intensidad de la señal emitida y teóricamente se encuentra en el rango entre 0 y - 100 dBm; este valor disminuye al aumentar la distancia entre emisor y receptor [4].

Una de las principales problemáticas en este campo es aquella de estimar la distancia entre dos dispositivos mediante RSSI. La señal se ve afectada por las condiciones específicas del entorno y por los mismos dispositivos. Pequeñas variaciones en el entorno pueden producir lecturas muy diferentes e, inclusive cuando las condiciones son iguales, la señal es *per se* ruidosa e inestable [5]. Estudios previos, sin embargo, han demostrado que ciertos filtros digitales de suavizado de señal, como los filtros de media móvil tipo *Simple Moving Average* (SMA), pueden tener un efecto positivo al ser aplicados a la señal RSSI, aumentando, por ende, la calidad de la estimación de la distancia [6]; el SMA requiere parametrizar el tamaño de la ventana para el cálculo del promedio, de lo cual depende su efectividad

Varios estudios relacionados se han efectuado alrededor de esta temática y a continuación se describen los que, hasta donde se ha podido observar, son probablemente los más relevantes con respecto al problema analizado. En el campo de las balizas Bluetooth Low Energy, Heo y Kwon [7] usan teléfonos inteligentes como receptores y proponen un algoritmo que mediante compensación de la señal del giroscopio es utilizado para reducir el ruido en la señal RSSI. Cabrera et al. [8]–[10] generan un prototipo de sistema IPS utilizando RSSI, Bluetooth y dispositivos Android de consumidor en el cual prueban filtros de media móvil con pequeñas ventanas y proponen el filtro de banda pasante con límites adaptativos. Onofre et al. [11] usan lógica difusa para solventar el problema de la inexactitud en la estimación. Kuxdorf et al. [12] calibran la señal mediante un sistema bidireccional que se vale tanto del emisor como del receptor. Jadidi et al. [13] hacen uso de clasificación mediante procedimientos gaussianos para definir un modelo predictivo de aprendizaje. Otra de las tecnologías frecuentemente utilizadas en este campo son las redes ZigBee. Yu y Guo [14] estudian cómo se puede mejorar la precisión a partir de la señal RSSI mediante el uso de filtros de Kalman, mientras que Aykaç et al. [15] lo hacen utilizando filtros de partículas. Lin et al. [16] proponen un

método iterativo de mínimos cuadrados para reducir el error y optimizar la relación entre los nodos. El uso de la infraestructura de redes WiFi está también difundido. Luo et al. [17] proponen un sistema distribuido de trazas de señal para reducir el error en la estimación de la distancia. Xue et al. [18] se concentran en disminuir la interferencia por trayectoria múltiple mediante un número variable de medidas RSSI máximas. Finalmente, Nagaraju et al. [19] hacen uso de un nodo único equipado con antena sectorial, el cual estima la distancia al nodo objetivo exclusivamente dentro del sector de análisis.

El objetivo final de este trabajo es, entonces, encontrar un tamaño de ventana que pueda considerarse óptimo de manera general para los diferentes equipos utilizados, en el contexto de una optimización multiobjetivo, permitiendo obtener un filtro SMA que mejore la estimación de la distancia a partir de la señal RSSI. Sobre la base del contexto presentado, se proponen las siguientes contribuciones:

- Una caracterización experimental del ruido y la inestabilidad en la señal RSSI, en dispositivos Android de consumidor, y su relación con la distancia;
- La aplicación de los filtros SMA a la señal RSSI recolectada, estudiando cómo el tamaño de la ventana móvil afecta al error de cálculo de la distancia entre emisor y receptor;
- El cálculo de un tamaño de ventana SMA óptima para satisfacer a varios datasets manteniendo una precisión satisfactoria en la estimación de la distancia por RSSI.

## II. METODOLOGÍA

Para el levantamiento de datos se utilizaron 4 dispositivos móviles tipo teléfono inteligente, con sistema operativo Android:

- p500h, Bluetooth 2.1, API 8 (LGP)
- i9300, Bluetooth 4.0, API 18 (S3)
- n9005, Bluetooth 4.0, API 21 (N3)
- f8132, Bluetooth 4.2, API 23 (SXXP)

Los equipos se seleccionaron, de entre un grupo de dispositivos disponibles, para maximizar la variabilidad en cuanto a versión Bluetooth y API, acorde con [8]. Para activar el modo de descubierta en los emisores, e iniciar el envío de la señal, se utilizaron las facilidades proporcionadas por el sistema operativo. Para el modo de recepción, se desarrolló una aplicación personalizada que permitió en cada etapa indicar los nombres de los emisores a escanear, la distancia real, el número de tomas a realizar, el tiempo máximo de espera y finalmente capturar la señal RSSI y registrar los datos en un archivo de log, según [9].

El experimento se realizó en el espacio tipo donde se implementará el sistema en vivo: al interior de un edificio de oficinas, en un corredor de 28 metros de largo por 3 metros de ancho, con línea de vista entre los extremos y sin circulación de gente al momento de realizar la toma de datos, siguiendo los lineamientos en [10]. Se seleccionaron aleatoriamente los equipos emisores y receptores y se efectuaron cuatro rondas de toma de datos de acuerdo a la siguiente distribución de parejas emisor-receptor:

- LGP-N3
- LGP-SXXP
- S3M-N3

- S3M-SXXP

En cada una de las rondas se procedió de la misma manera, consistentemente con [20]:

- Se hicieron 27 recolecciones de tomas de datos, con intervalos de 1 metro cada una, ubicando el emisor, en modo descubierta, en un extremo del corredor y desplazando el receptor desde una distancia de 1 m con relación al emisor, hasta los 27 metros, al otro extremo del corredor;
- Se configuró la aplicación del receptor para hacer hasta 20 muestreos en cada recolección (posición/distancia), con un tiempo máximo de recepción de 1 minuto.

Como resultado de las 4 rondas, con 27 recolecciones y 20 muestreos, se recopilaron 1715 muestras en total, obteniendo un dataset más grande que el Miskolc IIS [21].

Para estudiar el efecto de los filtros SMA se construyeron 4 datasets de base, uno por cada ronda (pareja emisor-receptor). Mediante el software estadístico R[22], versión 3.5 y el paquete *pracma* (*Practical Numerical Math Functions*) se aplicaron 300 filtros de media móvil, variando para cada uno la ventana de datos, entre 1 (señal en bruto, sin filtrar) y 300 (o el número máximo de muestras en aquellos datasets con menos de 300).

Una vez aplicados los filtros se construyó un quinto dataset global que consolidó los otros cuatro. Para cada uno de los cinco datasets resultantes, mediante el paquete de R, *caret* (*Classification And REgression Training*), se calculó, por cada filtro, una regresión lineal simple, recolectando luego el *Root Mean Squared Error* (RMSE) [23], [24], calculado con validación cruzada de 10 iteraciones (*K-fold*) [25], [26].

Para encontrar el tamaño de filtro que mejor se ajuste a los cinco datasets, se normalizaron los valores de error reportados por cada uno y, con todos ellos, se calculó el Óptimo de Pareto [27], [28] para encontrar el tamaño adecuado de la ventana del filtro, mediante el paquete de R, *rPref* [29]. Finalmente se calcularon los valores de error promedio tanto de la señal en bruto como de la filtrada y se compararon los resultados.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación podemos observar en la Figura 1, el resultado de aplicar, para cada uno de los cuatro datasets de base (LGP-N3, LGP-SXXP, S3M-N3, S3M-SXXP) y para el dataset consolidado (ALL), los filtros SMA con una ventana que varía de 1, datos en bruto, a la extrema izquierda del gráfico, hasta 300, a la derecha del gráfico.

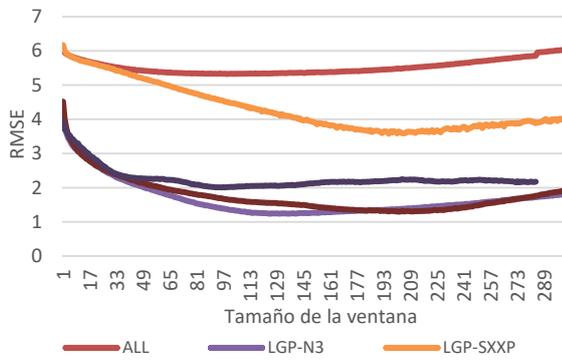


Fig. 1. RMSE según el tamaño de la ventana por cada dataset

En todos los casos podemos ver que ventanas muy pequeñas o muy grandes no se comportan de manera adecuada, mientras que hacia el tercio al medio del gráfico se encuentran los mejores resultados y existe una reducción importante del RMSE.

Para cada grupo de datos se ubican los mejores resultados (RMSE mínimo) los cuales se presentan en la Tabla I. Por cada dataset podemos comparar el valor sin filtrado (Raw) con el filtro de menor error, junto al cual se indica el tamaño de la ventana que se aplicó. Al extremo derecho de la tabla puede observarse el porcentaje de reducción del error al aplicar el filtro.

La ganancia, o reducción del RMSE, en el dataset de referencia o global (ALL) es de 12 %, mientras que en los datasets de base pueden apreciarse reducciones muy importantes que van del 42 % al 71 %, las cuales se muestran altamente competitivas si se comparan con [30], [31]. Hay que destacar sin embargo que los datasets de base hacen referencia al emparejamiento de equipos específicos por lo que dichos datos no son generalizables, mientras que los resultados del dataset global lo son.

TABLA I  
VENTANA MÓVIL CON RMSE MÍNIMO POR DATASET

Dataset	RMSE			Gain
	Raw	Min	Window	
ALL	6.069	5.322	(99)	12%
LGP-N3	4.249	1.238	(125)	71%
LGP-SXXP	6.169	3.576	(196)	42%
S3M-N3	4.518	1.298	(202)	71%
S3M-SXXP	3.955	2.006	(98)	49%
<b>Average</b>	4.992	2.688		46%

Los datos, tal y como se presentan luego de la aplicación de los filtros no son comparables puesto que presentan distintos patrones de error. Para poder establecer la comparación, entonces, el siguiente paso es normalizar los resultados, mediante unidad tipificada, lo cual puede verse en la Figura 2.

Esta normalización nos permite calcular un punto de equilibrio común para todos los datasets. Para calcular este punto utilizamos el Óptimo de Pareto.

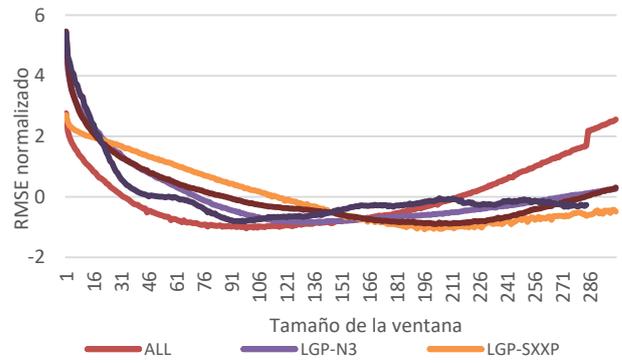


Fig. 2. RMSE normalizado según el tamaño de la ventana por cada dataset

Los datos pueden observarse en la Tabla II, donde por cada dataset podemos establecer la comparación entre el RMSE con el valor en bruto, y el filtro óptimo, con una ventana de 94.

TABLA II  
RMSE CON ÓPTIMO DE PARETO POR DATASET (VENTANA DE 94)

Dataset	RMSE		Gain
	Raw	Óptimo (94)	
ALL	6.069	5.330	12%
LGP-N3	4.249	1.409	67%
LGP-SXXP	6.169	4.579	26%
S3M-N3	4.518	1.695	62%
S3M-SXXP	3.955	2.009	49%
<b>Average</b>	4.992	3.005	40%

La ganancia que se obtiene con el punto óptimo sigue siendo del 12% para el dataset de referencia con un promedio global del 40% en la reducción del error. Hay una pérdida del 6 % con respecto a la ventana mínima en los datasets de base, pero esta puede considerarse razonable. El principal beneficio de este cálculo es haber obtenido un punto de equilibrio entre todos los datasets, mediante la optimización multiobjetivo, con una reducción de error equilibrada, que no va en detrimento de ninguna combinación de equipos [32] y que sin embargo mantiene una importante mejora del 40% en la exactitud en la estimación de la distancia, superando ampliamente los resultados de trabajos previos donde la ventana se asignaba ad-hoc [8]-[10].

#### IV. CONCLUSIONES

En este artículo se analizó cómo la inestabilidad de la potencia de la señal RSSI, al usar Bluetooth en dispositivos Android de consumidor, en las funciones tanto de emisor como de receptor, afectan a un sistema de posicionamiento en interiores reduciendo la precisión al calcular la distancia. Se confirmó que la intensidad de la señal RSSI está relacionada inversamente con la distancia y se encontró que distintos dispositivos, al emparejarse como emisor-receptor, presentan diferentes patrones en la amplitud de la señal, que inducen errores que pueden ir de los 3.9 a los 6.1 metros (sin aplicar ningún filtro).

Se aplicó el filtro SMA a los datos recolectados, utilizando un rango de 1 a 300 en el tamaño de ventana; se midió el error mediante una regresión lineal con validación cruzada de 10 iteraciones y se encontró que los tamaños de ventana a los extremos inferiores o superiores del rango no son aconsejables, mientras que el error se reduce

significativamente en el tercio medio del rango. Finalmente, mediante el Óptimo de Pareto se calculó el tamaño óptimo de la ventana que satisfaga de la mejor manera a todos los datasets utilizados, el cual se estableció en 94. La reducción en el RMSE, para esta ventana óptima, fue del 12 % en el dataset global de referencia. En general, al considerar este problema como una optimización multiobjetivo, la mejora en la exactitud de la estimación de la distancia fue del 40 %.

#### REFERENCIAS

- [1] L. Mainetti, L. Patrono, y I. Sergi, "A survey on indoor positioning systems", en *Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), 2014 22nd International Conference on*, 2014, pp. 111–120.
- [2] S. Hara *et al.*, "Propagation characteristics of IEEE 802.15. 4 radio signal and their application for location estimation", en *Vehicular Technology Conference, 2005. VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st*, 2005, vol. 1, pp. 97–101.
- [3] R. Piyare, "Internet of things: ubiquitous home control and monitoring system using android based smart phone", *Int. J. Internet Things*, vol. 2, núm. 1, pp. 5–11, 2013.
- [4] "IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks–Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", *IEEE Std 80211-2012 Revis. IEEE Std 80211-2007*, pp. 1–2793, mar. 2012.
- [5] R.-H. Wu, Y.-H. Lee, H.-W. Tseng, Y.-G. Jan, y M.-H. Chuang, "Study of characteristics of RSSI signal", en *Industrial Technology, 2008. ICIT 2008. IEEE International Conference on*, 2008, pp. 1–3.
- [6] P. Bellavista, A. Corradi, y C. Giannelli, "Evaluating filtering strategies for decentralized handover prediction in the wireless internet", en *Computers and Communications, 2006. ISCC'06. Proceedings. 11th IEEE Symposium on*, 2006, pp. 167–174.
- [7] J. Heo y Y. Kwon, "Improved Indoor Positioning System Using BLE Beacons and a Compensated Gyroscope Sensor", en *Intelligent Robotics and Applications, 2017*, pp. 69–76.
- [8] E. Cabrera-Goyes y D. Ordóñez-Camacho, "Towards a Bluetooth Indoor Positioning System with Android Consumer Devices", en *2017 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 2017, pp. 56–59.
- [9] E. Cabrera-Goyes y D. Ordóñez-Camacho, "Posicionamiento en espacios interiores con Android, Bluetooth y RSSI", *Enfoque UTE*, vol. 9, núm. 1, pp. 118–126, mar. 2018.
- [10] D. Ordóñez-Camacho y E. Cabrera-Goyes, "An Adaptive-Bounds Band-Pass Moving-Average Filter to Increase Precision on Distance Estimation from Bluetooth RSSI", en *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018)*, 2018, pp. 823–832.
- [11] S. Onofre, B. Caseiro, J. P. Pimentão, y P. Sousa, "Using Fuzzy Logic to Improve BLE Indoor Positioning System", en *Technological Innovation for Cyber-Physical Systems*, 2016, pp. 169–177.
- [12] N. Kuxdorf-Alkirata, T. Werthwein, A. Heinemann, y D. Brückmann, "A self-calibrating bidirectional indoor localization system", en *2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2017, pp. 3276–3280.
- [13] M. G. Jadidi, M. Patel, y J. V. Miro, "Gaussian processes online observation classification for RSSI-based low-cost indoor positioning systems", en *2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2017, pp. 6269–6275.
- [14] Z. Yu y G. Guo, "Improvement of Positioning Technology Based on RSSI in ZigBee Networks", *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 95, núm. 3, pp. 1943–1962, ago. 2017.
- [15] M. Aykaç, E. Erçelebi, y N. B. Aldin, "ZigBee-based indoor localization system with the personal dynamic positioning method and modified particle filter estimation", *Analog Integr. Circuits Signal Process.*, vol. 92, núm. 2, pp. 263–279, ago. 2017.
- [16] K. H. Lin, C. C. Lu, H. M. Chen, H. F. Li, y C. F. Chuang, "A modified least squares iteration for indoor positioning system", en *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW)*, 2017, pp. 109–110.
- [17] Q. Luo *et al.*, "DEDF: lightweight WSN distance estimation using RSSI data distribution-based fingerprinting", *Neural Comput. Appl.*, vol. 27, núm. 6, pp. 1567–1575, ago. 2016.
- [18] W. Xue, W. Qiu, X. Hua, y K. Yu, "Improved Wi-Fi RSSI Measurement for Indoor Localization", *IEEE Sens. J.*, vol. 17, núm. 7, pp. 2224–2230, abr. 2017.
- [19] S. Nagaraju, L. J. Gudino, B. V. Kadam, R. Ookalkar, y S. Udeshi, "RSSI based indoor localization with interference avoidance for Wireless Sensor Networks using anchor node with sector antennas", en *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 2233–2237.
- [20] J. A. Jayakody, S. Lokuliyana, D. Chathurangi, y D. Vithana, "Indoor positioning: Novel approach for Bluetooth networks using RSSI smoothing", *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 137, núm. 13, 2016.
- [21] Z. Tóth, "ILONA: indoor localization and navigation system", *J. Locat. Based Serv.*, mar. 2016.
- [22] T. Rahlf, *Data Visualisation with R*. New York: Springer International Publishing, 2017.
- [23] T. Chai y R. R. Draxler, "Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature", *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, núm. 3, pp. 1247–1250, jun. 2014.
- [24] G. Brassington, "Mean absolute error and root mean square error: which is the better metric for assessing model performance?", presentado en *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2017, vol. 19, p. 3574.
- [25] P. Refaeilzadeh, L. Tang, y H. Liu, "Cross-Validation", en *Encyclopedia of Database Systems*, Springer, New York, NY, 2016, pp. 1–7.
- [26] M. T. Ribeiro, S. Singh, y C. Guestrin, "'Why Should I Trust You?': Explaining the Predictions of Any Classifier", en *Proceedings of the 22Nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, New York, NY, USA, 2016, pp. 1135–1144.
- [27] D. V. Balandin y M. M. Kogan, "Pareto suboptimal solutions in control and filtering problems under multiple deterministic and stochastic disturbances", en *2016 European Control Conference (ECC)*, 2016, pp. 2263–2268.
- [28] L. Tock y F. Maréchal, "Decision support for ranking Pareto optimal process designs under uncertain market conditions", *Comput. Chem. Eng.*, vol. 83, pp. 165–175, dic. 2015.
- [29] P. Rooks, "Computing pareto frontiers and database preferences with the rPref Package", *RJ*, vol. 8, núm. 2, pp. 393–404, 2016.
- [30] A. Singh y R. Mehra, "Adaptive RLS-Received Signal Strength Algorithm in Wireless Network Area for Multi-Mobile Nodes Location Estimation System", *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 64, núm. 15, pp. 12–15, feb. 2013.
- [31] R. Mehra y A. Singh, "Real time RSSI error reduction in distance estimation using RLS algorithm", en *2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2013, pp. 661–665.
- [32] H. Aziz, J. Lang, y J. Monnot, "Computing Pareto Optimal Committees", en *Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2016*, New York, United States, 2016, pp. 60–66.

# 3D ray launching simulation of urban vehicle-to-infrastructure radio propagation links

Fausto Granda<sup>a,b</sup>, Leyre Azpilicueta<sup>b</sup>, Darwin Aguilar<sup>a</sup>, Cesar Vargas-Rosales<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Electrical and Electronic Engineering Department, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí 171-5-231B, Ecuador.

<sup>b</sup>School of Engineering and Sciences, Tecnológico de Monterrey, Monterrey 64849, Mexico. flgranda@espe.edu.ec, leyre.azpilicueta@itesm.mx, dlaguilar@espe.edu.ec, cvargas@itesm.mx

**Resumen**—Las redes vehiculares ad-hoc (VANET) permiten la comunicación de vehículos inteligentes, y las ciudades inteligentes deben aprovechar sus aplicaciones y beneficios en las operaciones de transporte. En los entornos urbanos, la propagación multitrayecto de la señal de comunicación inalámbrica está relacionada con fenómenos como la reflexión, refracción, difracción y pérdida de transmisión. Este trabajo presenta algunas métricas de un enlace Vehículo a Infraestructura (V2I) como: atenuación de canal (path-loss), perfil de retardo potencia (power delay profile), ancho de banda de coherencia (Coherence Bandwidth) y mean excess delay, utilizando un algoritmo determinista de lanzamiento de Rayos 3D (3D-RL). Se presenta un análisis espacial que utiliza redes inalámbricas de sensores (WSN) a 868 MHz, 2.4 Ghz y 5.9 GHz. Los resultados muestran el impacto de factores como: geometría, propiedades dieléctricas y posición relativa de los obstáculos, ubicación de las antenas transmisoras y frecuencia del enlace V2I. La simulación 3D-RL muestra una mejor representación de los fenómenos de propagación en tipos especiales de intersecciones como redondeles cuando se compara con un modelo teórico, y destaca la importancia de consideraciones espaciales de distancia y segmentación del escenario para obtener resultados consistentes.

**Palabras Claves**—3D Ray Launching, Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET), IEEE 802.11p, Vehicle-to-Infrastructure communication (V2I), Wireless Sensor Networks (WSN).

**Abstract**—Vehicular ad hoc networks (VANETs) enable vehicles to communicate with each other as well as with roadside units (RSUs), and Smart Cities must be able to take advantage of its applications and benefits on transportation operations. In urban environments some propagation impairments as reflection from, diffraction around and transmission loss through objects gives rise temporal and spatial variation of path loss and multipath effects. This work evaluates some parameters of a Vehicle-to-Infrastructure (V2I) wireless channel link such as large-scale path loss and multipath metrics in an urban scenario, using a deterministic 3D Ray-Launching (3D-RL) algorithm. Spatial analysis using Wireless Sensor Networks (WSNs) at 868 MHz, 2.4 Ghz and 5.9 GHz is presented. Results show the impact of factors as: geometry, dielectric properties and relative position of the obstacles, placement of the RSU and frequency link, in the V2I communication. The 3D-RL simulation shows better representation of the propagation phenomena when compared with an analytical path loss model, mainly at special types of intersections as roundabouts and give insight of the importance of the spatial distance and scenario segmentation to get consistent results.

**Keywords**—3D Ray Launching, Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET), IEEE 802.11p, Vehicle-to-Infrastructure communication (V2I), Wireless Sensor Networks (WSN).

## I. INTRODUCTION

Effective transport services will be a major challenge for

future Smart Cities. In Latin America region's high urbanization and relatively high income call for fairly sophisticated urban transport systems [1]. Intelligent Transportations Systems (ITS) have the potential to harness the benefits that provide the Connected Vehicles (CV) in areas as safety, mobility, environment and data [2], which in turn will be boosted with the development of private initiatives [3], academic research and governmental projects [4] in the area of ITS where applications ranging from safe critical [5], up to on-car multimedia streaming [6]. The ongoing research of CV and its benefits currently is focused on light vehicles, freight, and transit, with limited applications for motorcyclists, bicyclists, and pedestrians.

CV research enables wireless communications and includes three major approaches for communications: vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I) and vehicle-to-pedestrian (V2P). Motorcyclists or bicyclists can carry mobile devices, allowing vehicles and infrastructure to communicate with other CV participants and vice versa known as vehicle-to-anything (V2X). In 1999, the U.S. Federal Communication Commission (FCC) allocated a 75 MHz of licensed spectrum at 5.9 GHz to be used as V2V and V2I communications known as Dedicated Short Range Communications (DSRC), and the IEEE 802.11p standard [7], was developed to operate at this band. In Europe the government have licensed the 5.9 GHz while in Japan have licensed the 5.8 GHz for vehicular communication. This dedicated network provides a low-latency wireless communications permitting fast and reliable data transmissions at high velocities, critical for safety applications in short-to-medium-range.

The vehicular communications in urban environments are challenged by the rapid changes in the radio propagation conditions where some propagation impairments as reflection from, diffraction around and transmission loss through objects, give rise to temporal and spatial variation of path loss and multipath effects from reflected and diffracted components of the wave. While stochastic and geometry-based stochastic could fail into characterize significant surrounding obstacles (foliage, lamppost, pedestrians, etc.) and V2I field test provides useful insight for specific in-situ scenarios [8], the deterministic Ray Launching simulators are suited for vehicular propagation analysis of electrical-large scenarios yielding a reasonable tradeoff between accuracy and computational cost. Although the literature includes many propagation models and channel simulators for V2X systems [9]–[12], there is a need for further studies to investigate V2I propagation using 3D deterministic tools in complex environments as the urban.

In this work, the analysis of the V2I large-scale and small-scale signal propagation phenomena in a urban environment, has been carried out using an in-house 3D Ray-Launching (3D-RL) algorithm whose operating mode has been validated in intra-vehicle and transportation systems [13], [14]. Results show that factors as geometry, dielectric properties of the obstacles, placement of the RSU, and frequency link have significant impact in the V2I analysis. Factors as the spatial position of the obstacles respect to the transmitter (TX), and the scenario segmentation has been taken into account to obtain accurate and consistent results given that, the large-scale and small-scale parameters cannot be assumed constant due to the non-stationary nature of vehicular communications channel [15].

The remaining parts of the paper are organized as follow: Section II presents a brief explanation of the 3D-Ray Launching (3D-RL) technique. Section III describes the scenario characterization and simulation parameters. Section IV reports the large-scale and small-scale simulation results. Conclusions are summarized in Section V.

## II. RAY LAUNCHING (RL) TECHNIQUE

A deterministic method based on an in-house developed 3-D Ray Launching (RL) code has been used to analyze the radio electric behavior of the considered scenario. The 3D RL algorithm is based on Geometrical Optics (GO) and Geometrical Theory of Diffraction (GTD). The main principle of the RL techniques is to identify a single point on the wave front of the radiated wave with a ray that propagates in the space following a combination of optic and electromagnetic theories. Each ray propagates in the space as a single optic ray. When the rays impact with an obstacle in its path, a reflected and a transmitted ray are created with new angles provided by Snell's law.

The RL algorithm is performed three-dimensionally, with angular resolution (horizontal and vertical planes) in a predefined solid angle that considers the radiation diagram of the transceivers sources. Spatial resolution is also defined by a uniform hexahedral mesh. Parameters such as frequency of operation, radiation patterns of the antennas, number of multipath reflections, separation angle between rays, and cuboid dimension can be taken into account. Besides, all the material properties for all the elements within the scenario can also be considered, given the dielectric constant and the loss tangent at the frequency range of operation of the system under analysis. When a ray impacts with an obstacle, reflection, refraction and diffraction will occur, depending on the geometry and the electric properties of the object.

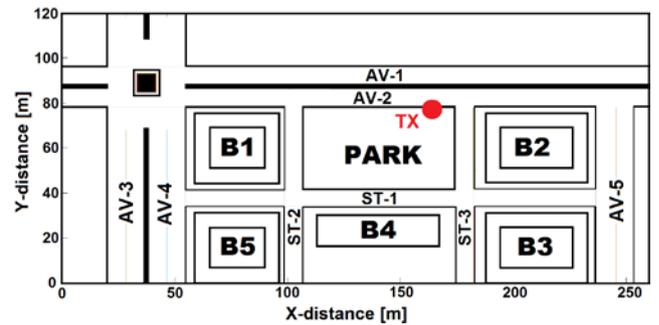
## III. SCENARIO REPRESENTATION

Fig. 1 shows the selected urban scenario where (a) correspond to its google-maps<sup>1</sup> aerial view and, (b) is an approximate 2D schematic representation. An exact representation of this particular scenario was not possible due to graphics limitations of the 3D-RL simulator, nonetheless, some spatial considerations and scenario

segmentation were used to minimize the resulting errors for the propagation analysis. The Received Signal Threshold (RST) was chosen according as reported for commercial V2X radio-communication products [16]. The TX antenna is represented with a red circle.



(a)



(b)

Fig. 1. Represented urban scenario: (a) google-maps aerial-view, (b) 2D approximate schematic view.

The simulated area encompasses 624.000 m<sup>3</sup> and includes elements as vegetation, buildings, park-benches, lampposts, cars, pedestrians, avenues, streets and sidewalks. Simulation 3D-RL parameters are registered in Table I.

TABLE I  
3D SIMULATION PARAMETERS

<b>TX:</b> Power transmitted /Gain /Frequencies Polarization /Height	0dBm / 0dB / 868Mhz, 2.4 GHz, 5.9 GHz Omnidirectional / 3.5 m
<b>RX:</b> RST*/Gain /Frequencies Polarization /Height	-100 dBm / 0 dB / 868Mhz, 2.4 GHz, 5.9 GHz Omnidirectional / 1.5m
<b>3D-RL:</b> angular resolution / permitted reflections / cuboid segmentation	$\pi/180$ rad / 7 hops / 1m <sup>3</sup> (1 × 1 × 1) m
Urban scenario dimension	(260 × 120 × 20) m

## IV. RESULTS

### A. Large-Scale Path Loss

This large-scale spatial path loss subsection presents the Received Signal Strength (RSS) spatial representation as function of the Euclidean distance. The left (x-axis) distances from TX were prefixed with negative sign while right distances remain positive. The Line-of-Sight (LoS) regions had been identified. The RSS data generated by the 3D-RL simulator was fitted using Least Square (LS), which is robust to minimize the outliers effect, and could be used for comparison purposes with theoretical path loss models (PLM).

<sup>1</sup> <http://www.google.com/maps> (42°47'52.72N, 1°38'21.14W)

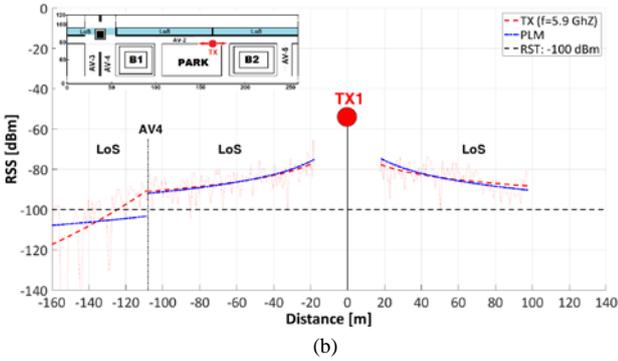
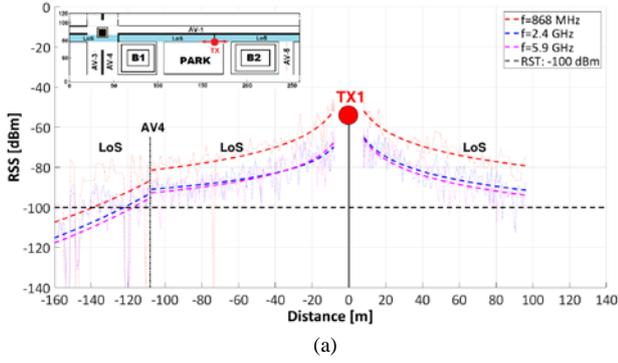


Fig. 2. Spatial Path Loss along: (a) AV-2, (b) AV-1

Fig. 2(a) depicts the path loss along AV-2 (light-blue colored in the upper leftmost picture) for 868 MHz, 2.4 GHz and 5.9 GHz frequencies and, Fig. 2(b) illustrates the path loss along AV-1 (light-blue colored in the upper leftmost picture) for 5.9 GHz and its comparison with a theoretical path loss model presented in [17].

Fig. 2(a) shows higher RSS values at 868MHz, while the higher multipath effects (data variability and dispersion) are related with 5.9 GHz. Fig. 2(b) presents good agreement between the 3D-RL and the theoretical PLM which can be explained for the LoS conditions, nonetheless, the roundabout which can be considered a special type of street intersection, causes marked decay and data variability in the RSS and this behavior cannot be accurately represented or predicted by the PLM. The Path Loss Exponent (PLE) was reported already 3.0 with Standard Deviation (STD) of 20.0 dB. Impairment factors as the roundabout may deteriorate the power signal irrespective of the TX-RX distance [18] and the V2I communication is significantly degraded or below the RST.

### B. Received Power

Fig. 3 displays a surf plot of the RSS for 2.4 GHz. The buildings and roundabout cause significant RSS decay and data dispersion which is magnified at farthest distances.

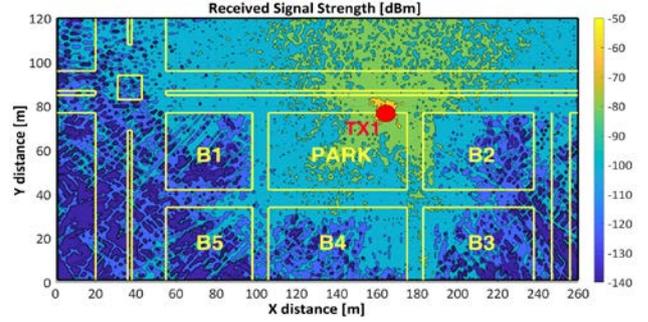


Fig. 3. Received Signal Strength (2.4GHz)

The waveguide effect is present in some areas of ST-1, ST-2 and ST-3 where TX rays impact upon the lining walls of the buildings; factors as the width and length of the streets and the incidence angle of the transmitted rays, define the magnitude of the waveguide effect. The NLoS caused by buildings generate high path loss and severe fluctuations in the RSS at AV-3, AV-4 and AV-5.

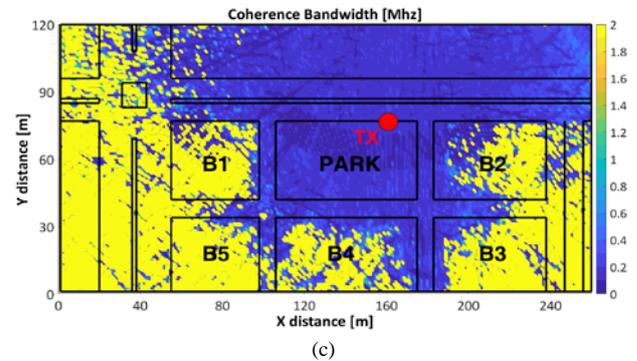
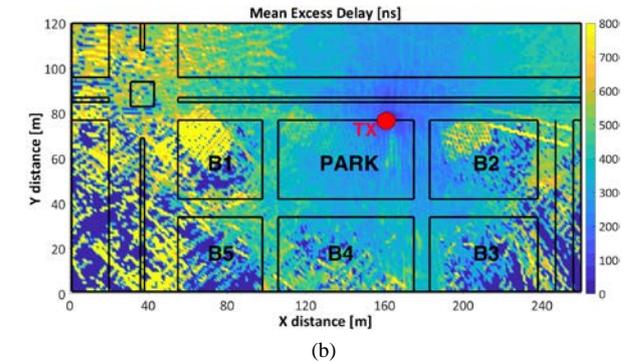
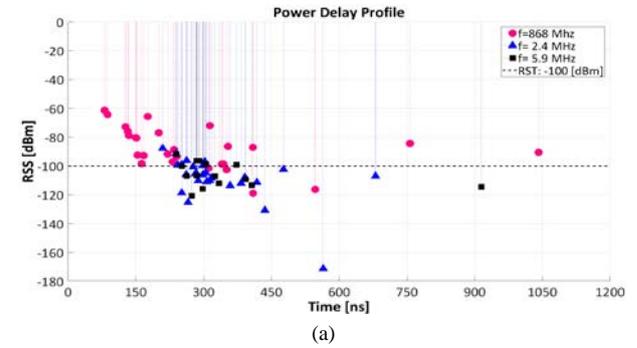


Fig. 4. Multipath metrics: (a) PDP, (b) Mean Excess Delay (2.4 GHz), (c) CB (2.4 GHz).

### C. Multipath metrics

The analysis of multipath metrics must be understood and determined to develop a proper scheme for wireless

communications. The Power Delay Profile (PDP) quantifies the number and severity of power rays, the Mean Excess Delay quantify the time dispersive properties of multipath channels and, the Coherence Bandwidth (CB) is the range of frequencies over which two frequency components have a strong potential for amplitude correlation [17].

Fig. 4 depicts some multipath metrics where: (a) is the PDP for 868 MHz, 2.4 GHz and 5.9 GHz, (b) is the mean Excess delay (2.4 GHz) and (c) is the CB (2.4 GHz, and frequency correlation of 0.9). The PDP shows a large number of power rays in a time span of 0 to 1050ns with higher RSS values for 868 MHz; the multipath effects are more severe for 5.9 GHz. The Mean Excess Delay is increased in the extent of the amplitudes of the reflected signals relative to the direct path TX-RX become larger. Low CB values are an indicator of high channel occupancy and its analysis must be complementary with the large-scale path loss (subsection A) and received power (subsection B). This metrics help to understand the high dispersive nature of this urban environment. Based on the aforementioned results, at least 4 TX are suggested to provide complete scenario coverage: two for the park area (opposite configuration), one for the roundabout area and one for the AV-5.

## V. CONCLUSIONS

A deterministic 3D-RL tool was used to estimate some V2I large-scale and small-scale propagation parameters for different frequencies in an urban scenario, opening a path for the analysis of issues as channel models, packet error performance, scalability, heterogeneous network operation, etc. The Path Loss analysis show good agreement with a PLM, however, the 3D-RL results are more accurate, mainly in areas as roundabouts where the RSS values undergo significant decay and PLE and STD values experiment sensitive increment, irrespective of the distance. Multipath effects are more severe for high frequencies. High CB values are related with channel availability for other frequency links, useful for the analysis of cognitive radio applications. Factors as geometry and relative position of the obstacles, placement of the TX and frequency link, have significant impact in the V2I communication. These results are oriented to be useful in the early stages of the radio-planning phase of WSNs for urban V2I deployments.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to acknowledge the support and collaboration of the Focus Group of Telecommunications and Networks at Tecnológico de Monterrey.

## REFERENCES

- [1] M. Fay, L. Alberto, A. C. Fox, U. Narloch, S. Straub, and M. Slawson, "Rethinking Infrastructure in Latin America and the Caribbean Spending Better to Achieve More." The World Bank, Washington, DC 20433, p. 88, 2017.
- [2] U.S. Department of transportation (U.S. DOT), "Connected Vehicle Impacts on Transportation Planning." Washington, DC 20590, p. 93, 2016.
- [3] WAYMO., "Technology-We're building a safer driver that is always alert and never distracted." [Online]. Available: <https://waymo.com/tech/>. [Accessed: 30-Apr-2018].
- [4] World Bank Group, "Intelligent Transport Systems - Toolkit for European Union." [Online]. Available:

- <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/intelligent-transport-systems-its-toolkit-european-union>. [Accessed: 30-Apr-2018].
- [5] F. Basma, Y. Tachwali, and H. H. Refai, "Intersection collision avoidance system using infrastructure communication," *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC*, pp. 422–427, 2011.
  - [6] E. Belyaev, A. Vinel, A. Surak, M. Gabbouj, M. Jonsson, and K. Egiazarian, "Robust vehicle-to-infrastructure video transmission for road surveillance applications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 7, pp. 1–1, 2014.
  - [7] The Institute of Electrical and Electronics Engineers., "IEEE Std 802.11 p-2010. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY). Specifications-Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments.," New York, USA, 2010.
  - [8] J. Gozalvez, M. Sepulcre, and R. Bauza, "IEEE 802.11p Vehicle to Infrastructure Communications in Urban Environments," *Top. Automot. Netw. Appl.*, no. May, pp. 176–183, 2012.
  - [9] M. Boban, J. Barros, and O. K. Tonguz, "Geometry-Based Vehicle-to-Vehicle Channel Modeling for Large-Scale Simulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 9, pp. 4146–4164, 2014.
  - [10] D. W. Matolak, "Modeling the vehicle-to-vehicle propagation channel: A review," *Radio Sci.*, vol. 49, no. 9, pp. 721–736, 2014.
  - [11] L. Bernado *et al.*, "In-tunnel vehicular radio channel characterization," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1–5, 2011.
  - [12] P. Belanović, D. Valerio, A. Paier, T. Zemen, F. Ricciato, and C. F. Mecklenbräuker, "On wireless links for vehicle-to-infrastructure communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 1, pp. 269–282, 2010.
  - [13] F. Granda *et al.*, "Spatial Characterization of Radio Propagation Channel in Urban Vehicle-to-Infrastructure Environments to Support WSNs Deployment," *Sensors*, vol. 17, no. 6, p. 1313, 2017.
  - [14] L. Azpilicueta, C. Vargas-Rosales, and F. Falcone, "Deterministic Propagation Prediction in Transportation Systems.," in *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2016, vol. 11, pp. 29–37.
  - [15] L. Bernado, T. Zemen, F. Tufvesson, A. F. Molisch, and C. F. Mecklenbräuker, "Time- and Frequency-Varying K-Factor of Non-Stationary Vehicular Channels for Safety-Relevant Scenarios," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 2, pp. 1007–1017, 2015.
  - [16] RedPine Signals., "Driving Wireless Convergence. WaveCombo Module. 802.11p V2X," 2018. [Online]. Available: [http://www.redpinesignals.com/Products/802.11p\\_V2X\\_Connectivity/802.11p\\_V2X\\_Module.php](http://www.redpinesignals.com/Products/802.11p_V2X_Connectivity/802.11p_V2X_Module.php). [Accessed: 28-Feb-2018].
  - [17] T. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice.*, 2nd ed. United States: Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2002.
  - [18] V. Shivaldova, M. Sepulcre, A. Winkelbauer, J. Gozalvez, and C. F. Mecklenbrauker, "A model for vehicle-to-infrastructure communications in urban environments," *2015 IEEE Int. Conf. Commun. Work. ICCW 2015*, pp. 2387–2392, 2015.

# Implementación del caster experimental para la distribución de medidas de GPS en tiempo real a través de NTRIP

Mónica Zabala

Facultad de Informática y Electrónica/Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo  
m\_zabala@esPOCH.edu.ec

**Resumen**—El sistema de posicionamiento GPS exige precisión en cada una de las medidas, sin embargo por diversos factores durante la transmisión la señal sufre distorsión provocando imprecisión en la solución final. Los procedimientos observacionales GNSS se clasifican de acuerdo a la naturaleza de la medición absoluta y relativa. Técnicas de diferenciación de medidas de GPS incluye post-proceso y corrección en tiempo real a través del protocolo NTRIP, para ello se implementa y configura los elementos necesarios de la arquitectura siendo el elemento fundamental el caster responsable de difundir las correcciones de la estación de referencia configurado en formato RTCM 2.3 hacia los dispositivos móviles Mobile Mapper 100 compatibles con NTRIP y Mobile Mapper 10 y 20 que no soportan NTRIP se da solución al problema utilizando al teléfono móvil como gateway. Los resultados muestran una reducción de error en E, N, U mejorando la precisión en la solución final. El impacto de la implementación del caster se replica para instituciones gubernamentales responsables de la georreferenciación a nivel nacional, así como se mantiene el caster experimental en la ESPOCH para fines investigativos con ello se pretende incluir al país dentro de la infraestructura de posicionamiento en tiempo real de América Latina administrado por SIRGAS.

**Palabras Claves**— DGPS, caster, GNSS, NTRIP, SIRGAS, tiempo real.

**Abstract**—The GPS positioning system requires precision in each of the measurements, however due to various factors during transmission the signal suffers distortion causing inaccuracy in the final solution. The observational GNSS procedures are classified according to the nature of the absolute and relative measurement. Techniques for differentiating GPS measurements include post-processing and correction in real time through the NTRIP protocol, for which the necessary elements of the architecture are implemented and configured, the caster responsible for disseminating the corrections of the reference station being the fundamental element. Configured in RTCM 2.3 format towards Mobile Mapper 100 compatible devices with NTRIP and Mobile Mapper 10 and 20 that do not support NTRIP, the problem is solved by using the mobile phone as a gateway. The results show a reduction of error in E, N, U, improving the precision in the final solution. The impact of the implementation of the caster is replicated for governmental institutions responsible for georeferencing at the national level, as well as maintaining the experimental caster in the ESPOCH for research purposes. This pretend to include the country within the infrastructure of real-time positioning of Latin America administered by SIRGAS.

**Keywords**— DGPS, caster, GNSS, NTRIP, SIRGAS, real time.

## I. INTRODUCCIÓN

Las correcciones de las medidas de GPS es un punto crítico en el tema de posicionamiento debido a que el servicio de posicionamiento estándar no brinda precisión necesaria para ciertas aplicaciones de georreferenciación. Para alcanzar datos precisos es necesario la corrección de las medidas de GPS de los receptores aplicando técnicas de diferenciación de GPS desarrolladas en campo y por postproceso [1] demandando actividades y equipamiento extra. NTRIP (Network Transport RTCM Internet Protocol, es la técnica basada en la transferencia de hipertexto HTTP/1.1 (Hypertext Transfer Protocol versión 1.1) por medio del protocolo Internet (IP) para la distribución de flujos de datos de estaciones de referencia GNSS en tiempo real hacia los receptores a través del servidor web denominado caster. La utilización de esta técnica implica la corrección de medidas en tiempo real in situ optimizando recursos tecnológicos y tiempo de operación. La propuesta de implementación de la arquitectura integral de NTRIP involucra e integra temas relacionados a la transmisión de datos y protocolos así como servidores web, trabajos previos [2] - [4] son la base para el desarrollo del mismo siendo éste de interés regional al ser apoyado por la organización de Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) y el proyecto SIRGAS en Tiempo Real (SIRGAS-RT), cuyo objetivo primario es evaluar la capacidad de distribución de correcciones GNSS en tiempo real y otros datos concordantes mediante NTRIP incluyendo estudios de factibilidad para la instalación de casters nacionales o regionales, como soporte básico para el desarrollo de aplicaciones de este tipo [5]. En la Sección I se detalla el objetivo a alcanzar de la investigación, en la Sección II se define los elementos que forman parte de la arquitectura NTRIP y de la configuración ejecutada en cada uno de ellos, en la Sección III se evalúa la precisión alcanzada al aplicar las correcciones en tiempo real en los receptores finales y el impacto sobre la precisión en la solución final. Finalmente, las conclusiones más relevantes son presentadas en la sección VI.

## II. MÉTODO

### A. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (NTRIP)

Es un protocolo de nivel de aplicación que admite la transmisión de datos GNSS a través de Internet, basado en el protocolo de transferencia de hipertexto HTTP / 1.1.

NTRIP está diseñado para transmitir datos de corrección diferencial a usuarios estacionarios o móviles a través de Internet.

### B. Concepto del Sistema

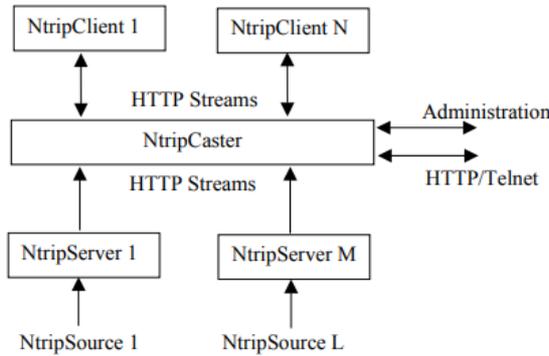


Fig. 1. Arquitectura de NTRIP

NTRIP se conforma cuatro elementos [6]:

- **NtripSource.** Se considera a la fuente generadora de las medidas de GPS es decir la estación de referencia, considerando que la transmisión de estas correcciones puede ser emitida en cualquier versión del estándar RTCM.
- **NtripServer,** actúa como intermediario en la transmisión de los datos entre la fuente hacia el caster.
- **NtripCaster:** Es el agente transmisor, su función principal es la difusión de las correcciones GNSS a los dispositivos finales, así mismo, es el responsable del monitoreo de la calidad e integridad de los datos recibidos y autenticación de los clientes por asignación de usuario y contraseña, para ello es obligatorio mantener una conexión a internet constante e ininterrumpida.
- **NtripClient:** Dispositivos finales receptores de los streams transmitidos por el caster. Se considera dispositivos finales a computadoras personales, tablets, receptores GPS, teléfonos móviles, entre otros, que cuenten con software y hardware necesario para la recepción de datos.

La elección acertada de los dispositivos que conforma cada elemento de la arquitectura que incluye receptores que soporte NTRIP así como dispositivos gestores de información se logra conseguir una infraestructura funcional.

### C. Restricciones de DGPS

El impacto de la precisión sobre la solución final de posicionamiento se debe a factores del canal de propagación que la señal sufre desde su generación hasta la recepción en tierra. Errores producidos debido a la sincronización de relojes entre el receptor y el satélite, configuración geométrica de los satélites, errores atmosféricos, entre otros, incrementan el error en la solución final de posicionamiento. La corrección de éstos errores a través de la aplicación DGPS es posible a través de la diferenciación de las medidas entre el receptor y la estación de referencia en configuración simple y doble considerando las limitaciones de distancia, satélites y épocas en común entre éstas para la eliminación de errores correlacionados. La estación de referencia se encuentra en el centro de la ciudad respecto al

escenario propuesto la distancia es de 3,6 Km.

### D. Requerimiento de Ancho de Banda

Se debe considerar también que NTRIP es afectado por los problemas de los sistemas de comunicación basados en TCP/IP, considerando que es indispensable que exista la conexión a internet de los 3 elementos para su comunicación. La conexión del dispositivo final utiliza la red móvil con tecnología GPRS el sistema está a expensas de la cobertura celular y los problemas que implica este sistema como cambio de celda, ruido e interferencias.

El tamaño del paquete medido en *bits/s* generado por el caster para la transmisión al dispositivo final depende del formato RTCM configurado en el *source* y del número de satélites rastreados en las épocas comunes medidas [13].

TABLA II  
TRANSFERENCIA DE DATOS SEGÚN EL FORMATO RTCM [BITS/SEG]

	6 SATÉLITES	9 SATÉLITES	12 SATÉLITES
<b>RTCM 2.3</b>	3900	5400	7000
<b>RTCM 3.0</b>	2500	3000	3550
<b>CMR</b>	1400	1800	2100
<b>CMR+</b>	900	1300	1600

Suponiendo la recepción máxima de satélites en el receptor los datos recibidos alcanzan 7000 *bytes/seg*. La EERSA por ser la entidad interesada, solicita un presupuesto para la adquisición de un plan de datos para cada receptor basados en la jornada laboral que consiste 8 horas diarias, 5 días a la semana, el consumo de datos móviles mensual sin interrupción es:

$$c = 7000 \cdot 3600 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 4 = 5040 \text{ Mbytes/seg}$$

### E. Implementación del sistema NTRIP

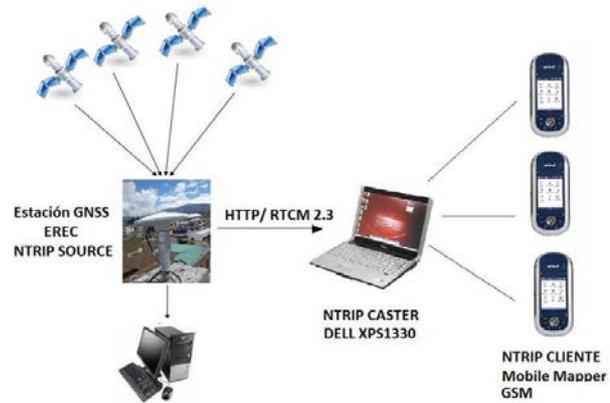


Fig. 2. Arquitectura de NTRIP

Para la implementación del sistema NTRIP se considera los siguientes recursos tecnológicos:

- **NtripSource:** Estación GNSS Trimble NetR9 (EREC) ubicada en la ciudad de Riobamba [7], se configura el puerto de comunicación de salida NTRIP/SERVER con la dirección IP del caster. El stream de datos se denomina EREC0, es parte de las estaciones del caster experimental de SIRGAS [8].
- **NtripCaster:** BKG ofrece el software del caster en la versión estándar [9], de los archivos de configuración, se modifica el archivo denominado Sourcetable con información específica del stream recibido desde la estación GNSS que incluye coordenadas de la antena,

versión del formato de transmisión para este caso RTCM 2.3, entre otras. El segundo archivo de configuración denominado ntripcaster incluye la configuración de Domain Name System (DNS) entre la IP pública y el nombre del servidor local, el número del puerto de red para el servicio HTTP por defecto es 8080 sin embargo para NTRIP se utiliza el puerto 2101, cualquiera de las dos opciones es válido, finalmente la creación de usuarios y contraseñas para la conexión al caster por cada cliente. Es necesario incluir el stream configurado en el Sourcetable para enlazar la conexión entre archivos de configuración. La capacidad de procesamiento del servidor no exige altas prestaciones computacionales. Adicionalmente el caster almacena el registro secuencial en un archivo en forma de logs de todos los acontecimientos generados en el caster que incluye petición de conexión, autenticación, estadística de datos transmitidos por estación y cliente. El stream EREC0 (Riobamba) se encuentran registrado en el caster experimental de la ESPOCH [10].

- NtripClient: Como dispositivos clientes se utiliza el equipo MobileMapper 100 [11] con soporte NTRIP y conectividad GPRS, la operadora móvil seleccionada es Movistar [10] por la cobertura que brinda en la provincia de Chimborazo y por ser el área de interés por parte de EERSA [12]. El software de BNC client [13] es utilizado para medir parámetros de latencia y throughput del stream registrado en el caster. Limitaciones encontradas para la conexión de dispositivos que no soportan NTRIP se solucionan por la retransmisión de datos utilizando teléfonos móviles como gateways por medio de aplicaciones Android desarrolladas por empresas de procesamiento de información GNSS [15].

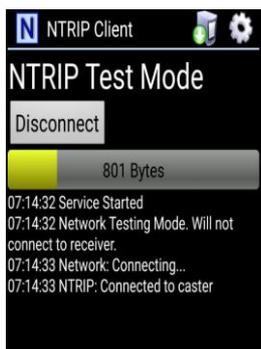


Fig. 3. Lefebure App – Ntrip Client

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### A. A. Escenario

Las medidas observadas se realizan sobre el Datum WGS-84 en proyección UTM. Para las altitudes se mantuvieron las alturas elipsoidales. Se realiza el Survey GPS en el edificio de la FIE.

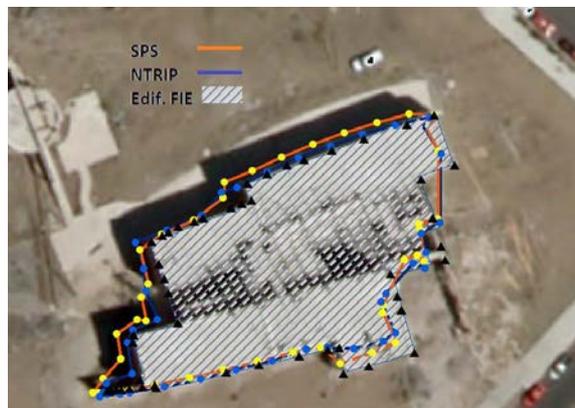


Fig. 4. Trayectoria trazadas FIE – ESPOCH

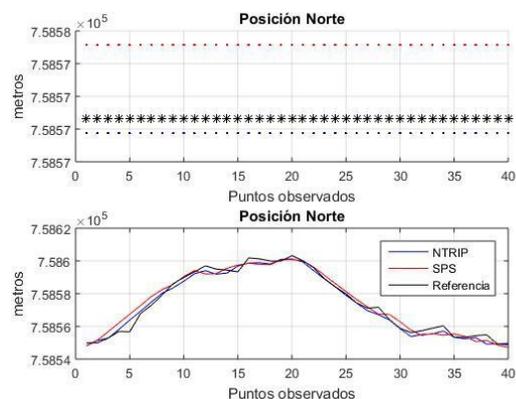


Fig. 5. Posición Norte

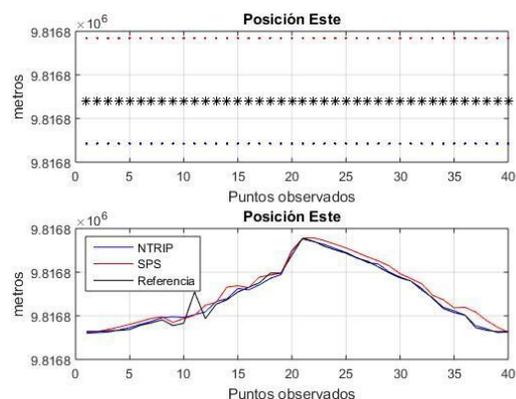


Fig. 6. Posición Este

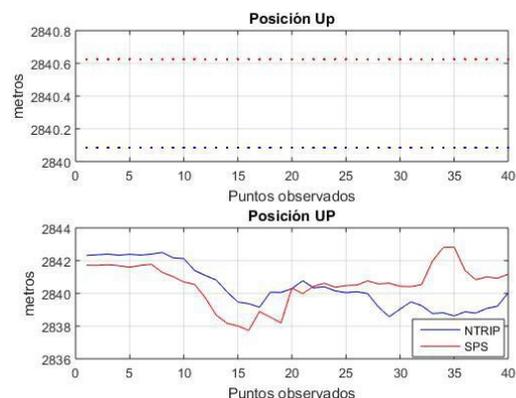


Fig. 7. Posición Altura

TABLA IV  
MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR RESPECTO A LA REFERENCIA

	NORT E (Y)			ESTE (X)			UP (Z)		
	SPS	NTRIP	PREF	SPS	NTRI	REF	SPS	NTRI	REF
$\bar{X}$	758	758	758	981	981	981	284	284	-
	571	574	572	678	678	678	0.0	0.6	-
	.87	.57	.31	7.2	8.4	7.7	8	2	-
	26.	19.	19.	24.	24.	24.	1.0	0.9	-
$\sigma$	81	26	65	53	93	60	4	621	-

#### IV. CONCLUSIONES

La implementación del caster local experimental para la distribución de correcciones de GPS en tiempo real a través de la tecnología NTRIP es un avance importante para los procesos de georreferenciación en orden de minimizar el error en el posicionamiento de las observaciones realizadas. BKG provee la versión estándar del software del caster la misma que es distribuida bajo la licencia GNU con ciertas restricciones que incluye 100 clientes conectados por source registrado en el caster. Ecuador cuenta con 33 estaciones GNSS que conforma REGME que al asociarlos al caster la disponibilidad de conexión al servicio será de 330 usuarios. La EERSA es el principal beneficiario de la implementación de esta técnica actualmente administran su propio caster el cual es utilizado para trabajos de georreferenciación de la infraestructura eléctrica. El formato utilizado de corrección es RTCM 2.3 y se evalúa el grado de corrección alcanzado al comparar las medidas de los puntos observados antes y después de la aplicación de NTRIP respecto a la trayectoria de referencia sobre la ortofoto georeferenciada provista por la EERSA del edificio de la FIE, se observa que la varianza de SPS respecto al valor de referencia es el eje Norte alcanza a 26.81 y al Este de 24.53 respecto al valor de referencia que en el Norte es de 19.65 y al Este de 24.60, así mismo se compara con los valores tomados con NTRIP y en el eje Norte el valor 19.26 y al Este de 24.93, se observa que la desviación estándar de los valores tomados con NTRIP es más próxima a los valores de referencia lo que no ocurre con SPS. No se registra un valor de referencia para eje de coordenadas UP, sin embargo, al comparar los valores entre SPS y NTRIP se constata una mejora es decir existe corrección en este eje. Algunos receptores GPS por características de fabricación no son compatibles con NTRIP sin embargo a través de teléfonos móviles con plataforma Android actúan como Gateway entre el caster y los clientes Ntrip utilizando aplicaciones de NTRIP Client que permiten la transmisión las correcciones por medio de bluetooth. Con la socialización de este proyecto se pretende la implementación de un caster nacional al cual se pueda integrar todas las estaciones GNSS que forman parte de REGME así como incluir a Ecuador como miembro activo del grupo 2 SIRGAS-RT. Se mantiene el caster experimental en la ESPOCH paralelo al caster nacional con fines de investigación y de respaldo. Los trabajos próximos de investigación consiste en la corrección por RTCM 3.0 basado en correcciones por fase, PPP a través de la distribución de correcciones de órbitas y relojes descargados de IGS o a su vez por medio de la retransmisión de información de órbitas desde el caster experimental SIRGAS.

#### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo contó con la colaboración técnica de Gustavo Noguera miembro del Laboratorio del Grupo de Geodesia Satelital de Rosario por facilitar recursos humanos e infraestructura de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina, a Roberto Pérez Rodino de la Universidad de la República, Uruguay por sus sugerencias en mejora de la implementación del caster. A los integrantes del proyecto SIRGAS-RT por su colaboración y sugerencias en el taller de posicionamiento en tiempo real SIRGAS 2017, a los Ingenieros Andrés Carranza y José Reyes por la colaboración en la ejecución de las pruebas en los dispositivos móviles y de manera especial a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. en la persona del Ing. Fabián Yáñez y el Ing. Silvio Chimbo quienes permitieron iniciar el proyecto desde Abril 2016 con el acceso a los recursos tecnológicos que incluye la estación de referencia y los dispositivos GPS móviles. Finalmente, al IGM y las instituciones públicas y privadas que facilitan la densificación de la RED GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME en la persona del Ing. David Cisneros por facilitar la posible colaboración interinstitucional con el fin de implementar un caster nacional

#### REFERENCIAS

- [1] L. Franklin, A. Ortega, M. Zabala, "Análisis e implementación de diferencial GPS en configuración simple y doble", Vol. 7, N° 1, pp. 46-53, Noviembre 2017. DOI: 10.24133/maskay.v7i1.343
- [2] Gustavo Noguera, Roberto Pérez, Curso de posicionamiento GNSS en Tiempo Real - SIRGAS 2012 – Concepción. Chile.
- [3] Andrea Stürze, Georg Weber, Curso de posicionamiento GNSS en Tiempo Real - SIRGAS 2012 – Concepción. Chile.
- [4] O. Silva, "Implementación de la tecnología NTRIP en dispositivos móviles navegadores, mediante una aplicación, para obtener coordenadas GPS con mejor precisión y en tiempo real", Tesis, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, ESPE, Quito, Ecuador, 2014.
- [5] SIRGAS en tiempo real, Abril 2018. [Online]. Disponible en: <http://www.sirgas.org/es/sirgas-rt/>
- [6] M. Hoyer, Conceptos Básicos del posicionamiento GNSS en tiempo real, NTRIP y Tópicos relacionados con el tema.
- [7] Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador - REGME, Febrero 2017. [Online]. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/>.
- [8] Grupo de Geodesia Satelital de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, Marzo 2018, [Online]. Disponible en: <https://www.fceia.unr.edu.ar/gps/mapatr/>
- [9] BKG GNSS Data Center, [Online]. Disponible en: <https://igs.bkg.bund.de/ntrip/caster>
- [10] M. Zabala, A. Carranza, J. Orozco, "Implementación de un caster experimental bajo la licencia GNU para la distribuciones de GPS en tiempo real a través de NTRIP", presentado en Simposio SIRGAS 2017, Mendoza, Argentina, Noviembre 2017.
- [11] Getting Started Guide, Handheld Platform for MobileMapper 100, ProMark 100 & ProMark 200, Astech products, US/Canada.
- [12] Empresa Eléctrica Riobamba S.A., Marzo 2018, [Online]. Disponible en: <http://www.eersa.com.ec/site/>
- [13] A. Carranza, J. Reyes, M. Zabala, "Análisis e implementación de diferencial de GPS en tiempo real a través de la tecnología NTRIP para la EERSA", Tesis, Escuela de Ingeniería en Telecomunicaciones y Redes, ESPOCH, Riobamba, Ecuador, 2017.
- [14] Gustavo Noguera, Roberto Pérez, Curso de posicionamiento GNSS en Tiempo Real - SIRGAS 2017 – Mendoza, Argentina, 2017.
- [15] Ntrip Client for Android, Febrero 2017. [Online]. Disponible en: <http://lefebure.com/software/android-ntripclient/>

# Red neuronal para clasificación de riesgo en cooperativas de ahorro y crédito

Mario Peña<sup>a</sup>, José Orellana<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Grupo de investigación de Ingeniería Industrial/Ciencias Químicas/Ingeniería Industrial, Universidad de Cuenca

<sup>b</sup> Ciencias Químicas/Ingeniería Industrial, Universidad de Cuenca

mario.pena@ucuenca.edu.ec, jose.orellana0106@gmail.com

**Resumen**—En Ecuador existe una gran cantidad de cooperativas de ahorro y crédito (COAC), específicamente un total de 852, las cuales están divididas en 5 segmentos en función de la cantidad de sus activos. En la actualidad el 66% del microcrédito obtenido dentro del país corresponde al sistema cooperativo. Sin embargo, sólo 35 de 58 COAC (segmento 1 y 2) presentan historiales de calificaciones de riesgo. El propósito de esta investigación es crear una red neuronal que presente un porcentaje de precisión aceptable, para clasificar una COAC dentro de una escala de riesgo con base al valor de sus índices financieros; ayudando a la detección temprana de problemas futuros. La red neuronal artificial (ANN, del inglés *Artificial Neural Network*) fue ajustada a partir de datos obtenidos a través de la Superintendencia de Economía Pública y Solidaria para COAC que presentaban un alto índice de activos. Adicionalmente, se usó el historial de calificaciones de riesgo trimestrales generadas por entes calificadoras en el mismo lapso: enero 2015 - septiembre 2017. Se obtuvo una ANN con una precisión de clasificación del 79.59%, porcentaje que está dentro del rango de precisión obtenido por estudios revisados para actividades de clasificación en entidades financieras. Se podría mejorar aún más los resultados de clasificación con la utilización de una estructura de clasificación jerárquica.

**Palabras Claves**— Cooperativas de ahorro y crédito, indicadores financieros, perceptrón multicapa, red neuronal artificial.

**Abstract**—In Ecuador exists a great number of credit unions (COAC) specifically 852, which are divided into 5 segments depending on their amount of assets. Nowadays, 66% of the microcredit obtained within the country corresponds to the cooperative system. Nevertheless, just 35 of 58 COAC (segments 1 and 2) present risk rating histories. The purpose of this research is create a neural network that achieves an acceptable percentage of accuracy, to classify a COAC within a scale of risk based on the value of its financial indexes; in order to helping the early detection of future problems. The artificial neural network (ANN) was fitted from data obtained through the Public and solidary economy Superintendence for COAC that presented a high index of assets. In addition, the history of quarterly risk ratings generated by rating agencies in the same period was used: January 2015 - September 2017. An ANN with a classification accuracy of 79.59% was obtained, percentage that is within the range of precision obtained by studies reviewed for classification activities in financial entities. The classification results could be further improved with the use of a hierarchical classification structure.

**Keywords**— Credit union, financial ratios, multilayer perceptron, neural network.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde los años noventa la tecnología de redes neuronales artificiales ha comenzado a ser usado para pronósticos de bancarrota en entidades financieras [1], enfatizándose en la

predicción y el análisis de información clave para presentar posibles escenarios futuros.

Las redes neuronales artificiales simulan el funcionamiento de redes neuronales biológicas presentes en el cerebro humano, permitiendo aprender a partir de experiencias [2]. El uso de redes neuronales artificiales ha proliferado en diversos campos como: cinética química [3], predicciones de reactores [4], control de sustancias ilegales [5], optimizaciones [6], clasificación de productos de agricultura [7], determinación de especies animales [8], en el campo de la medicina y diagnósticos médicos [3], entre otros, expandiendo su uso a diferentes negocios, comercios e industrias; especialmente, ha comenzado a usarse junto a herramientas tradicionales tales como: regresión logística y análisis discriminante [9]. El impacto de la era tecnológica e informática ha obligado a las organizaciones a innovar en sus métodos de análisis de datos [10]. Además, el uso de redes neuronales presenta la posibilidad de trabajar con relaciones y sistemas no lineales [11].

Las redes neuronales son usadas para la simulación mediante el aprendizaje del reconocimiento de patrones presentes en la muestra. Una red neuronal entrenada, sería capaz de buscar patrones en grupos de datos y mostrar posibles escenarios de comportamiento con base a ciertas variables de entrada [12]. Por lo cual, uno de los requerimientos para el uso adecuado de una red neuronal es disponer de una gran cantidad de datos, para cubrir todos los escenarios posibles.

Una red neuronal, específicamente un perceptrón multicapa, se compone de varias capas generalmente divididos en tres grupos: una capa de entrada, una o varias capas ocultas y una capa de salida, además consta de pesos entre las conexiones, una función de activación, un valor para el sesgo (*bias*), y generalmente para el ajuste de los pesos, se realiza el cálculo del error entre la salida deseada y la real, ajustando los pesos de manera inversa (*backpropagation*).

La facilidad con la que estas redes pueden ser integradas al entorno empresarial, incluyendo pequeñas y medianas compañías [13] es una ventaja considerable para su uso a nivel organizacional. Las redes neuronales pueden ser diseñadas para varios entornos ayudando a la gestión y toma de decisiones; sin embargo, una clase de compañías con más riesgos son las cooperativas de crédito, debido a que manejan ingentes cantidades de dinero, razón por la cual se han creado instituciones especiales para su control en cada país, como, por ejemplo, en Ecuador la Superintendencia de Economía Pública y Solidaria (SEPS) la cual define políticas y reglamentos para las COAC [14].

El propósito de este estudio se centra en el uso de una red

neuronal artificial (perceptrón multicapa) para clasificación de riesgo usando indicadores financieros, pudiendo determinar problemas financieros presentes y futuros en la organización. El estudio se centra en las cooperativas de ahorro y crédito de Ecuador, usando datos desde enero 2015 hasta septiembre 2017.

El presente trabajo está dividido en IV secciones. La sección II presenta el método utilizado para definir los parámetros y la estructura general de la red neuronal. La sección III presenta los resultados obtenidos. Finalmente, la sección IV contiene las conclusiones del presente estudio.

## II. MÉTODO

### A. Recopilación de datos y establecimiento de las entradas y salidas de la red neuronal.

Para este estudio se usaron indicadores financieros obtenidos de la página oficial de la SEPS, la misma que cuenta con una publicación mensual de estados financieros de las COAC del segmento 1 y 2, titulada “Boletines financieros mensuales”. Los sectores 1 y 2 están integrados por COAC con mayor valor de activos de acuerdo a la norma de segmentación de entidades financieras del sector público y solidario (Tabla I).

TABLA I  
VALORES PARA SEGMENTACIÓN DE ENTIDADES FINANCIERAS

Segmento	Activos (USD)
1	Mayor a 80'000.000,00
2	Mayor a 20'000.000,00 hasta 80'000.000,00
3	Mayor a 5'000.000,00 hasta 20'000.000,00
4	Mayor a 1'000.000,00 hasta 5'000.000,00
5	Hasta 1'000.000,00. Cajas de Ahorro, bancos comunales y cajas comunales

En Ecuador existen un total de 852 COAC activas, de las cuales, la existencia de registros de calificaciones de riesgo está concentrado en los segmentos 1 y 2, siendo casi inexistentes para los demás segmentos (Tabla II).

TABLA II  
COACTIVAS EN ECUADOR (2016)

Segmento	Número total de COAC	Número de COAC con calificación de riesgo
1	24	24
2	34	11
3	87	5
4	188	0
5	519	0

Para la creación de la red neuronal artificial (ANN del inglés *Artificial Neural Network*), se definió las entradas (*inputs*) a través de investigaciones bibliográficas y diálogos con expertos. Las entradas seleccionadas son indicadores financieros usados para conocer la situación interna de la organización, los cuales permiten conocer el estado real de la misma, además de permitir realizar comparaciones (benchmarking) con las demás organizaciones del sector. Se definieron un total de 9 indicadores (Tabla III).

TABLA III  
INDICADORES FINANCIEROS SELECCIONADOS

Indicador	Fórmula
1. Suficiencia patrimonial	(Patrimonio + Resultados) / Activos inmovilizados
2. Estructura y calidad de estructura de activos	Activos productivos / Total activos
3. Cobertura de provisiones	Cobertura de la cartera problemática
4. Eficiencia microeconómica	Gastos de operación / Margen financiero
5. ROE	Resultados del ejercicio / Patrimonio promedio
6. ROA	Resultados del ejercicio / Activo promedio
7. Margen eficiencia financiera	Margen de intermediación estimado / Patrimonio promedio
8. Rendimiento de cartera	Cartera por vencer total
9. Liquidez	Fondos disponibles / total depósitos a corto plazo

Los elementos de clasificación (*outputs*), están formados por las categorías o grupos de calificación que se otorga a las entidades financieras (Tabla IV). La clasificación de riesgo obedece a una escala de 7 grupos de acuerdo con un análisis financiero y organizacional; además, cada nivel puede tener un grado de solidez representado por “+” o “-”. Para el estudio propuesto sólo se realizó la clasificación de grupos independientemente del grado de solidez.

Para realizar el estudio, se ha usado información disponible de 35 cooperativas de ahorro y crédito, pertenecientes a los segmentos 1 y 2, las cuales han recibido calificaciones de riesgo dentro del periodo marzo 2015 – septiembre 2017.

TABLA IV  
ESCALA DE CALIFICACIÓN DE RIESGO PARA ENTIDADES FINANCIERAS (SCORE DE RIESGO)

Riesgo de crédito	
AAA	Excelente
AA	Muy buena
A	Buena
BBB	Suficiente
BB	Muy baja
B	Vulnerable
C	Extremadamente vulnerables

La calificación de riesgo se realiza en cuatro fechas de corte al año: marzo, junio, septiembre y diciembre. Esta clasificación dada por entidades acreditadas, depende del valor de los índices financieros y de factores organizacionales. Sin embargo, para este estudio sólo se tomaron en cuenta índices financieros. El rango de tiempo y el número de muestras fueron definidos en función a la disponibilidad de datos y registros. El total de muestras es el conteo de calificaciones disponibles de las COAC respecto a la correspondiente categoría en todo el periodo de análisis (Tabla V). Dentro del rango de tiempo definido para el estudio, algunas cooperativas habían recibido la calificación de riesgo de manera consecutiva (en todas las fechas de corte), mientras otras habían recibido de forma no consecutivas (saltándose fechas de corte o suspendiendo el servicio en los últimos periodos del periodo de análisis).

TABLA V  
CANTIDAD DE MUESTRAS USADAS EN EL ESTUDIO

Categoría	Total de muestras
AA	33
A	154
BBB	54
BB	72
B	13

### B. Estructura de la red neuronal.

Los parámetros de la red que fueron usados para el presente estudio se definieron a partir de la revisión bibliográfica de documentación relacionada al uso de redes neuronales para entidades financieras (bancos), especialmente como medio de detección de bancarrota y fraude. Luego se seleccionó y se creó una base de datos que contenga las variables de entrada (Tabla III) y salida (Tabla IV), junto con sus respectivos valores para cada categoría.

Los parámetros para la ANN se definieron mediante la variación progresiva de los mismos hasta encontrar la combinación óptima que proporcione la mayor precisión de clasificación. Este método es conocido como ajuste aleatorio. A pesar de que existen métodos propuestos para la correcta definición de parámetros (como el algoritmo genético, método Taguchi) [15], el método de variación aleatoria ha sido usado en los estudios revisados. De este modo, el ratio de aprendizaje, el cual determina que tanto cambia los pesos en cada paso (step), varió desde 0.1: 0.1: 0.5; con un valor final de 0.3. El momento, el cual añade una fracción del peso previo previniendo el máximo local, varió desde 0.1: 0.1: 0.9; con un valor final de 0.2. Para determinar el número de nodos en la capa oculta se varió la cantidad de nodos desde 5: 1: 18; creándose un total de dos capas ocultas con 15 nodos cada una.

### C. Desarrollo del modelo.

Para la creación de la ANN, se realizó la separación de muestras para la etapa de entrenamiento y prueba; la separación se realizó en una proporción de 70% para entrenamiento y 30% para prueba. En la separación de muestras se usó la condición de muestras aleatorias (*shuffled sampling*), el cual escoge muestras con el fin de crear los subgrupos aleatorios. Luego, se procedió a normalizar la muestra de entrenamiento usando el método de Z-transformación, del cual se obtuvieron los valores de media y desviación estándar que fueron usados luego para normalizar la muestra de prueba. Finalmente se aplicó el modelo (Fig. 1).

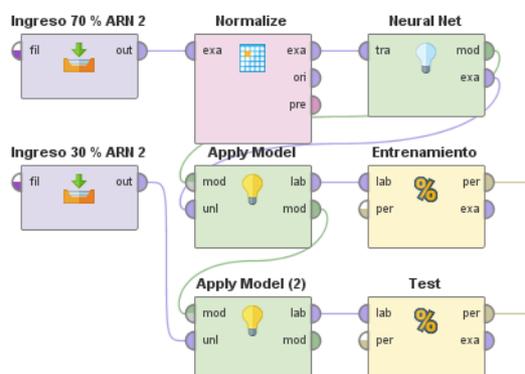


Fig. 1. ANN para clasificación

Para el desarrollo del modelo se usó el software RapidMiner Studio versión 8.1, el cual incluye herramientas para análisis y clasificación de datos.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La construcción de la red neuronal se realizó en dos etapas, primero, el entrenamiento, donde la red neuronal debe ajustar los pesos de las conexiones de cada neurona dependiendo de los resultados obtenidos y del error de clasificación; y segundo, la prueba, donde se obtiene el porcentaje de precisión de clasificación de muestras “desconocidas” para la red. La matriz de confusión presenta la clasificación para las muestras de prueba (Tabla VI).

TABLA VI  
MATRIZ DE CONFUSIÓN

		Actual Class					Precisión
		AA	A	BBB	BB	B	
Predicted Class	AA	5	3	0	0	0	63%
	A	7	41	2	0	0	82%
	BBB	0	2	10	1	0	77%
	BB	0	3	1	21	0	84%
	B	0	0	0	1	1	50%
Recall		42%	84%	77%	91%	100%	

El rendimiento de clasificación obtenido por la ANN es 79.59%. Aunque no se han encontrado estudios que realicen el mismo tipo de clasificación, el valor de precisión de este trabajo está dentro del rango de resultados obtenidos por estudios realizados para detección de bancarrota y fraude mediante ANN. De un total de 5 estudios revisados, el mínimo valor obtenido de clasificación es de 78% [16] y el máximo de 93.58% [17]. Además, la precisión de clasificación pudo verse afectada por nivel de correlación entre variables, el grado de separabilidad lineal de los datos y el nivel de ruido, de la misma manera que concluyó el estudio realizado por Philippe du Jardin [17].

### IV. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha demostrado la posibilidad de usar ANN para actividades de clasificación de riesgo dentro de cooperativas de ahorro y crédito (COAC). Actualmente, esta actividad se realiza mediante *outsourcing*; sin embargo, el presente estudio ha explorado el uso de una ANN para tal actividad a partir de indicadores financieros, obteniéndose una ANN con 79.59% de precisión, el cual está dentro del rango de precisión obtenido por estudios similares para clasificación de bancarrota y fraude.

La ANN obtenida podría proporcionar alertas tempranas sobre el desenvolvimiento financiero actual y predecir posibles problemas institucionales. Además, debido a que solo 35 de 852 COAC cuentan con la calificación de riesgo, existe una amplia cantidad de COAC que pueden usar la metodología de redes neuronales para conocer su grado de riesgo, ayudándolas a ofrecer una mayor solidez en sus servicios, además de incentivar a organizaciones de todo tamaño a implementar nuevas herramientas para actividades de control y apoyo en la toma de decisiones.

Aunque la clasificación de riesgo involucra elementos financieros y organizaciones, el estudio se ha centrado solo en la parte financiera, debido a que, es un eje transversal entre las distintas entidades del sector financiero.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al grupo de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca por su apoyo en la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Q. Yu, Y. Miche, E. Séverin and A. Lendasse, "Bankruptcy prediction using Extreme Learning Machine and financial expertise," *Neurocomputing*, vol. 128, pp. 296-302, 2014.
- [2] P. A. Maithili, "Neural network towards business forecasting," *IOSR Journal of Engineering*, vol. 02, no. 04, pp. 831-836, 2012.
- [3] F. Amato, A. López, E. Peña-Méndez, P. Vañhara, A. Hampl and J. Havel, "Artificial neural networks in medical diagnosis", *Journal of Applied Biomedicine*, vol. 11, no. 2, pp. 47-58, 2013.
- [4] E. Molga, B. van Woezik and K. Westerterp, "Neural networks for modelling of chemical reaction systems with complex kinetics: oxidation of 2-octanol with nitric acid," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 39, no. 4, pp. 323-334, 2000.
- [5] Y. Li, A. Rauth and X. Wu, "Prediction of kinetics of doxorubicin release from sulfopropyl dextran ion-exchange microspheres using artificial neural networks," *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 24, no. 5, pp. 401-410, 2005.
- [6] E. Gueguim Kana, J. Oloke, A. Lateef and M. Adesiyun, "Modeling and optimization of biogas production on saw dust and other co-substrates using Artificial Neural network and Genetic Algorithm," *Renewable Energy*, vol. 46, pp. 276-281, 2012.
- [7] B. Rodríguez Galdón, E. Peña-Méndez, J. Havel, E. Rodríguez Rodríguez and C. Díaz Romero, "Cluster Analysis and Artificial Neural Networks Multivariate Classification of Onion Varieties," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 58, no. 21, pp. 11435-11440, 2010.
- [8] P. Fedor, I. Malenovský, J. Vañhara, W. Sierka and J. Havel, "Thrips (Thysanoptera) identification using artificial neural networks," *Bulletin of Entomological Research*, vol. 98, no. 05, 2008.
- [9] M. Khashei, A. Zeinal Hamadani and M. Bijari, "A novel hybrid classification model of artificial neural networks and multiple linear regression models," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 3, pp. 2606-2620, 2012.
- [10] H. Chen, R.H. Chiang, and V.C Storey, "Business intelligence and analytics: from big data to big impact," *MIS quarterly*, pp.1165-1188, 2012.
- [11] F. López and I. Sanz, "Bankruptcy visualization and prediction using neural networks: A study of U.S. commercial banks," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 6, pp. 2857-2869, 2015.
- [12] H. Li, S. Guo, C. Li and J. Sun, "A hybrid annual power load forecasting model based on generalized regression neural network with fruit fly optimization algorithm," *Knowledge-Based Systems*, vol. 37, pp. 378-387, 2013.
- [13] M. Zekic-Susac, N. Sarlija, and Bencic, "Small business credit scoring: a comparison of logistic regression, neural network, and decision tree models," in *26th International Conference on Information Technology Interfaces*, pp. 265-270, 2004.
- [14] SOLIDARIO. S. F. P. Y, "Ley Orgánica de Economía Popular y Solidaria," 2014.
- [15] M. Bashiri and A. Farshbaf Geranmayeh, "Tuning the parameters of an artificial neural network using central composite design and genetic algorithm," *Scientia Iranica*, vol. 18, no. 6, pp. 1600-1608, 2011.
- [16] M. Virág and T. Kristóf, "Neural Networks in Bankruptcy Prediction - A Comparative Study on the Basis of the First Hungarian Bankruptcy Model," *Acta Oeconomica*, vol. 55, no. 4, pp. 403-426, 2005.
- [17] P. du Jardin, "Predicting bankruptcy using neural networks and other classification methods: The influence of variable selection techniques on model accuracy," *Neurocomputing*, vol. 73, no. 10-12, pp. 2047-2060, 2010.

# Minería de datos para descubrir tendencias en la clasificación de los trabajos de titulación

Silvia Haro<sup>a</sup>, Rubén Pazmiño<sup>a</sup>, Miguel Conde<sup>b</sup>, Francisco Peñalvo<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias, CIDED, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>b</sup> Department of Computer Science, University of León, León, Spain

<sup>c</sup> Department of Computer Science, University of Salamanca, Salamanca, Spain

s\_haro@espoch.edu.ec, rpazmino@espoch.edu.ec, miguel.conde@unileon.es, fgarcia@usal.es

**Resumen**—La minería de datos tiene como fin encontrar patrones que expliquen la tendencia de los datos, es por ello que con el objetivo de extraer conocimiento de los trabajos de titulación de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; se aplicaron cinco modelos de clasificación: Máquinas de Soporte Vectorial, Redes Neuronales, Árbol de Decisión, Bosque Aleatorio y Potenciación; considerando las líneas Diseño de Experimentos y Análisis Multivariable. Para identificar el modelo óptimo se aplicó Rattle, se calcularon tres medidas de rendimiento, las precisiones: global, positiva y negativa; siendo la curva ROC y los Árboles de Decisión, gráficas que permitieron visualizar el modelo de predicción con mejor ajuste, así como los programas que caracterizan las líneas de investigación. Los resultados mostraron que para la línea Diseño de Experimentos, el modelo con mayor precisión fue Bosque Aleatorio, con un 71,48% de predicciones que son correctas respecto al total; mientras que al considerar la línea Análisis Multivariable no se evidenció diferencia significativa en la precisión global, fluctuando en el 97%; esto significa que con el 97% de certeza la línea de investigación de Análisis Multivariable y con el 71,48% de precisión la línea de Diseño de Experimentos se enmarcan en los programas de investigación institucionales. En el modelo Árbol de Decisión, el nodo principal fue la Carrera cuando se consideró la línea Diseño de Experimentos, debido a que en Bioquímica y Farmacia se impulsa la utilización de estudios de este tipo; y en el caso de la línea Análisis Multivariable fue el programa Consumo Humano para mejorar las condiciones de nutrición y salud, debido a que los trabajos de titulación tienen una baja utilización de técnicas multivariable.

**Palabras Claves**—minería de datos educativos, técnicas de minería de datos, indicadores educativos, clasificación

**Abstract**—Data mining has a main purpose which is to find patterns that explain the trend of data, for this reason the aim is to extract knowledge from the degree works of the Faculty of Sciences of the ESPOCH; therefore, it had been applied Five classification models: Vector Support Machines, Neural Networks, Decision Tree, aleatory Forest and Potentiation; considering the Experimental Design line and its Multivariable Analysis. To identify the optimal model Rattle was applied, three measures of performance had been calculated: global, positive and negative precisions; it being the ROC curve and Decision Trees, graphs that allowed to visualize the model prediction with a better adjustment, as well as programs that characterize the lines of investigation as well the results showed that the Experimental Design line was the most accurate model from aleatory Forest, with 71.48% of predictions that are correct with the total; while considering the Multivariate Analysis line. There is no significant difference with the global precision, fluctuating 97%; this means; that the 97% of certain the Multivariable Analysis research line and with the 71.48% accuracy, the Experimental Design line are framed into the institutional research programs. The model of the Decision Tree; the main node was the Career when the Experiments Design line was considered, due to the fact of Biochemistry and

Pharmacy it been encouraged to use this type of studies; and with the case of the Multivariable Analysis line was the Human Consumption program to improve the conditions of nutrition and health, due to the degree works it has a low use of multivariable techniques.

**Keywords**—data mining education, data mining techniques, education indicators, classification

## I. INTRODUCCIÓN

La minería de datos es un proceso que permite extraer conocimiento de bases de datos [1], su objetivo es descubrir situaciones anómalas y/o interesantes, tendencias, patrones y secuencias en los datos. Uno de sus resultados es la clasificación [3, 4], misma que trata de obtener un modelo que permita asignar un caso de línea desconocida a una línea concreta [2]. Dada una base de datos  $D = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  de registros (trabajos de titulación) y un conjunto de líneas  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ , el problema de la clasificación es encontrar una función  $f: D \rightarrow C$  tal que cada  $t_i$  es asignada en una línea  $C_j$ . Para el estudio se consideraron dos líneas: Diseño Experimental y Análisis Multivariable; y como función  $f$  se tomaron los modelos de clasificación:

- Máquinas de Soporte Vectorial (SVM): Técnica que permite extraer información relevante a partir de conjuntos de datos y construir algoritmos eficientes y rápidos. Se basa en encontrar un hiperplano que separe las líneas en el mayor margen posible, la frontera de decisión se establece mediante los patrones que más resaltan la distribución de líneas [5].
- Redes Neuronales: Son sistemas dinámicos auto adaptativos [6]. Es un conjunto de nodos interconectados y enlaces ponderados. Los nodos de salida son la suma de cada uno de los valores de entrada de acuerdo con los pesos de sus vínculos.
- Árbol de Decisión: Es una técnica de clasificación supervisada [7], que permite determinar la decisión que se debe tomar siguiendo las condiciones que se cumplen desde la raíz hasta alguna de sus hojas [8]. Esta técnica recursiva considera el criterio de la mayor proporción de ganancia de información, es decir, elige el atributo que mejor clasifica los datos [9].
- Bosque Aleatorio: Es una combinación de árboles predictivos, trabaja con una colección de árboles incorrelados y los promedia. Cada árbol depende de los valores de un vector aleatorio de la muestra de forma independiente y con la misma distribución de todos los árboles en el bosque [7].
- Potenciación: Este modelo toma una muestra aleatoria

de los datos originales y aplica sobre ésta un método clasificatorio, luego aumenta el peso (potenciar) a los individuos mal clasificados para que en la siguiente aplicación del método clasificatorio se enfoque más en estos individuos mal clasificados, mejorando su clasificación; y así sucesivamente.

## II. MÉTODO

La metodología utilizada fue la propuesta por Williams Graham en su trabajo titulado “Data Mining with Rattle and R, The Art of excavating data for knowledge discovery”; donde muestra el paquete creado en R y sus aplicaciones [10]. Ésta consistió en emplear un porcentaje de datos para probar los modelos: Máquinas de Soporte Vectorial, Redes Neuronales, Árbol de Decisión, Bosque Aleatorio y Potenciación; y el restante para validarlos. Se evaluó su rendimiento mediante las precisiones global, positiva y negativa; y mediante la curva ROC para evidenciar gráficamente si los modelos son o no adecuados.

Para la investigación se empleó una base de datos que corresponde a 24200 observaciones, misma que está conformada por 968 trabajos de titulación [11] de las carreras de: Bioquímica y Farmacia, Biofísica, Ingeniería en Biotecnología Ambiental, Ingeniería en Estadística Informática, Ingeniería en Química y Licenciatura en Educación Ambiental; de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). Se seleccionaron los trabajos de titulación presentados durante los años 2012 – 2016. Las variables utilizadas fueron los 12 programas: “Biodiversidad sustentable, Energías alternativas, Gestión y tratamiento del aire, agua y suelo, Biorremediación del ambiente, Desarrollo de aplicaciones de software para procesos de gestión y administración pública y privada. Educación, Análisis Estadístico Implicativo y Computacional, Evaluación del estado de la seguridad alimentaria, Consumo humano para mejorar las condiciones de nutrición y salud, Evaluación del estado de salud y nutrición, Administración de servicios de salud, nutrición y alimentación, Biofísica aplicada a la medicina y Desarrollo de fitofármacos” [12].

La aplicación se realizó mediante Rattle, para la evaluación de los modelos se requirió de una tabla de aprendizaje, misma que entrena (aprende) el modelo de predicción, es decir, a partir de esta tabla se calcula  $f$ ; y de una tabla testing, la cual permite validar el modelo y es seleccionada internamente por el software, misma que verifica que los resultados en individuos que no participaron en la construcción del modelo es bueno o aceptable [1]. En el estudio se empleó el 75% de los datos para la tabla de aprendizaje y el 25% para la tabla testing.

Para evaluar el rendimiento de los modelos se determinaron las medidas: Precisión Global (Exactitud), que muestra el número total de predicciones que son correctas al total, la Precisión Positiva (Sensibilidad), que es la proporción de casos positivos que fueron identificados correctamente y la Precisión Negativa (Especificidad); que indica la proporción de casos negativos que fueron identificados correctamente [1]. Estas medidas se calcularon a partir de la matriz de confusión; misma que contiene información acerca de las predicciones realizadas por un modelo o sistema de clasificación, comparando para el

conjunto de trabajos de titulación la tabla de aprendizaje o testing, con la predicción dada versus la línea a la que estos realmente pertenecen. En la Tabla I, se muestra la matriz de confusión para un clasificador de dos líneas:

TABLA I  
MATRIZ DE CONFUSIÓN

		Predicción	
		Negativo	Positivo
Valor Real	Negativo	VN (Verdadero Negativo)	FP (Falso Positivo)
	Positivo	FN (Falso Negativo)	VP (Verdadero Positivo)

Un gráfico que muestra el rendimiento de los modelos fue la curva ROC [10]. Compara la tasa de falsos positivos con la de verdaderos positivos, ubica en el eje  $Y =$  Sensibilidad y en el  $X = 1 -$  Especificidad. Sirve para seleccionar los modelos óptimos en problemas de clasificación binarios, este método considera el área bajo la curva; si ésta es 1 el modelo es ideal para el conjunto de datos, si es mayor que 0.5 es óptimo y el modelo es despreciable para su uso si su valor es inferior a 0.5.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante Rattle se determinó la matriz de confusión para cada clasificador. Se muestra un caso particular para el modelo Máquinas de Soporte Vectorial cuando se aplicó la línea Diseño de Experimentos, Tabla II:

TABLA II  
MATRIZ DE CONFUSIÓN, SVM; LÍNEA DISEÑO DE EXPERIMENTOS

		Predicción	
		0 No es un diseño experimental	1 Es un diseño experimental
Valor Real	0 No es un diseño experimental	63	53
	1 Es un diseño experimental	33	93

Se calcularon las medidas de rendimiento mediante las ecuaciones Precisión Global  $P$  (Exactitud), Precisión Positiva (Sensibilidad) y Precisión Negativa (Especificidad), (1), (2) y (3), respectivamente, como sigue:

$$P = \frac{VN + VP}{VN + FP + FN + VP} \quad (1)$$

$$PP = \frac{VP}{FN + VP} \quad (2)$$

$$PN = \frac{VN}{VN + FP} \quad (3)$$

Los resultados de estos indicadores para los cinco modelos, aplicando las dos líneas se muestran en la Tabla III; debido a la versión de Rattle no se pudo determinar la matriz de confusión para el modelo Potenciación y por ende no se calcularon las precisiones.

TABLA III  
RESULTADOS DE MEDIDAS DE RENDIMIENTO

LÍNEA: Diseño de Experimental				
CLASIFICADO R (MODELO)	Precisión Global (P%)	Precisión Positiva. Sensibilidad (PP%)	Precisión Negativa. Especificidad (PN%)	ROC
Máquinas de Soporte Vectorial	64.46	54.31	73.81	0.72
Redes Neuronales	71.48	67.24	75.39	0.76
Árbol de Decisión	64.05	50.86	76.19	0.69
Bosque Aleatorio	68.59	58.62	77.77	0.77
Potenciación				0.78
LÍNEA: Análisis Multivariable				
Máquinas de Soporte Vectorial	97.93	99.08	86.95	0.96
Redes Neuronales	97.11	97.26	95.65	0.97
Árbol de Decisión	97.93	99.09	86.95	0.93
Bosque Aleatorio	97.93	99.09	86.95	0.99
Potenciación				0.99

De la Tabla III, para la Línea: Diseño de Experimentos; la mayor precisión global se presentó en el modelo Redes Neuronales con un 71.48% de predicciones que son correctas respecto al total; seguido por Bosque Aleatorio con un 68.59%. Entre los casos positivos que fueron identificados correctamente, Redes Neuronales fue el modelo que alcanzó el mayor porcentaje con un 67.24% y el más bajo fue el Árbol de Decisión con un 50.86%. El modelo que presentó la mayor proporción de casos negativos identificados correctamente fue Bosque Aleatorio con un 77.77%; mientras que SVM alcanzó el porcentaje más bajo con un 73.81%. Se puede observar también en la Tabla III los resultados de la curva ROC para cada uno de los modelos con las dos líneas.

La Fig. 1 muestra la gráfica de esta curva para el modelo SVM con el clasificador Diseño de Experimentos.

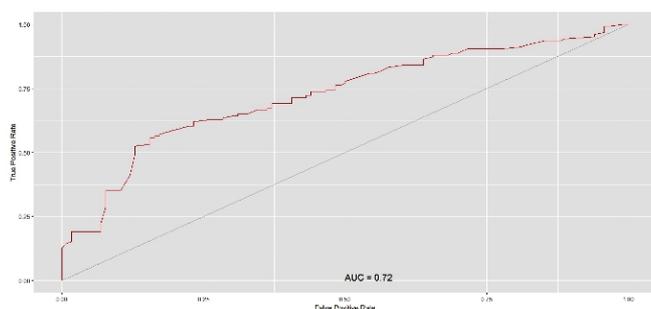


Fig. 1. Curva ROC, modelo SVM; Línea Diseño de Experimentos

La curva ROC mostró que los modelos adecuados para esta línea son Potenciación y Bosque Aleatorio con un área bajo la curva de 0.78 y 0.77 respectivamente; mientras que SVM es el que presenta la menor área (Fig. 1). Para la línea Análisis Multivariable; se evidenció que la Exactitud (97.93%) y la Especificidad (86.95%) son iguales para SVM y la Sensibilidad (99.09%) para Árbol de Decisión y Bosque Aleatorio. La curva ROC mostró que los modelos con mayor área bajo la curva fueron Bosque Aleatorio y

Potenciación con un valor cercano a 1; cabe indicar que todos los modelos mostraron áreas superiores a 0.90.

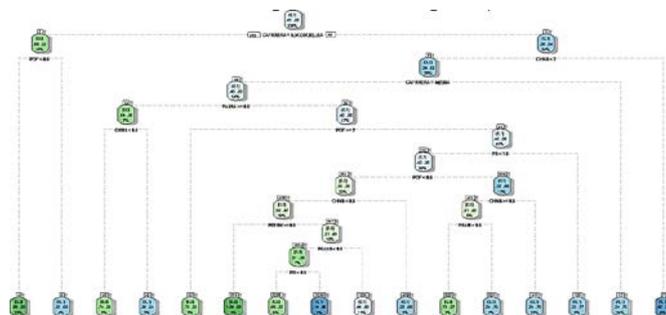


Fig. 2. Árbol de decisión para Diseño de Experimentos

La Fig. 2 muestra la gráfica del Árbol de Decisión para la línea Diseño de Experimentos, el nodo principal es la variable Carrera, existe el 41% de probabilidad de que los datos correspondan a 0; es decir, el trabajo de titulación NO es Diseño Experimental y el restante 59% para 1; es decir, SI lo es. Si la Carrera es Bioquímica y Farmacia nos dirigimos al Programa de desarrollo fitofármaco (PDF) donde cayeron el 16% de los datos; este nodo predice que hay un 68% de probabilidad de que el trabajo de titulación sea un Diseño Experimental, caso contrario se predice que es un programa de Consumo humano para mejorar las condiciones de nutrición y salud (CHNS) donde caen el 84% de los datos y establece que existe un 64% de probabilidad de que los trabajos no sean un Diseño. La Fig. 3 muestra el Árbol de Decisión para la línea Análisis Multivariable, el nodo principal es el indicador Consumo humano para mejorar las condiciones de nutrición y salud (CHNS), existe el 89% de probabilidad de que los datos sean 0; es decir NO es un Análisis Multivariable y el restante a 1. Si la puntuación de CHNS es menor que 2 entonces se predice que el trabajo de titulación es un Programa de desarrollo fitofármaco (PDF), donde existe el 94% de probabilidad de que no sea un Análisis Multivariable y un 0,06% de que si lo sea; si el indicador PDF obtiene una puntuación menor que 2 se predice que el tema de investigación es un programa de Análisis Estadístico Implicativo Computacional (PAEIC) con un 92% de los datos.

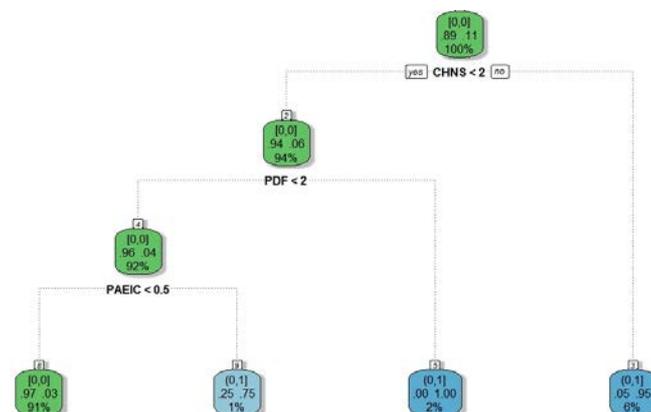


Fig. 3. Árbol de decisión para Análisis Multivariable

Para el modelo de Potenciación se realizaron gráficas que permitieron identificar la importancia de las variables y la curva del error. Las Fig. 4 y Fig. 5 muestran un caso

particular para la línea Diseño de Experimentos.

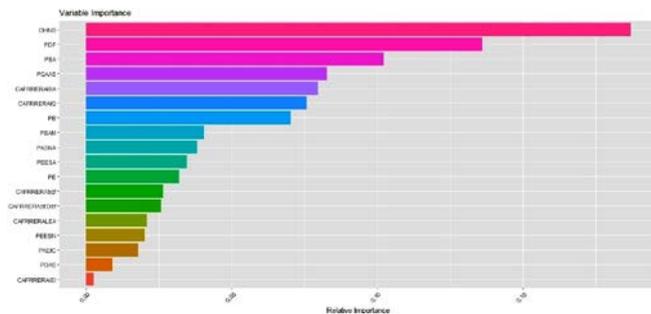


Fig. 4. Importancia de los programas para la línea Diseño de Experimentos

La Fig. 4 muestra que los cuatro programas más importantes dentro del modelo de Potenciación son: Consumo humano para mejorar las condiciones de nutrición y salud, Desarrollo fitofármaco, Biorremediación del ambiente, Gestión y tratamiento del aire, agua y suelo y la Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental; y la Fig. 5 muestra que este método se estabiliza aproximadamente con 35 interacciones.

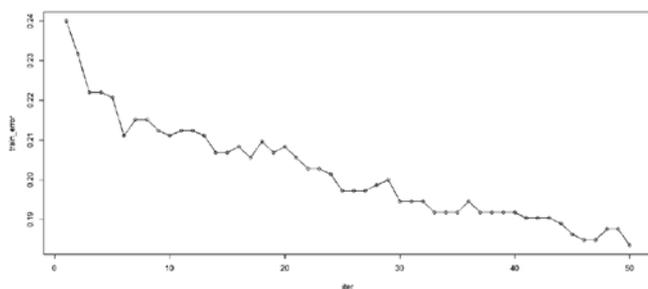


Fig. 5. Gráfico de errores para indicar estabilidad del método

#### IV. CONCLUSIONES

Los métodos de clasificación permitieron identificar información relevante sobre los indicadores educativos cuando se trabajaron las líneas Diseño de Experimentos y Análisis Multivariable. Mediante Rattle se identificaron los modelos adecuados para el conjunto de datos. Con los Árboles de Decisión se visualizaron variables representativas que pueden ayudar a predecir eventos futuros. Rattle es un paquete con una interfaz de fácil manejo y no presenta inconveniente alguno. Es importante considerar que la base de datos debe ser guardada con extensión CSV y al momento de cargar el archivo se deben identificar los signos empleados como separador de datos y decimales. Para el estudio se procedió a cargar el archivo de datos, luego se seleccionaron los porcentajes para la tabla testing y aprendizaje, posteriormente se aplicaron los modelos de clasificación y mediante Excel se calcularon las medidas de rendimiento. Con este trabajo se ha determinado la tendencia de futuros trabajos de titulación, ya que dependiendo de la Carrera se podrá identificar si éstos van a aplicar Diseño de Experimentos o un Análisis Multivariante. El estudio realizado es un preámbulo para luego realizar minería de texto con todos los documentos electrónicos de los 1090 trabajos de titulación de la Facultad de Ciencias en el período 2012-2017 y se luego se puede ampliar al considerar los indicadores vigentes desde finales del 2018

hasta el 2022. A futuro se pretende realizar minería de texto con los trabajos de titulación de la Facultad de Ciencias y determinar la impureza de la clasificación mediante el error de clasificación Split, Índice Gini y Entropía.

#### REFERENCIAS

- [1] Y. Zheng, "Trajectory data mining: An overview," *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 6, no. 3, 2015.
- [2] I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, and C. J. Pal, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*: Elsevier Inc., 2016.
- [3] B. Fréney and M. Verleysen, "Classification in the presence of label noise: A survey," *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Sys.*, vol. 25, no. 5, pp. 845–869, 2014.
- [4] A. M. Cheriyyadath, "Unsupervised feature learning for aerial scene classification," *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, vol. 52, no. 1, pp. 439–451, 2014.
- [5] A. Peña-Ayala, "Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works," *Expert Sys Appl*, vol. 41, no. 4 PART 1, pp. 1432–1462, 2014.
- [6] G. B. Ermentrout, S. E. Folias, and Z. P. Kilpatrick, "Spatiotemporal pattern formation in neural fields with linear adaptation," in *Neural Fields: Theory and Applications*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014, pp. 119–151.
- [7] R. Medina and C. Nique, "Bosques Aleatorios como extensión de los árboles de clasificación con los programas R y Python," *Interfases*, pp. 165–189, 2017.
- [8] Y. Robles and A. Sotolongo, "Integración de los algoritmos de minería de datos 1R, PRISM E ID3 A POSTGRESQL," *Gestión de Tecnología y Sistemas de Información*, pp. 389–406, 2013.
- [9] S. Valero, A. Vargas, and M. García, "Minería de datos: predicción de la deserción escolar mediante el algoritmo de árboles de decisión y el algoritmo de los k vecinos más cercanos," *Recursos Digitales para la Educación y la Cultura*, 33-30, 2010.
- [10] W. Graham, *Data Mining with Rattle and R*. New York, USA: Springer, 2011.
- [11] IDI, *Reglamento del Instituto de Investigaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* 2014. Ecuador.
- [12] IDI, *Plan de investigación ESPOCH 2014-2018*. Ecuador, vol. 2018-10-04.

# Técnicas de programación segura para mitigar vulnerabilidades en aplicaciones web

Joffre Monar<sup>a</sup>, Danilo Pástor<sup>b</sup>, Gloria Arcos-Medina<sup>b</sup>, Alejandra Oñate<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Unidad de Admisión y Nivelación - sede Macas - Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

<sup>b</sup>Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

jmonar@esPOCH.edu.ec, danilo.pastor@esPOCH.edu.ec, gloria.arcos@esPOCH.edu.ec, mayra.onate@esPOCH.edu.ec

**Resumen**—Actualmente, la gran mayoría de aplicaciones web contienen vulnerabilidades de seguridad. Probablemente, se deba a falta de cultura de los desarrolladores o a la ausencia de técnicas de codificación específicas. Se analizaron ciertos trabajos relacionados al tema, pero consideramos que no definen técnicas de programación precisas, ni se enfocan a un lenguaje de programación específico. El presente trabajo propone un conjunto de técnicas de programación segura para reducir las vulnerabilidades en las aplicaciones web utilizando el entorno de desarrollo PHP. Para esto se determinaron diez vulnerabilidades usando las recomendaciones OWASP TOP-10. Luego, se plantean las siete técnicas y su respectiva forma de implementarlas. Se valida las técnicas y se mide las vulnerabilidades de una aplicación web en dos escenarios; con y sin la implementación de las técnicas propuestas. Los resultados muestran que el uso de las técnicas propuestas se relaciona significativamente con la cantidad de vulnerabilidades encontradas y por lo tanto mejora el nivel de seguridad de las aplicaciones web.

**Palabras Claves**—Vulnerabilidades, OWASP, ataques web, PHP, programación segura, seguridad web.

**Abstract**—Currently, most web applications contain security vulnerabilities. Probably, it is due to lack of culture of the developers or the absence of specific coding techniques. We analyzed certain works related, but we consider that they do not define detailed programming techniques, nor do they focus on a specific programming language. This work proposes a set of secure programming techniques to reduce vulnerabilities in web applications using the PHP. For this, ten vulnerabilities were determined using the OWASP TOP-10 recommendations. Then, the seven techniques are presented and their respective way of implementing them. The techniques are validated; the vulnerabilities of a web application are measured in two scenarios; with and without the implementation of the proposed techniques. The results show that the use of the proposed techniques is significantly related to the number of vulnerabilities found and therefore improves the level of security of web applications.

**Keywords**—Vulnerabilities, OWASP, web attacks, PHP, secure programming, web security.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas tanto públicas como privadas están incrementado el despliegue de sus aplicaciones web a través de redes globales en Internet. Esto implica que los sistemas basados en la web deberían ser revisados de manera minuciosa. En este contexto la seguridad sigue siendo un obstáculo importante para la aceptación mundial de la web, especialmente desde el reciente aumento de las vulnerabilidades explotables que han sido atribuidas a errores de las aplicaciones web [1].

A pesar que existir un nivel de madurez bastante aceptable de la seguridad informática en aspectos

relacionados con la infraestructura tecnológica, sistemas operativos y bases de datos, se evidencia que aún existen vulnerabilidades en la web, por lo que siguen siendo un gran problema, ya que de acuerdo al reporte de Symantec de abril del 2017 se detectó un promedio de más de 229,000 ataques web todos los días en el 2016, también el 76% de los sitios web escaneados contenían vulnerabilidades, 9% de los cuales se consideraron críticos [2]. Esto denota que el nivel de seguridad de las aplicaciones web debe ser mitigado de manera prioritaria por parte de los desarrolladores web.

La programación de aplicaciones web seguras no es una tarea fácil, ya que el desarrollador debe centrar la atención en requerimientos funcionales y también cumplir recomendaciones de codificación segura como el manejo de peticiones, filtrado de datos, limpieza de variables entre otras [3].

Se realizó una revisión de trabajos enfocados a proponer guías, recomendaciones y/o metodologías en donde se presentan alternativas de mejora de las seguridades de aplicaciones web. En el trabajo de [4] se presenta un enfoque totalmente automatizado para reforzar de forma segura las aplicaciones web, pero no se validan las estrategias propuestas. En otro estudio se describe una combinación de características estáticas y de tiempo de ejecución que garantiza la seguridad de aplicaciones web [1], no obstante, su propuesta se orienta un enfoque holístico y práctico. Además, en la propuesta de [5] se usa un entorno de desarrollo integrado recordando interactivamente a los programadores de las prácticas de programación segura. Finalmente, en los trabajos [6]-[8] proponen metodologías y buenas prácticas de programación segura, pero se basan en las recomendaciones de OWASP, ISO 27001, y OSSTMM, las cuales son muy generales y no se enfocan a un lenguaje de programación específico.

Además, se analizó estudios relacionados a revisiones sistemáticas de literatura. En el estudio de [9] se describe el estado del arte actual para asegurar aplicaciones web a partir de fallas importantes tales como defectos de inyección y lógica. Otro aporte [10] hace una evaluación de la situación actual de los sitios web chinos utilizando plataformas reales de revelación de vulnerabilidades. Otro trabajo [11], realizó enfoque sistemático para establecer una base de datos sustancial y completa de la literatura de última generación centrada en la detección de ataques. Finalmente, en la artículo [12] se lleva a cabo una revisión sistemática de la literatura sobre vulnerabilidades y ataques XSS hechas en trabajos afines.

El objetivo principal de este artículo es proponer un conjunto de técnicas de programación segura para reducir el riesgo de recibir ataques informáticos en las aplicaciones

web usando en el entorno de desarrollo PHP. Para verificar el nivel de seguridad de las técnicas propuestas se realizó un análisis de vulnerabilidades en dos escenarios; antes y después de la aplicación de las estrategias de programación seguras.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en la segunda sección se presenta el método utilizado para definir las estrategias de programación y su validación respectiva; en la tercera sección se describe los resultados obtenidos de análisis de vulnerabilidades detectadas mediante la aplicación de las estrategias de programación seguras; y finalmente la cuarta sección se detalla algunas conclusiones del trabajo de investigación.

## II. MÉTODO

Para lograr el propósito de esta investigación, se aplicó el presente procedimiento:

### A. Determinación de vulnerabilidades de estudio

En esta investigación se tomó como base la utilización de los Controles Proactivos TOP-10 OWASP 2016 [13] que consideran las diez vulnerabilidades más críticas, de las cuales se seleccionaron siete: 1) Inyección, 2) Pérdida de autenticación y gestión de sesiones, 3) Secuencia de comandos en sitios cruzados (XSS), 4) Configuración de seguridad incorrecta, 5) Exposición de datos sensibles, 6) Falsificación de peticiones en sitios cruzados (CSRF) y 7) Redirecciones y reenvíos no validados.

Para la selección de estas vulnerabilidades se consideraron los errores más comunes de programación: validación de entradas, gestión de sesiones, cifrado de datos, Cross Site Scripting (XSS), instalación y configuración incorrecta del servidor web y base de datos y CSRF.

### B. Técnicas Propuestas

Para definir esta propuesta se tomó como base las recomendaciones de: TOP-10 Controles Proactivos en su versión dos del 2016, la Guía de Pruebas OWASP en su versión cuatro del 2013, así como los Controles Estándar de Seguridad (ASVS) en su versión tres del 2015; todo esto implementado con las técnicas de programación de PHP.

Para cumplir con el objetivo de este estudio se proponen siete grupos de técnicas presentadas en la Tabla I.

TABLA I  
TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN SEGURA

Técnica	Implementación	Vulnerabilidad que previene
T1. Parametrizar consultas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultar</li> <li>- Insertar</li> <li>- Actualizar</li> <li>- Eliminar</li> <li>- Restricciones en los parámetros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Injection</li> </ul>
T2. Codificar los datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sanear el HTML</li> <li>- Configurar las cookies para que sean httponly y secure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Injection</li> <li>- XSS</li> </ul>

Técnica	Implementación	Vulnerabilidad que previene
T3. Validar todas las entradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Expresiones regulares</li> <li>- Validación y saneamiento <ul style="list-style-type: none"> <li>Validación de direcciones IP</li> <li>Redirecciones y reenvíos no validados</li> <li>Enlaces desde \$_SERVER</li> <li>Remover caracteres ASCII con Valor &gt; 127</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Injection</li> <li>- XSS</li> <li>- Redirecciones y reenvíos no validados</li> </ul>
T4. Implementar controles de identidad y autenticación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidas durante la autenticación <ul style="list-style-type: none"> <li>Prevenir ataques de fuerza bruta</li> <li>Captcha</li> <li>Recordar contraseña</li> </ul> </li> <li>- Gestión de sesiones <ul style="list-style-type: none"> <li>Inicio de sesión segura</li> <li>Estado de la sesión iniciada</li> <li>Cierre de sesión</li> </ul> </li> <li>- Falsificación de peticiones en sitios cruzados (CSRF) <ul style="list-style-type: none"> <li>Crear la clase y funciones</li> <li>Proteger un formulario POST</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdida de autenticación y gestión de sesiones</li> <li>- Falsificación de peticiones en sitios cruzados (CSRF)</li> </ul>
T5. Proteger los datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algoritmo cifrado</li> <li>- Cifrado de contraseñas</li> <li>- Hash de Contraseñas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposición de datos sensibles</li> </ul>
T6. Error y control de excepciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respuestas try/catch</li> <li>- Respuestas de autenticación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas las OWASP top 10</li> </ul>
T7. Configuración adecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar un servidor web, PHP y MySQL en el servidor <ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener el software actualizado</li> </ul> </li> <li>- Seguridad de la base de datos <ul style="list-style-type: none"> <li>Configuración de la base de datos MYSQL</li> <li>Conexión con la base de datos</li> <li>Desconexión con la base de datos</li> <li>Excepciones</li> </ul> </li> <li>- Archivos de configuración</li> <li>- Reporte de errores</li> <li>- Estar al tanto de las actualizaciones de los productos utilizados</li> <li>- Comprobar la información que se obtiene de las cabeceras HTTP</li> <li>- Verificar los servicios visibles</li> <li>- Buscar vulnerabilidades</li> <li>- Revisar la configuración HTTPS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todas las OWASP top 10</li> </ul>

Cada técnica cuenta con su descripción y código para implementar en PHP. Se muestra la siguiente sub-técnica:

- Técnica T3: Validar todas las entradas.
- Sub-técnica: Redirecciones y reenvíos no validados
- Descripción: No se debe confiar de los datos que provienen del exterior de su aplicación PHP. Siempre depurar y verificar los datos de entrada antes de usarlos en el código. Las funciones filter\_var() y filter\_input() ayudan a depurar los datos y verifican la

validez del formato del texto.

- Código:

```
<?php var_dump(filter_var('bob@example.com',
FILTER_VALIDATE_EMAIL));
var_dump(filter_var('http://example.com',
FILTER_VALIDATE_URL,
FILTER_FLAG_PATH_REQUIRED)); ?>
```

### C. Determinación del nivel de Seguridad

La seguridad fue determinada mediante el nivel de protección de la aplicación web contra las vulnerabilidades más conocidas, es decir, el número de vulnerabilidades altas, medias y bajas detectadas utilizando *Acunetix Vulnerability Scanner* un software que permite el escaneo de sitios web, incluyendo aplicaciones web integradas, servidores web y chequea automáticamente vulnerabilidades que aparentemente no son detectadas.

### D. Escenarios de Prueba

Para validar las técnicas propuestas se utilizó el sistema SISEV desarrollado en PHP 5.6.15, que automatiza el seguimiento y evaluación de las actividades de programas y proyectos de una institución pública del Ecuador; cuenta con 5 módulos y tiene un tamaño de 12.120 líneas de código. Este sistema fue ejecutado en dos escenarios: 1) Sin la aplicación de las técnicas de programación segura (Ambiente 1-N) y 2) Con la aplicación de técnicas de programación segura (Ambiente 2-T). En cada uno de estos escenarios se determinó la cantidad de vulnerabilidades de cada tipo. Así mismo se contabilizó la cantidad de vulnerabilidades eliminadas.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### E. Resultados de la determinación de vulnerabilidades

Los resultados obtenidos en la etapa de determinación de vulnerabilidades se muestran en la Tabla II, diez vulnerabilidades fueron establecidas, de las cuales dos son de alto grado, dos de grado medio y seis de bajo grado de incidencia en la seguridad de una aplicación web.

La Tabla III describe los resultados de las vulnerabilidades detectadas luego de la aplicación de las estrategias de programación seguras, a fin de mitigar los riesgos de seguridad en aplicaciones web.

Por otra parte, en la Figura 1 se ilustra las frecuencias numéricas de las vulnerabilidades observadas antes y después de la utilización de las estrategias de programación seguras, en la que se evidencia la reducción del 100%, 87,69% y 85,71% de las vulnerabilidades altas, medias y bajas respectivamente. Obteniendo una mejora promedio del 91,13%. Estos resultados no son suficientes para concluir que la utilización de las técnicas propuestas mejora el nivel de seguridad de las aplicaciones web, por lo que es necesario realizar una prueba estadística inferencial que nos permita concluir esto con mayor certeza.

TABLA II  
VULNERABILIDADES DETECTADAS ANTES DE LA APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE PROGRAMACIÓN SEGURAS

Vulnerabilidad	Grado	Cant.	Descripción
Blind SQL Injection	Alto	3	Técnica de ataque que utiliza Inyección SQL
PHP Hash Collision	Alto	1	Vulnerabilidad de tipo

Vulnerabilidad	Grado	Cant.	Descripción
denial of service vulnerability			denegación de servicio
Directory listing	Medio	63	Es una función que lista todos los archivos cuando no hay un archivo de index
HTML form without CSRF protection	Medio	2	Formulario HTML sin protección CSRF
Clickjacking	Bajo	1	Secuestro de sesión
Cookie without HttpOnly flag set	Bajo	1	Puede causar un desbordamiento de memoria.
Login page password-guesting attack	Bajo	1	Página de inicio de sesión puede ser atacada
OPTIONS method is enabled	Bajo	1	El método OPTIONS está activado
Possible relative path overwrite	Bajo	9	Posible sobre escritura de ruta
TRACE method is enabled	Bajo	1	El método TRACE está habilitado

TABLA III  
VULNERABILIDADES DETECTADAS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE PROGRAMACIÓN SEGURAS

Vulnerabilidad	Grado	Cant.	Descripción
Directory listing	Medio	8	Es una función de servidor web que muestra una lista de todos los archivos cuando no hay un archivo de índice
Possible relative path overwrite	Bajo	1	Posible sobre escritura de ruta
TRACE method is enabled	Bajo	1	El método TRACE está habilitado

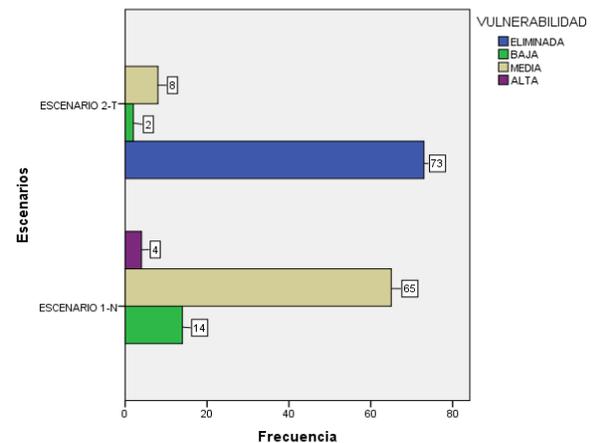


Fig. 1. Frecuencia de vulnerabilidades en dos escenarios

### F. Prueba de Hipótesis

Lo que corresponde en este trabajo de investigación es analizar los resultados obtenidos a fin de poder demostrar la incidencia positiva de la utilización de técnicas de programación segura con el fin de mejorar la seguridad de las aplicaciones web, las mismas son:

- Ha: La utilización de estrategias de programación seguras se relaciona significativamente con la cantidad de vulnerabilidades encontradas en la aplicación web.
- H0: La utilización de estrategias de programación seguras no se relaciona significativamente con la cantidad de vulnerabilidades encontradas en la aplicación web.

El análisis de las variables definidas para demostrar la

hipótesis se detalla en la Tabla IV.

TABLA IV  
TABLA DE CONTINGENCIA ESCENARIOS - VULNERABILIDAD

ESCENARIOS		VULNERABILIDAD				Total
		Eliminada	Baja	Media	Alta	
Escenario 1-N	Recuento	0	14	65	4	83
	Recuento esperado	36,5	8,0	36,5	2,0	83,0
	% del total	0,0%	16,9%	78,3%	4,8%	100,0%
Escenario 2-T	Recuento	73	2	8	0	83
	Recuento esperado	36,5	8,0	36,5	2,0	83,0
	% del total	88,0%	2,4%	9,6%	0,0%	100,0%
Total	Recuento	73	16	73	4	166
	Recuento esperado	73,0	16,0	73,0	4,0	166,0

Como se observa en la Tabla V, el valor de Chi-cuadrado es de 130.507 con 3 grados de libertad y un nivel de significancia asintótica  $P = 0.000$ ,  $P > 0.05$  por lo que se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$ , es decir que a utilización de estrategias de programación seguras se relaciona significativamente con la cantidad de vulnerabilidades encontradas en la aplicación web y por lo tanto mejora el nivel de seguridad de las aplicaciones web en entorno PHP.

TABLA V  
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CHI-CUADRADO

	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)
Chi-cuadrado de Pearson	130,507	3	0,000

#### IV. CONCLUSIONES

El principal aporte de este trabajo de investigación es proponer treinta y cinco técnicas de programación segura organizada en siete grupos, las cuales se enfocan a evitar algunos de los errores muy comunes en programación, tales como: validación de entradas, gestión de sesiones, cifrado de datos, Cross Site Scripting (XSS), instalación y configuración incorrecta del servidor web y base de datos, y CSRF. Por lo que se logra reducir el riesgo de recibir ataques informáticos en las aplicaciones web.

En este trabajo se comprueba que la utilización de técnicas de programación segura se relaciona significativamente con la cantidad de vulnerabilidades encontradas en la aplicación web y por lo tanto mejora el nivel de seguridad de las aplicaciones web en entorno PHP.

El presente estudio puede ser complementado añadiendo otras técnicas de programación segura para cubrir vulnerabilidades que no fueron consideradas en el presente documento tales como: referencia directa insegura a objetos, ausencia de control de acceso a funciones y uso de componentes con vulnerabilidades conocidas.

#### REFERENCIAS

- [1] Y.-W. Huang, F. Yu, C. Hang, C.-H. Tsai, D.-T. Lee, y S.-Y. Kuo, "Securing Web Application Code by Static Analysis and Runtime Protection," in *Proc. of the 13th International Conference on World Wide Web*, New York, NY, USA, 2004, pp. 40–52.
- [2] K. Chandrasekar et al., "Internet Security Threat Report," *Symantec*, Reporte, abr. 2017.
- [3] A. Mier y Terán y M. V. Martínez, "Aspectos Básicos de la Seguridad en Aplicaciones Web | Documentos - CSI -," 25-may-2016. [En

línea]. Disponible en:

<https://www.seguridad.unam.mx/historico/documento/index.html-id=17>. [Accedido: 13-abr-2018].

- [4] A. Nguyen-Tuong, S. Guarnieri, D. Greene, J. Shirley, y D. Evans, "Automatically Hardening Web Applications Using Precise Tainting," in *Security and Privacy in the Age of Ubiquitous Computing*, 2005, pp. 295-307.
- [5] J. Xie, B. Chu, H. R. Lipford, y J. T. Melton, "ASIDE: IDE Support for Web Application Security," in *Proc. of the 27th Annual Computer Security Applications Conference*, New York, NY, USA, 2011, pp. 267–276.
- [6] M. A. Mendoza, M. Patiño, y P. Julián, "Desarrollo de una propuesta metodológica para determinar la seguridad en una aplicación web," 2011.
- [7] Y. Romero y E. Nataly, "Guía de buenas prácticas de desarrollo de aplicaciones web seguras aplicado al sistema control de nuevos aspirantes Empresa Grupo LAAR," Dic. 2014.
- [8] F. López Provencio, "Desarrollo dirigido por la seguridad," 2015.
- [9] G. Deepa y P. S. Thilagam, "Securing web applications from injection and logic vulnerabilities: Approaches and challenges," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 74, pp. 160-180, jun. 2016.
- [10] C. Huang, J. Liu, Y. Fang, y Z. Zuo, "A study on Web security incidents in China by analyzing vulnerability disclosure platforms," *Comput. Secur.*, vol. 58, pp. 47-62, may 2016.
- [11] K. Singh, P. Singh, y K. Kumar, "Application layer HTTP-GET flood DDoS attacks: Research landscape and challenges," *Comput. Secur.*, vol. 65, pp. 344-372, mar. 2017.
- [12] I. Hydera, A. B. M. Sultan, H. Zulzalil, y N. Admodisastro, "Current state of research on cross-site scripting (XSS) – A systematic literature review," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 58, pp. 170-186, feb. 2015.
- [13] OWASP Foundation, "OWASP Top 10 Proactive Controls 2016," 2016.

# El ciudadano digital y redes sociales en época electoral: Aprendizajes y desafíos en Ecuador

Héctor Revelo<sup>a</sup>, Walter Fuertes<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Dept. de Ciencias de la Computación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Extensión Santo Domingo

<sup>b</sup> Dept. de Ciencias de la Computación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
hmrevelo@espe.edu.ec, wmfuertes@espe.edu.ec

**Resumen**—Según el organismo responsable de estadística y censos ecuatoriano, en el 2016 se calculó que el 89.5% de ciudadanos estuvo en capacidad de usar servicios digitales, ser productores de contenidos, y activistas sociales. Esto denota que existen nuevos hábitos con derechos y obligaciones para el ciudadano digital, como los derechos de participación y el derecho a elegir y ser elegido como autoridad de elección popular. El objetivo de este estudio es categorizar el tipo de información difundida por actores políticos y sociales en época electoral con el fin de tomar acciones de sensibilización en el buen uso de las redes sociales y trabajo corporativo, con el desafío de mejorar la protección de datos personales y la seguridad de la información en la interacción social y ejercicio de ciudadanía. Para lograrlo, se aplicó la metodología de investigación bibliográfica, descriptiva, cualitativa y no experimental a través de la revisión del material documental y la investigación de campo, de manera sistemática y rigurosa. Los resultados muestran tanto el impacto que la desinformación causó sobre los derechos de intimidad y privacidad de los ciudadanos, así como los aprendizajes y desafíos en el contexto de la democracia digital en el Ecuador.

**Palabras Clave**—Democracia digital, protección de información, Transparencia y acceso a la información, redes sociales y trabajo corporativo.

## I. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) apoyan a la construcción de una democracia digital participativa e inclusiva. Sin embargo, según Welp en [1], existe riesgo de reforzar la desigualdad mediante la promoción de las TIC para la democracia en países con una considerable brecha digital.

De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC) en la Encuesta Nacional de Empleo Desempleo y Subempleo – ENEMDU de 2015 [2], “el 55,6% de la población de Ecuador ha utilizado Internet en los últimos 12 meses, el 63,8% en el área urbana, el 38,0% en el área rural”. Esto permite inferir una conversión de ciudadanos digitales consumidores de contenidos a ciudadanos productores de contenidos. No obstante, ¿En qué tipo de productores y activistas sociales nos estamos convirtiendo? ¿En qué están contribuyendo las TIC a la democracia? ¿Es conveniente y viable la democracia digital en Ecuador? ¿Cuáles son los desafíos, oportunidades y riesgos de su implementación y su impacto en la sociedad? La hipótesis de esta investigación es demostrar que el uso de redes sociales y trabajo colaborativo en la desinformación pública de los actores políticos en Ecuador disminuye la desconfianza en la

democracia digital.

Este estudio tiene como objetivo categorizar el tipo de información difundida por actores políticos y sociales en época electoral, con el fin de tomar acciones de sensibilización y tomar conciencia. Para lograrlo, se aplicó la metodología de investigación bibliográfica, descriptiva, cualitativa, no experimental sobre el estudio del problema planteado a través de la revisión del material bibliográfico, documental y la investigación de campo, de manera sistemática y rigurosa.

Concretamente, durante el desarrollo de esta investigación se realizó el monitoreo de notas de medios de comunicación respecto a incidentes informáticos generados por sujetos políticos en el proceso electoral del 2017. Estos incidentes fueron agrupados en noticias falsas (desinformación o *geek news*), acceso a información personal, hackeo a cuentas de medios de comunicación, hackeo de cuentas de personajes políticos. De este modo se pudo determinar el nivel de confianza en redes sociales por parte de la ciudadanía. Como instrumentos de medición se realizaron dos tipos de encuestas “Perfil del elector Ecuatoriano 2013” y “Perfil del elector Ecuatoriano 2017”.

La principal contribución de este estudio es explorar la conveniencia y viabilidad de la e-Democracia en Ecuador. Se ha evaluado los desafíos, las oportunidades y los riesgos de su implementación y su impacto en la sociedad.

El resto del artículo ha sido organizado como sigue: La sección 2 describe el marco referencial que apalanca esta investigación. La sección 3, detalla el diseño de la investigación. La sección 4 presenta los resultados obtenidos y la discusión. Finalmente, en la sección 5 se puntualiza las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## II. MARCO REFERENCIAL

*La Democracia Digital* y la Tecno política, son conceptos que emergen en este cambio de época. De acuerdo con el Centro de democracia digital de la Universidad de Génova [3], “La democracia digital se ha definido como el uso de la comunicación electrónica, que otorga a los ciudadanos el poder de controlar la responsabilidad de legisladores y políticos en cuanto a sus acciones en la esfera pública mediante el fortalecimiento de la transparencia en el proceso político, la mejora de la calidad de las etapas de formación de opinión o aumento de la participación ciudadana en el proceso de toma de decisiones”. En el contexto de este estudio, se las define como el uso de servicios digitales que fomentan la

participación, diálogo ciudadano y uso de fuentes de información de los sujetos políticos, para seleccionar a sus mandantes. Promueve el uso de servicios digitales para que la ciudadanía tenga facilidades en el ejercicio de sus derechos de participación. No obstante, surge un cuestionamiento orientativo de la investigación ¿qué sucede cuando los actores políticos en lugar de informar desinforman?

*El activismo tecnológico* es una nueva herramienta de incidencia que usa la ciudadanía a través de servicios digitales como redes sociales virtuales tipo *Facebook*, *Twitter*, *Instagram* y mensajería instantánea como *WhatsApp* y *Telegram*. Mediante estos medios se forman comunidades virtuales, que usan estos nuevos espacios públicos que en el mundo de los átomos vienen a ser similares a parques, plazas, aulas, lugares en donde se interactúa y motiva el diálogo. En discrepancia, también estas generan agresión e irrespeto.

*La información digital* es un bien jurídico protegido [4], es un derecho y tiene valor. Existen dos dominios para determinar el valor de la información: a) Para las ciencias de la información a través de las normas ISO 27001, en donde se definen criterios como; disponibilidad, integridad, y confidencialidad; b) desde las ciencias de la comunicación social, los criterios son; veracidad, oportunidad, confiabilidad, contrastación.

Para armonizar el impacto que genera el uso y acceso a información, se crearon o adecuaron marcos jurídicos iniciando con la Constitución del Ecuador 2008 [5], Ley de Comunicación e Información, Código Integral Penal, Ley de Comercio Electrónico, Ley de Acceso a la Información, Ley de Datos Públicos, entre otras. La Constitución del Ecuador 2008, por citar, en el Art. 16 garantiza a los ciudadanos el acceso universal a las TIC. El Art. 66 numeral 19 legaliza el derecho a la protección de datos de carácter personal. El Art. 66 numeral 20 legitima el derecho a la intimidad personal y familiar. El Art. 66 numeral 21 refrenda el derecho a la inviolabilidad y al secreto de la correspondencia física y virtual.

### III. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### A. Tipo de Investigación

Esta investigación es: (1) *Descriptiva*, puesto que busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis; (2) *Cualitativa*, porque proporcionan una gran cantidad de información valiosa, con un limitado grado de precisión, puesto que se emplean términos cuyo significado varía para las diferentes personas, épocas y contextos [6]; (3) *No experimental*, porque el investigador no tiene control sobre las variables independientes porque ya ocurrieron los hechos o porque son intrínsecamente manipulables; y (4) *Bibliográfica*, porque se ocupa del estudio de problemas planteados a nivel teórico a través de la revisión del material documental de manera sistemática, rigurosa y profunda [7].

#### B. Etapa exploratoria.- Noticias falsas, desinformación.

Según Claire Wardle [8] existen siete tipos de

desinformación; conexiones falsas, contexto falso, contenido manipulado, sátira o parodia, contenido engañoso, contenido impostor, y contenido fabricado. En este mismo contexto, José Mujica en una entrevista en el Periódico El Ciudadano [9] manifiesta “las redes sociales son el nido de los cobardes que no dan la cara” y usan la desinformación como herramienta política. En este estudio, se propone añadir como desinformación, la discriminación, el inducir al odio, la injuria, la difamación y desacreditar a personas o instituciones.

Los servicios digitales de las empresas del capitalismo cognitivo como *Facebook*, *Twitter*, *WhatsApp* se convirtieron en espacios de sendas batallas de guerra de información. Las noticias falsas generan malestar social. Parte de este problema, son los ciudadanos que al replicar noticias falsas ayudan en su propagación. Hay víctimas como los niños, niñas y jóvenes que están viendo malos hábitos digitales como el brindado por los actores políticos. Por tanto, es necesario tomar acciones de sensibilización y tomar conciencia.

Por otra parte, en las elecciones 2017, los blancos de noticias falsas y desinformación fueron instituciones y actores políticos. En el caso de instituciones se trató de desacreditar al Consejo Nacional Electoral (CNE) con desinformación sobre el padrón electoral, el sistema de escrutinio, creando dudas y desconfianza institucional.

#### C. Etapa exploratoria- Acceso no autorizado a un sistema de información

En el Código Orgánico Integral Penal (COIP) [10], el Art. 178 tipifica como delito la “*Violación a la intimidad*”, Art. 229 tipifica la “*Revelación ilegal de base de datos*”, Art. 230 se tipifica la “*Interceptación ilegal de datos*”, Art. 234 el “*Acceso no consentido a un sistema informático*”. En elecciones 2017 se generaron varios incidentes por accesos no consentidos a cuentas de redes sociales y portales como: 1)

Cuentas de medios de comunicación; el 16 de febrero la cuenta Twitter de diario El Comercio @elcomercio.com, diario Últimas Noticias @UNQuito, la cuenta del periodista Juan Carlos Calderón (@Pichindedino), director de la revista Plan V fue intervenida; 2) Cuentas de actores políticos como; Abdalá Bucaram Pulley (@Daloos10), Fuerza Ecuador (@Fuerza\_Ecuador), Andrés Páez (@Andrespaezec), Patricio Donoso (@donoso2013), Mae Montaña (@maemontanov); 3) Cuentas de activistas políticos y sociales: Carlos Vera (@CarlosVerareal), @JJOlmedo\_, Carlos Acosta @caacosta1962, Soraya Consante @Sory\_Constante.

La comunidad de Usuarios digitales registró 24 incidentes informáticos realizados en relación a la campaña electoral 2017, las cuentas intervenidas se utilizaron para divulgar mensajes ofensivos, material pornográfico, así como videos e información en contra.

#### D. Etapa exploratoria- Intimidación y privacidad.

En el COIP, Art. 178 se tipifica “*La violación a la intimidad*”, Art. 176. “*La discriminación*”, Art. 154 “*La intimidación*”. En elecciones 2017 uno de los derechos más afectados fue el del buen nombre de las personas. En marketing político la desinformación fue usada para

desacreditar al oponente, lo que obligó a dedicar tiempo para la defensa. En elecciones 2017 el uso de redes sociales en los actores políticos fue para: desacreditar, desinformar, contrarrestar, informar agenda del candidato/a, e informar ofertas de campaña.

#### E. Etapa exploratoria- Derecho a la información

También hay que mirar el derecho a la información desde el derecho de los ciudadanos a estar informados. Según Gregorio de García en [11] “La aplicación a una persona de la etiqueta de “figura pública” significa a fin de cuentas, que para prevalecer en un pleito de difamación se le someterá a un criterio más riguroso de prueba, que su derecho a la intimidad pesa menos que el derecho de otros a la libre expresión, a menos que demuestre la existencia en esto de malicia real”. “Aquellos que pretenden ser elegidos para cargos públicos son conscientes que al hacerlo se convierten a sí mismos, y a aquellos cercanos a ellos, en blancos por parte del interés y la atención pública. La pérdida de la privacidad de los hijos es uno de los costos de tener un mercado de ideas libres.”

Para obtener información personal o empresarial se deben violentar varios derechos y leyes, usando el “anonimato” aprovechando las vulnerabilidades y los errores informáticos por ejemplo un ‘plugin’ desactualizado, versiones antiguas de aplicaciones, y la no aplicación de políticas de cambio de contraseñas de acceso.

#### F. Determinación de la Muestra

Para inferir la confianza que tienen los ciudadanos en las redes sociales en época electoral, se utilizaron los resultados de las encuestas “Perfil del elector Ecuatoriano 2013”, y “Perfil del elector Ecuatoriano 2017”, en elecciones generales de presidente y asambleístas. Para el cálculo de la muestra utilizó el universo fijo del Registro Electoral que está conformado por 11.666.478 personas mayores de 16 años en el territorio ecuatoriano y en el exterior, las mismas que podrán ejercer su derecho al voto en las elecciones de 2013.

En Elecciones 2013, el cálculo de la muestra se realizó para un margen de error del 5%, y un nivel de confianza del 99%, teniendo una muestra de 657. Esta se aplicó a grupos cerrados conformados por tres mil ciudadanos asistentes a los eventos de capacitación y socialización organizados por el CNE, lo que supone una limitación propia del tiempo y recursos disponibles (i.e., universo interesado).

Para elecciones 2017 el cálculo de la muestra se realizó para un margen de error del 10%, y un nivel de confianza del 90%, teniendo una muestra de 68, la encuesta en Elecciones 2017, se aplicó a grupos cerrados de estudiantes y docentes de una universidad pública del Ecuador (i.e., muestra sesgada).

### IV. EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### A. Evaluación

En relación a las preguntas realizadas en la encuesta de perfil del elector Ecuatoriano, se consideraron 41 preguntas. Las preguntas 42 y 43 se aumentaron en la encuesta realizada para elecciones 2017. La encuesta en Elecciones 2013, se aplicó a grupos cerrados conformados por tres mil ciudadanos

asistentes a los eventos de capacitación y socialización organizados por el CNE, lo que supone una limitación propia del tiempo y recursos disponibles, es lo que se conoce como un universo interesado. La encuesta en Elecciones 2017, se aplicó a grupos cerrados de estudiantes y docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, extensión Santo Domingo, a través de correo electrónico con la aplicación Google Forms, es lo que se conoce como una muestra sesgada. Las dos encuestas son estudios de opinión pública en asuntos sociales, que brindan datos de tendencia de comportamiento y opinión. Los resultados prioritarios se presentan en las Tablas I-VI:

TABLA I  
PREGUNTA 11.- ¿USTED SE INFORMA PARA VOTAR?

Elecciones 2013			Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	%	Respuesta	Cantidad	%
No contesta	64	1.82%	No contesta	0	
A veces	1027	29.18%	A veces	8	19.05%
Nunca	426	12.10%	Nunca	1	2.38%
Siempre	2003	56.90%	Siempre	33	78.57%
<b>Suma total</b>	<b>3520</b>		<b>Suma total</b>	<b>42</b>	

TABLA II  
PREGUNTA 12.- ¿SI SE INFORMA, CÓMO LO HACE?

Elecciones 2013			Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	%	Respuesta	Cantidad	%
No contesta	83	2.36%	No contesta	0	0.00%
A través de grupos políticos o candidatos	351	9.97%	A través de grupos políticos o candidatos	1	2.38%
A través de los medios de comunicación	2268	64.43%	A través de los medios de comunicación	26	61.90%
No me informo	224	6.36%	No me informo	1	2.38%
Por mi familia y amigos	594	16.88%	Por mi familia y amigos	5	11.90%
<b>Suma total</b>	<b>3520</b>		A través de los Blog y/o sitios Web de los candidatos	6	14.29%
			A través de redes sociales	3	7.14%
			<b>Suma total</b>	<b>42</b>	

TABLA III  
PREGUNTA 30. ¿LA INFORMACIÓN QUE RECIBE EN REDES SOCIALES HA CAMBIADO O PODRÍA CAMBIAR SU VOTO?

Elecciones 2013			Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	%	Respuesta	Cantidad	%
No responde	137	3.89%	NO	26	61.90%
NO	2071	58.84%	SI	16	38.10%
SI	1312	37.27%	<b>Suma total</b>	<b>42</b>	
<b>Suma total</b>	<b>3520</b>				

TABLA IV  
PREGUNTA 37.- ¿CONSIDERA QUE LA INFORMACIÓN PERSONAL DE UN CANDIDATO (ADICIONAL A SU HOJA DE VIDA) ES?

Elecciones 2013			Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	%	Respuesta	Cantidad	%
No responde	168	4.77%	No responde	0	0.00%
Pública en lo que interese al proceso por ejemplo su trayectoria	1459	41.45%	Pública en lo que interese al proceso por ejemplo su trayectoria	24	57.14%
Pública en su totalidad	1192	33.86%	Pública en su totalidad	15	35.71%
Totalmente privada	701	19.91%	Totalmente privada	3	7.14%
<b>Suma total</b>	<b>3520</b>		<b>Suma total</b>	<b>42</b>	

### B. Discusión, aprendizajes y desafíos

Lo analizado anteriormente conduce a sugerir la implementación de políticas públicas que protejan y desintoxiquen a la ciudadanía del mal uso de las redes sociales virtuales. Con la misma responsabilidad conlleva, a develar a quienes han generado la desinformación. Esto hace necesario una discusión social de los “Actos de Odio y Discriminación en Redes Sociales e Internet”. Los ciudadanos Digitales deben apoyar esta iniciativa, pues se debe dignificar el uso de las TIC que son parte de desarrollo social y económico, y no para fomentar el odio, la revancha, la discriminación”.

TABLA V  
PREGUNTA 42.- ¿EL USO DE REDES SOCIALES DEBE SER REGULADO EN LOS PROCESOS ELECTORALES, PARA EVITAR NOTICIAS FALSAS, ENGAÑOSAS Y OFENSIVAS?

Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
No contesta	1	2.38%
No	5	11.90%
No opino	3	7.14%
Si	33	78.57%
Suma total	42	

TABLA VI  
PREGUNTA 43.- ¿CONSIDERA QUE LAS NOTICIAS EN REDES SOCIALES EN ÉPOCA ELECTORAL TIENEN?

Elecciones 2017		
Respuesta	Cantidad	Porcentaje
Contenido manipulado	23	54.76%
Contenido fabricado	14	33.33%
Desacreditar a personas o instituciones	14	33.33%
Contenido engañoso	13	30.95%
Inducir al odio	11	26.19%
Difamación	10	23.81%
Contexto falso	8	19.05%
Sátira o parodia	8	19.05%
Son verdaderas	5	11.90%
Discriminación	4	9.52%
Contenido impostor	3	7.14%
Injuria	3	7.14%
Otro:	2	4.76%

Los hallazgos encontrados permiten inferir que: 1) la desinformación digital intoxica a la sociedad; 2) Las redes sociales son espacios en donde los ciudadanos usan servicios digitales y se expresan; 3) Existen otros tipos de desinformación como la discriminación, inducir al odio, injuria y la difamación; 4) Se debe filtrar la información que se consume; 5) Se debe fomentar la democracia digital, y la participación ciudadana mediante servicios digitales; 6) Se debe difundir y sensibilizar en la ciudadanía el ejercicio de su derecho para exigir transparencia e información en un ambiente de respeto y no agresión mediante la creación de observatorios ciudadanos; 7) Se debe desarrollar el concepto de ciudadanía informada a espacios en donde la ciudadanía informa, pasando de ser receptores a participantes y proponentes; 8) Se debe culturizar a los ciudadanos y a los actores políticos en temas relacionados en la democracia digital participativa, la inseguridad de las redes sociales, y el buen uso de las TIC.

### V. CONCLUSIONES

Este estudio tuvo como objetivo categorizar el tipo de información difundida por actores políticos y sociales en época electoral con el fin de tomar acciones de sensibilización en el buen uso de las redes sociales y trabajo corporativo. Para lograrlo, se aplicó la metodología de investigación bibliográfica, descriptiva, cualitativa y no experimental a través de la revisión del material documental y la investigación de campo. Los resultados muestran tanto el impacto que la desinformación causó sobre los derechos de intimidad y privacidad de los ciudadanos, así como los aprendizajes y desafíos en el contexto de la democracia digital en el Ecuador. Como trabajo futuro se planea utilizar Inteligencia Artificial para crear filtrado de contenidos o anti-spyware que bloquee noticias falsas, mensajes de odio y discriminación.

### REFERENCIAS

- [1] Y. Welp, "ICT's for democracy in Latin America." International Conference on Electronic Participation. Springer, Berlin, 2010.
- [2] INEC, IN. "Encuesta nacional de empleo, desempleo y subempleo." Indicadores de pobreza y desigualdad. 2015
- [3] Y. Welp, "Democracy and digital divide in Latin America", in International Conference of Direct Democracy (pp. 14-15). Mar. 2007.
- [4] J. Villacís, M. Josefina. La información es un bien jurídico protegido que sustenta la tipificación de las llamadas infracciones informáticas en nuestro código penal. BS thesis. 2008.
- [5] Constitución del Ecuador, Registro Oficial 449 (2008): 67.
- [6] R. Hernández S, et al., "Metodología de la Investigación Científica, Mc Graw Hill, México, ISBN 968-422-931-3. 2005.
- [7] H. Ávila "Introducción a la Metodología de la Investigación, Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. 2006.
- [8] C. Wardle, "Fake news. It's complicated." First Draft News (2017). Last Access 28/04/18, at: <https://firstdraftnews.org/fake-news-complicated/>
- [9] ICN, "Pepe Mujica sobre las redes sociales: 'son el nido de cobardes que no dan la cara', Último acceso, 28/08/2018 URL: <https://www.icndiario.com/2017/02/22/pepe-mujica-sobre-las-redes-sociales-son-el-nido-de-cobardes-que-no-dan-la-cara/>.
- [10] Código Orgánico Integral Penal. Quito Ecuador: Quito: Corporación de Estudios y Publicaciones, Legislación Conexa. Versión Prof. 2014.
- [11] G. Gregorio de García. "Campañas electorales transparentes: figuras públicas — ¿hasta dónde los candidatos pueden mantener su privacidad? Acceso 28/04/18. En: <http://www.ijusticia.org/docs/figuraspublicas.pdf>

# Métodos de agrupamiento LA & SIA: Comparación computacional

Mauricio Naranjo<sup>a</sup>, Rubén Pazmiño<sup>b</sup>, Miguel Conde<sup>c</sup>, Francisco Peñalvo<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Ambato, Programa Magister en Ciencias de la Educación.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias, CIED, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

<sup>c</sup> Department of Computer Science, University of León, León, Spain

<sup>d</sup> Department of Computer Science, University of Salamanca, Salamanca, Spain

maurysnaranjo@gmail.com, rpazmino@epoch.edu.ec, miguel.conde@unileon.es, fgarcia@usal.es

**Resumen**—Las analíticas de aprendizaje son y siguen siendo una tecnología emergente según el informe Horizon del 2016, es por ello por lo que el estudio y la búsqueda de nuevas técnicas de análisis es importante. El análisis Estadístico Implicativo permite descubrir R-reglas de la forma  $a \rightarrow b$  sobre un conjunto de variables o sujetos. Las reglas se representan gráficamente por dendogramas que sirven como una nueva herramienta clustering basada en el concepto de cohesión. El Clustering es una de las técnicas más utilizadas en Learning Analytics para la exploración de datos para condensarlos en grupos heterogéneos de objetos similares entre sí. El objetivo de este artículo es comparar desde la ocupación de memoria las funciones cluster utilizadas en Learning Analytics `hclust.vector`, `dendro.variables` y `diana` y las funciones `callHierarchyTree` y `callSimilarityTree` utilizadas en el Análisis Estadístico Implicativo, esto permitirá determinar las ventajas de las nuevas técnicas de análisis cluster basadas en el Análisis Estadístico Implicativo. El análisis comparativo se realizó mediante un diseño cuasi experimental bifactorial del tipo RGXO, para controlar las variables exógenas se utilizó similares arquitecturas de hardware (Procesador Core I7, Velocidad 2,2 Ghz y Memoria RAM 8Gb) y de software (Windows 8, Ubuntu 16.04, MacOS Sierra 10.12, R v3.4.1 y RStudio v1.0.153). El colectivo de estudio estuvo conformado por 100000 bases de datos de 1000 observaciones y 100 variables dicotómicas. Se utilizó un método de muestreo aleatorio simple, el tamaño de muestra utilizado fue de 383 bases de datos. Los resultados demuestran que no existe diferencia significativa en la ocupación de memoria entre los métodos `simlarty`, `dendro.diana` y `hclust.vector`, es decir estadísticamente los tres métodos son equivalentes y son los que menos memoria ocupan. El método `hrarchy` ocupa el segundo lugar en mayor ocupación de memoria y el método que más memoria utiliza es `dendro.variables`.

**Palabras Claves**—analíticas de aprendizaje, análisis estadístico implicativo, métodos cluster, `callSimilarityTree`, `dendro.variables`, RCHIC

**Abstract**—Learning analytics are and continue being an emerging technology according to the 2016 Horizon report, that is why the study and the new search for analysis techniques is important. Statistical Implicative Analysis allows to discover R-rules of the form  $a \rightarrow b$  on a set of variables or subjects. The rules are represented graphically by dendograms that serve as a new clustering tool based on the concept of cohesion. Clustering is one of the most used techniques in Learning Analytics to explore data for condense them into heterogeneous groups for similar objects for each other. The objective of this article is to compare the memory functions of the cluster functions used in Learning Analytics `hclust.vector`, `dendro.variables` and `diana` and the functions `callHierarchyTree` and `callSimilarityTree` used in Statistical Analysis Implicative, this will allow to determine the advantages of the new techniques of cluster analysis based on Statistical Implicative Analysis. The comparative analysis was

carried out through a quasi-experimental bifactorial design of the RGXO type, to control the exogenous variables, similar hardware architectures were used (Core I7 processor, 2.2 Ghz velocity and 8Gb RAM memory) and software (Windows 8, Ubuntu 16.04, MacOS Sierra 10.12, R v3.4.1 and RStudio v1.0.153). The population consisted of 100000 databases of 1000 observations and 100 dichotomous variables. A simple random sampling method was used, the sample size used was 383 databases. The results show that there is no significant difference in memory occupancy between the methods `simlarty`, `dendro.diana` and `hclust.vector`, that is, statistically all three methods are equivalent and are the ones with the least memory. The `hrarchy` method occupies the second highest memory allocation and the method that uses the most memory is `dendro.variables`.

**Keywords**—learning analytics, statistical implicative analysis, cluster methods, `callSimilarityTree`, `dendro.variables`, RCHIC

## I. INTRODUCCIÓN

El análisis de datos es fundamental en los procesos educativos de deserción, rendimiento, seguimiento, rendimiento, uso de tecnologías, entre otros; al no utilizar las técnicas más adecuadas se obtiene obstrucción, receso, estancamiento y lentitud en los cálculos lo que hace que las técnicas de análisis de datos sean inaplicables. Es necesario utilizar técnicas óptimas que minimicen el espacio de memoria y el tiempo de procesamiento (complejidad algorítmica). Por esta razón esta investigación determina las técnicas óptimas desde el punto de vista de la ocupación de memoria utilizadas en el Análisis Estadístico Implicativo (SIA) y Learning Analytics (LA).

El Análisis Estadístico Implicativo se desarrolló al encontrar problemas o cuestiones planteadas [1], su objetivo es estructurar los datos, a través de técnicas comunes de adquisición de conocimientos en cualquier proceso de aprendizaje [2]. Por otra parte, el análisis estadístico Implicativo según la investigación realizada por [3], indica que su primera aplicación es el ámbito educativo, específicamente en el área de la matemática. Del estudio realizado se desprende que los artículos sobre Educación (71 artículos) duplican aquellos de desarrollo teórico (27 artículos), por lo cual el investigador concluye que existe muchas experiencias en la aplicación en el área educativa, con lo cual el autor motiva a los educadores a utilizar esta nueva técnica estadística multivariada. Además, nos hace ver la compatibilidad que existe entre las técnicas de análisis de datos del SIA y del LA [4]. El Análisis Estadístico Implicativo se automatiza mediante el software CHIC en su versión propietario desarrollado por el profesor Raphael

Couturier [5] y en su versión libre llamado RCHIC [6]. El Learning Analytics (LA) es la medición, recopilación, análisis y datos sobre los alumnos y sus contextos, con el propósito de comprender y optimizando el aprendizaje y los entornos en los que se produce para cubrir la mayoría de la investigación educativa, pero típicamente se combina con dos suposiciones: que el aprendizaje analítico hace uso de datos preexistentes, legibles por máquina, y que sus técnicas pueden ser usadas para manejar grandes datos, grandes conjuntos de datos que no serían factible tratar manualmente [7]. Learning Analytics es un espacio significativo de análisis del aprendizaje con tecnología que ha surgido durante los últimos 7 años [8]. El reporte horizon realizado por indica que el LA pretende utilizar el análisis de datos para generar información que permita tomar las mejores decisiones en ámbito educativo, para elaborar mejores pedagogías, entender a los estudiantes el porqué de su abandono de los estudios e incrementar la retención, está información ha sido eficaz y deben mantenerse; los resultados obtenidos son importantes para los directivos, los encargados de crear normativas y demás autoridades que son parte del sistema educativo. Para los docentes, el LA es crucial a la hora de buscar cómo interactúan los educandos con los textos y materiales disponibles por Internet. Los educandos también se benefician de los resultados de LA, mediante las diferentes aplicaciones desarrolladas para dispositivos móviles y plataformas por Internet que utilizan datos específicos de cada estudiante para crear sistemas de apoyo que se ajusten a las necesidades de aprendizaje. La selección de los métodos de análisis de datos similares entre el Análisis Estadístico Implicativo y el Learning Analytics se realizó utilizando los modelos y estándares (MSSS) [9] y la elaboración de un diseño cuasi-experimental en la ingeniería de software propuesto por Donald Campbell y Julian Stanley [10], el objetivo principal es comparar el uso de memoria de las técnicas clustering LA (hclust.vector, dendro.variables y diana) y SIA (callHierarchyTree y callSimilarityTree) [11].

## II. MÉTODO

Por el paradigma de investigación es una investigación de tipo cuantitativo, por el tipo de diseño utilizado es quasi experimental, por el tiempo de estudio es transversal, el colectivo de estudio lo conforman las 100 000 bases de datos aleatorias formadas por 1000 observaciones y 100 variables, la población es la información sobre nombre del archivo, número de filas, número de columnas, total de datos, tiempo y memoria, por la amplitud de estudio es un muestreo de 383 bases de datos aleatorias binarias.

### A. Materiales: el equipo informático y software

Para el estudio se utilizaron tres computadores con el mismo microprocesador: Intel® Core™ i7-CPU @ 2.2 Ghz y 8Gb de memoria RAM, se ha instalado los sistemas operativos Windows8-64 bits, Linux – Ubuntu 16.04-64 bits y MAC OS 10-64 bits. Todos los computadores y sistemas operativos trabajaron con el software estadístico libre R, versión 3.4.1; el entorno de desarrollo integrado libre RStudio, versión 1.0.143 y el paquete RCHIC, versión 0.24. Las bases de datos se generaron aleatoriamente utilizando la función runif() perteneciente al paquete estándar de R. Los

datos utilizados fueron dicotómicos generados por la función runif() y round().

### B. Metodología: diseño cuasi-experimental

El tamaño de la población fue de 100000 bases de datos formadas hasta por un máximo de 1000 observaciones y 100 variables. Por su tamaño, se escogió una muestra utilizando el método de muestreo aleatorio simple con parámetro de interés la media, se consideró la fórmula (1) para el cálculo de la muestra:

$$n = \frac{s^2}{\frac{E^2}{Z_{\alpha/2}^2} + \frac{s^2}{N}} \quad (1)$$

Para la aplicación de la fórmula se utilizaron los parámetros desviación estándar  $s = 1$ ;  $\alpha = 5\%$ ;  $Z = 1.96$ ;  $E = 10\%$ ;  $N = 100000$  y se generó un tamaño de la muestra de 382.675 que redondeado es 383. Las hipótesis estadísticas que se demostraron fueron normalidad según en test de Anderson-Darling, test de hipótesis de Kruskal-Wallis y su respectivo post test. Para demostrar las hipótesis se planteó un cuasiexperimento en la ingeniería de software de tipo RGXO<sub>1</sub>. Donde RG representa el grupo aleatorio del grupo experimental (tanto-inter como intra-grupos), X representa el tratamiento que en este caso son los 3 técnicas cluster jerárquicos utilizadas en LA (hclust.vector, dendro.variables y diana) y 2 técnicas usadas en SIA (callHierarchyTree y callSimilarityTree). Se trabajó con un nivel de significancia del 95%. La variable dependiente fue el espacio de memoria ocupado (en kilobytes) que es de tipo numérico.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### C. Análisis descriptivo

Se procedió a realizar un gráfico de cajas y alambres comparativo para cada uno de los 5 métodos analizados, éste se muestra a continuación en la Fig. 1.

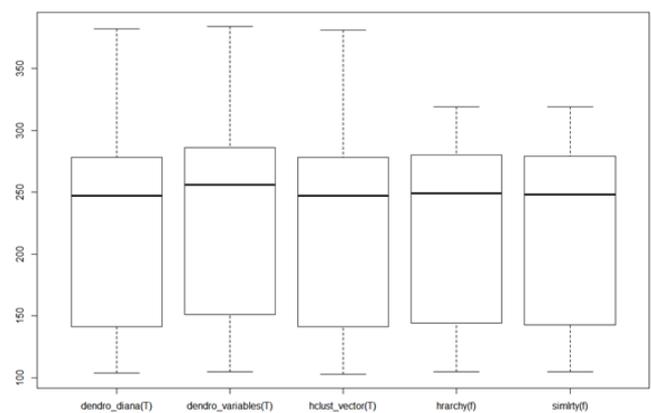


Fig. 1. Gráfico comparativo de cajas y alambres

La Tabla I, muestra un cuadro comparativo entre las medidas de centralización y el tamaño de muestra utilizado para cada uno de los métodos analizados.

TABLA I  
CUADRO COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS CLUSTER SU MEDIA Y EL TAMAÑO DE MUESTRA

	dendro_diana(T)	dendro_variab les(T)	hclust_v ector(T)	hrarch y(f)	simlrt y(f)
Centrali zación	222.956	231.3444	223.007	224.81	223.89
Tamaño	8	3447	0	00	85
	3447	3447	3447	3447	3447

#### D. Comprobación de supuestos

Para determinar el test apropiado a utilizar se procedió a la comprobación de los supuestos. A continuación, se muestra la gráfica de cuartiles, que da una idea gráfica sobre la normalidad de los datos sobre la memoria ocupada por los diferentes métodos.

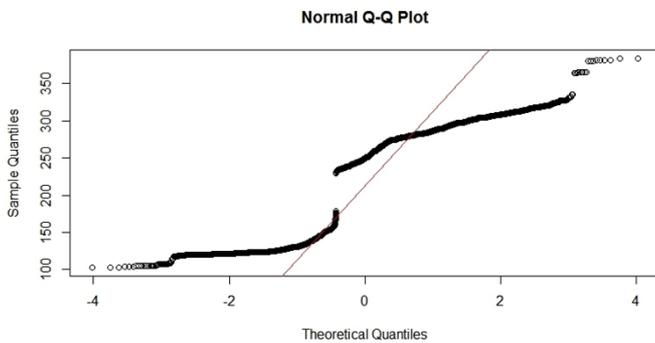


Fig. 2. Gráfico de cuartiles

$H_0$ : No se observa diferencia entre los datos de ocupación de memoria y la distribución normal

$H_1$ : Se observa diferencia entre los datos de ocupación de memoria y la distribución normal

Para su demostración se utilizó el test de Anderson-Darling, cuyos resultados se muestra en la Tabla II:

TABLA II  
RESULTADOS DE LOS TEST DE NORMALIDAD

TEST DE NORMALIDAD	ESTADÍSTICO	P-VALUE
Anderson-Darling	A = 1224	< 2.2e-16

#### E. Prueba de hipótesis

La hipótesis estadística por demostrar se muestra a continuación:

$$H_0 : \tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2 = \tilde{\mu}_3 = \tilde{\mu}_4 = \tilde{\mu}_5$$

$$H_1 : \exists i, j \in \{1, 2, 3, 4, 5\} / \tilde{\mu}_i \neq \tilde{\mu}_j \quad (2)$$

Se utilizó el test de hipótesis no paramétrico suma de rangos para muestras independientes de Kruskal-Wallis, los resultados entregados por la función `kruskal.test(x, y)` del paquete estándar del software R fueron los siguientes :

dendro_variab les(T)	dendro_diana(T)	dendro_variab les(T)	hclust_v ector(T)
hclust_v ector(T)	< 2e-16	< 2e-16	-
hrarchy(f)	0.873	2.7e-12	0.036
simlrt y(f)	0.026	< 2e-16	0.500
hrarchy(f)	0.491		
dendro_variab les(T)	-		
hclust_v ector(T)	-		
hrarchy(f)	-		
simlrt y(f)	0.500		

con las salidas se elaboró la gráfica de la Fig. 3.

simlty(f)	dendro_diana(T)	dendro_variab les(T)	hclust_v ector(T)	hrarchy(f)
223,8985	222,9568	231,3444	223,0070	224,8100

Fig. 3. Grupos de homogeneidad

#### IV. DISCUSIÓN

El gráfico de cajas y alambres nos muestra una homogeneidad en la dispersión de los 3 métodos de Learning Analytics y también en los de las técnicas del Análisis estadístico Implicativo, pero curiosamente las técnicas SIA son más homogéneas. En cuanto a las medidas de centralización se puede observar que aparentemente la ocupación de memoria es similar entre los 5 métodos, con una aparente mayor ocupación del método `dendro.variab les`. Antes de realizar la prueba de hipótesis, se procedió a comprobar sus supuestos. Se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling que nos dio un p-valor de  $2.2e-16$  indicándonos que se debe rechazar la hipótesis nula y que por tanto los datos no han sido extraídos de una población normal, este resultado se corrobora con el gráfico de cuartiles que muestra un gran alejamiento de la distribución de datos a los cuartiles teóricos. El no cumplimiento de este supuesto es suficiente para optar por los test no paramétricos. El test no paramétrico seleccionado es el test de hipótesis no paramétrico de suma de rangos para muestras independientes de Kruskal-Wallis que nos entrega un valor de chi cuadrado y un p-valor de  $2.2e-16$ , que nos indica con un alto valor de significancia que se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto al menos un par de los 5 métodos clusters son diferentes. Con el objetivo de determinar la relación entre los pares se utilizó la posprueba de Kruskal-Conover con el método de ajuste del p-valor de Holm para comparación de muestras independientes con el cual se ha construido el gráfico de homogeneidad de medidas de centralización que nos indica que hay cuatro grupos bien definidos, de los cuales nos llama la atención el método `dendro.variab les` que es el que más ocupación de memoria tiene y además nos indica que la técnica `callSimilarityTree` del análisis estadístico Implicativo, `dendro.variab les` y `diana` de Learning Analytics son los que menos ocupación de memoria tienen.

#### V. CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación fue determinar si desde el punto de vista de la ocupación de memoria las técnicas utilizadas en el Análisis Estadístico Implicativo (SIA) son similares con los métodos cluster utilizados en Learning Analytics (LA). Con la técnica de modelos y estándares (MSSS) se determinó las técnicas de análisis similares entre SIA y LA. En SIA se consideraron la función que genera el árbol de similaridad (`callSimilarityTree`) y la función que genera el árbol de cohesión (`callHierarchyTree`), mientras que en LA se consideraron los siguientes tres métodos: `hclust.vector`, `dendro.variab les` y `diana`. La hipótesis propuesta es que no existe diferencia significativa en la ocupación de memoria entre los 3 métodos de LA y las dos técnicas SIA. Se utilizó un test ANOVA no paramétrico y una posprueba de Kruskal-Conover con el método de ajuste del p-valor de Holm para llegar a la conclusión de que desde el punto de vista de la ocupación de memoria: el método menos recomendable es `dendro.variab les` dentro de LA por

ocupar más memoria, los métodos más recomendables son `hclust_vector` y `dendro_diana` de LA y `simlrtc` dentro de SIA. Las relaciones completas en ocupación de memoria se muestran a continuación:

**`simlrtc`** (en SIA) = **`dendro_diana`** (en LA)  
= **`hclust_vector`** (en LA)  
< **`hrarchy`** (en SIA)  
< **`dendro.variables`** (en LA)

Es importante notar que el método `callSimilarityTree` dentro del Análisis Estadístico Implicativo ocupa el espacio mínimo de memoria al igual que los métodos cluster de LA: `dendro.variables` y `diana`, pero por investigaciones anteriores se demostró que las técnicas `callSimilarityTree` y `callHierarchyTree` son mucho más rápidas [11].

#### REFERENCIAS

- [1] R. Gras, "Panorama du développement de l'ASI à partir de situations fondatrices," *Actes des Troisièmes Rencontres Internationale ASI Analyse Statistique Implicative*, Volume Secondo supplemento al, pp. 9-33, 2005.
- [2] Y. Le Bras13, P. Meyer13, P. Lenca13, and S. Lallich, "A robustness measure of association rules."
- [3] R. Pazmiño, "Aproximación al Análisis Estadístico Implicativo desde sus Aplicaciones Educativas," 2014.
- [4] R. A. Pazmiño-Maji, F. J. García-Peñalvo, and M. Á. Conde-González, "Is it possible to apply Statistical Implicative Analysis in hierarchical cluster Analysis? Firsts issues and answers," 2017.
- [5] R. Couturier and R. Gras, "CHIC: traitement de données avec l'analyse implicative," in *EGC*, 2005, pp. 679-684.
- [6] R. Pazmiño, F. J. García-Peñalvo, R. Couturier, and M. Conde-González, "Statistical implicative analysis for educational data sets: 2 analysis with RCHIC," 2015.
- [7] P. Baepler and C. J. Murdoch, "Academic analytics and data mining in higher education," *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, vol. 4, p. 17, 2010.
- [8] R. Ferguson, "Learning analytics: drivers, developments and challenges," 2016.
- [9] L. C. Briand, Y. Labiche, M. D. Penta, and H. Yan-Bondoc, "An experimental investigation of formality in UML-based development," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 31, pp. 833-849, 2005.
- [10] D. T. Campbell and J. C. Stanley, *Experimental and quasi-experimental designs for research*, 1966.
- [11] R. A. Pazmiño-Maji, F. J. García-Peñalvo, and M. A. Conde-González, "Comparing Hierarchical Trees in Statistical Implicative Analysis & Hierarchical Cluster in Learning Analytics," in *Proc. of the 5th International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 2017, p. 49.

# Un modelo de simulación para una pyme acorde a dinámica de sistemas

Hernán Samaniego

Ciencias Administrativas, Facultad de Administración, Ingeniería en Administración de Empresas  
Universidad Politécnica Salesiana  
hsamaniego@ups.edu.ec

**Resumen**—El presente trabajo detalla la investigación llevada a cabo en una pequeña y mediana empresa (PYME), localizada en la ciudad de Quito-Ecuador, la cual se dedica a la fabricación de muebles para el hogar, cocina, sala, dormitorio, etc. En este trabajo se utilizó la metodología de investigación denominada caso de estudio, en la cual se determinan las variables específicas que afectan a la empresa. Las variables se determinaron mediante entrevistas no estructuradas, a manera de conversatorio, con los principales directivos de la PYME. Además, se contó con la colaboración de expertos para calificar las variables encontradas, logrando de esta manera determinar si era posible utilizarlas en el modelo diseñado. Adicionalmente, con las variables encontradas, se realizó un análisis de correlaciones estadísticas para confirmar si estas debían formar parte del modelo estructurado. Por último, se elaboró el modelo acorde a la metodología de la dinámica de sistemas y se lo validó mediante simulaciones con las variables determinadas para encontrar los posibles resultados que la pequeña y mediana empresa podría obtener en un futuro. Con los resultados alcanzados en dichas simulaciones, se confirma que el objetivo del estudio y modelo realizado sirve para entregar una herramienta permanente para que la PYME la utilice cuando así lo requiera.

**Palabras Clave**— PYME, dinámica de sistemas, simulación, variables

**Abstract**—The present work details the research carried out in a small and medium enterprise (SME) located in the city of Quito-Ecuador, which is dedicated to the manufacture of furniture for home like kitchen, living room, bedroom among others. This work uses the research methodology called case study, in which the specific variables that affect the company are determined. These variables were determined through unstructured interviews as a discussion with the main executives of the SME. Moreover, it had the collaboration of experts to qualify the variables found to determine if they are possible to be used in the designed model. Additionally, a statistical correlation analysis was performed with the variables found to confirm if these should be part of the structured model. Finally, the model was carried out according to the systems dynamics methodology and validated by simulations with the variables determined to find the possible results that the small and medium enterprises could obtain in the future. With the results achieved in these simulations, it is confirmed that the objective of the study and model made provide a permanent tool for SMEs that could be used when they require it.

**Keywords**—SME, systems dynamics, simulation, variables.

## I. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) son agentes importantes en la estructura económica de los países de la región, no sólo por su participación en el total de firmas sino también por su aporte al empleo y, en menor medida, al producto [5]; así por ejemplo en Latinoamérica estas

empresas se caracterizan por ser unidades individualizadas, flexibles, que generan ocupabilidad laboral, pero no en los porcentajes que ellas buscan, por lo tanto, las PYMES pueden y deben mejorar fundamentalmente en aspectos administrativos y en términos de productividad, por cuanto sus niveles no son los deseados y sus utilidades o rendimientos financieros demuestran que este tipo de empresas no cubren las expectativas que generan cuando inician sus actividades comerciales. [1] [4].

En el Ecuador, este tipo de empresas presentan graves problemas principalmente por su insuficiente capacidad competitiva, por el limitado uso de la tecnología, por el escaso apoyo de las políticas del gobierno y la relación actual con el Estado, lo que provoca variaciones importantes en temas de productividad especialmente en la importación y compras de materias primas, que debilitan el despegue industrial de dichas empresas. [2].

Cuando existen inconvenientes como los señalados en esta clase de organizaciones, una manera de buscar posibles soluciones es mediante la aplicación de modelos de simulación, los cuales constituyen una herramienta importante que les posibilita tomar decisiones, por cuanto permiten explicar el comportamiento, funcionamiento y características particulares que se pueden presentar en la pequeña y mediana empresa [3].

Dentro de los diferentes esquemas de simulación, la Dinámica de Sistemas constituye el esquema que toma el Pensamiento Sistémico como parte esencial en la toma de decisiones, lo que permite establecer criterios aproximados a la realidad que determinen la tendencia de las diferentes variables involucradas en el medio, y de esta forma, tomar medidas que conlleven a lograr el mejor desempeño posible [3].

Diversos trabajos de simulación basados en dinámica de sistemas se han realizado para diversas empresas, así por ejemplo Melo, López, Camacho, Esparza y Villa [7], presentan un modelo de simulación aplicado a la industria petrolera; los autores consideran a la dinámica de sistemas una herramienta para el análisis de desempeño de procesos; por ello, en dicho modelo simulan resultados de procesos mecánicos de bombeo en una plataforma de producción, presentando resultados del comportamiento de estos equipos en función de variables que incrementen el rendimiento de las bombas mencionadas. En cambio, otros estudios específicos realizados a PYMES, se enfocan por ejemplo a una cadena de suministros para productos en seco, en ellos, los autores presentan un modelo que apoya a la pequeña y mediana empresa, buscando que el modelo aplicado a la logística posibilite incrementar sus rendimientos [6].

Finalmente, se puede anotar el trabajo doctoral efectuado

por Samaniego, H. [9], el cual presenta un modelo de gestión empresarial basado en dinámica de sistemas para la pequeña y mediana empresa en Quito-Ecuador, el mismo que se genera a partir de la investigación en campo realizada a PYMES, mediante la aplicación de una metodología mixta, buscando obtener variables específicas para la creación de dicho modelo.

Con esta introducción es posible señalar que la metodología de la dinámica de sistemas puede ser aplicada en grandes, pequeñas y medianas empresas; en este caso en particular se utiliza en una empresa PYME, dedicada a la fabricación y venta de muebles, logrando que en el modelo a generarse intervengan variables que actúan directamente en el giro del negocio de esta empresa.

Por lo tanto, el objetivo principal del presente trabajo investigativo es presentar un modelo de simulación aplicado a una PYME, que permita contribuir a su desarrollo, mediante la construcción de un modelo basado en dinámica de sistemas que facilite comprender las variables que lo conforman y sus relaciones dentro del mercado que abarca la empresa objeto de estudio.

El modelo permite predecir la tendencia de las diferentes variables involucradas en la producción y comercialización de muebles, a corto, mediano y largo plazo, mediante el análisis de los resultados que se obtienen por la ejecución de simulaciones.

## II. MÉTODO

El modelo propuesto considera como uno de sus insumos principales el modelo realizado por el autor Martin, J. [8], el mismo que fue adaptado a las necesidades específicas de la empresa en estudio.

La investigación realizada es un caso de estudio, en la cual el modelo desarrollado consta de tres variables principales: ventas planificadas, producto en construcción y producto terminado. Para la obtención de las variables que forman parte del modelo de simulación, se partió de una introducción que explica la metodología de la dinámica de sistemas para clarificar la técnica a utilizarse en la empresa de muebles, con la finalidad de que la PYME objeto de estudio se comprenda como un modelo de simulación, basado en sus actividades regulares, le ayudaría a visualizar en un futuro sus posibles utilidades o pérdidas económicas.

De acuerdo a lo señalado, al efectuar el estudio en la empresa fabricante de muebles para el hogar y en función del tipo de investigación realizada, las personas que conforman los niveles directivos y de supervisión de la empresa participaron directamente para la obtención de la información a través de entrevistas no estructuradas y una observación en sitio de cada una de sus actividades.

En cambio, las entrevistas estructuradas se ejecutaron en función de la producción y los clientes que dicha PYME posee, por último, se completó la información con la observación de las actividades generales de la empresa, enfatizándola en los demás procesos involucrados en su funcionamiento.

Una vez encontradas las posibles variables, estas pasaron a un proceso de depuración, mediante un análisis de validación con la colaboración de siete expertos, quienes calificaron las variables encontradas en función de su claridad, pertinencia e importancia. Por último, conforme a

la validación realizada por los expertos, y mediante un análisis de correlaciones efectuado en el sistema informático SPSS, se logró determinar las variables específicas que forman parte del modelo de simulación que se presenta en la sección de resultados.

El análisis de correlaciones se ejecutó con la finalidad de especificar y definir las variables que actúan como niveles, flujos y auxiliares, considerando que las variables de niveles deben demostrar una acumulación, las mismas pueden variar en función de los flujos que interactúan sobre ellos [8]. Por lo tanto, a continuación, se muestra en la tabla I las variables que intervienen en el modelo, así como también su función específica

Los resultados alcanzados por las variables al ejecutar el análisis de correlaciones muestran que las mismas están correlacionadas, así por ejemplo la variable costos totales con la variable devoluciones: Relación de Pearson= 0.170 y un valor de significancia  $p= 0.000 < 0.01$  lo que ratifica que existe una relación positiva entre las mismas. Así también, entre las variables de producción y ventas realizadas al mes: Relación de Pearson= 0.189 y un valor de significancia  $p= 0.013 < 0.05$ .

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

TABLA I  
VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO DE SIMULACIÓN PARA UNA PYME DE PRODUCCIÓN

No.	Variable	Función
1	Plazo para anular la diferencia	Variable auxiliar
2	Planificación	Flujo
3	Planificación de la producción	Variable auxiliar
4	Ventas planificadas	Nivel
5	Producción	Flujo
6	Producto en construcción	Nivel
7	Terminación	Flujo
8	Producto terminado	Nivel
9	Devoluciones	Flujo
10	Ventas realizadas al mes	Variable auxiliar
11	Ingresos	Variable auxiliar
12	Utilidades	Variable auxiliar
13	Costos Totales	Variable auxiliar
14	Diferencia	
15	Reemplazo	Variable auxiliar
16	Demanda de producto	Variable auxiliar
17	Vida promedio del producto	Variable auxiliar
18	Plazo para construir pedidos	Variable auxiliar

El modelo de simulación diseñado consta básicamente de tres variables consideradas como niveles, las cuales están en función del producto que se oferta a los clientes y de las ventas planificadas; estas variables disponen adicionalmente de flujos para su respectiva variación en función de las características del mercado.

Finalmente, el modelo dispone de variables auxiliares que son aquellas que afectan a las ventas y al producto en relación directa; de estas variables podría considerarse que las principales son: ventas realizadas y los beneficios totales (ganancia o pérdida) que la empresa obtendría.

En relación con lo detallado hasta el momento, el modelo puede ser activado o simulado conforme a los requerimientos que la PYME objeto de estudio lo desee, sin importar la fecha de su aplicación, por cuanto lo importante del modelo son los datos que en su momento deben ser ingresados. Es importante anotar que el modelo diseñado se

realizó con la ayuda del sistema informático denominado Vensim.

A continuación, en la Fig. 1, se muestra el modelo diseñado y generado para la empresa objeto de estudio:

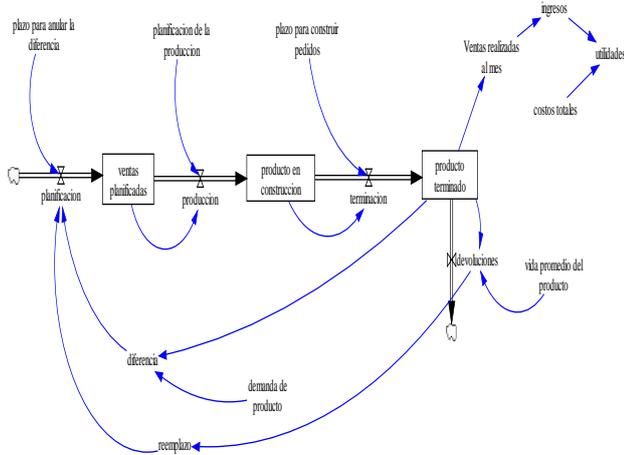


Fig. 1. Diagrama de Forrester, modelo diseñado para la PYME objeto de estudio

El modelo diseñado fue validado, mediante la obtención de simulaciones de los posibles resultados que la pequeña y mediana empresa obtendría. Las simulaciones efectuadas se realizaron considerando un horizonte de tiempo de 50 meses, las cuales se muestran en la Fig. 2 y Fig. 3 respectivamente.

La recopilación de datos para las simulaciones se realizó por el lapso de 6 meses, especialmente con los datos iniciales; de igual forma, como insumo para complementar los datos recopilados y obtenidos, la empresa puso a disposición los balances financieros correspondientes a los años 2015, 2016 y 2017.

Por lo mencionado en las anteriores líneas, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

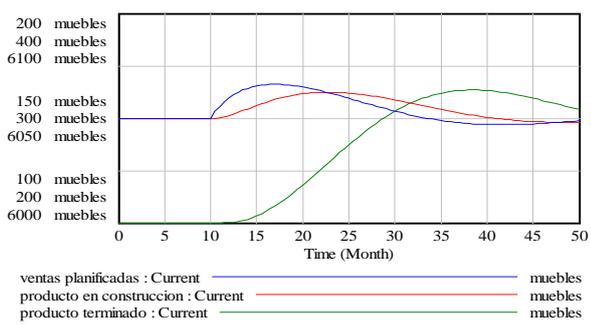


Fig. 2. Simulación en base a producto y ventas planificadas

En la Fig. 2, se puede visualizar que, si la empresa continúa con las estrategias actuales, sus ventas y producto permanecerán en el mismo valor; pero, a partir del mes 10, se puede analizar cómo las variables consideradas cambian sus valores en beneficio de la empresa, que sin representar grandes cantidades del producto a venderse, este puede incrementarse porque de igual manera hay un incremento en las ventas planificadas.

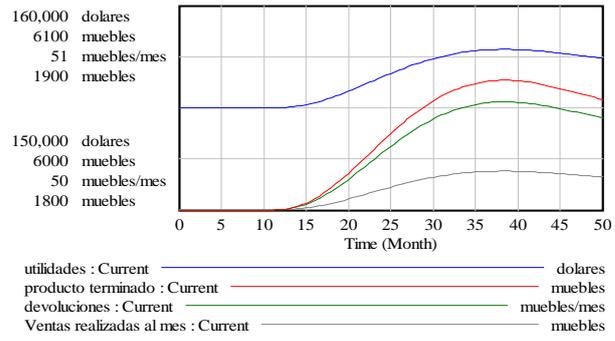


Fig. 3. Simulación en base a utilidades, devoluciones producto terminado y ventas realizadas

Igual que en la simulación de la Fig. anterior, en la Fig. 3 es posible visualizar que en los primeros meses las variables o resultados permanecen estancados en los mismos valores; a partir del mes indicado (mes 10) y con la implementación de nuevas estrategias en la PYME, las utilidades se incrementan en resultados beneficiosos para la empresa.

Igual que en la simulación de la Fig. anterior, en la Fig. 3 es posible visualizar que en los primeros meses las variables o resultados permanecen estancados en los mismos valores; a partir del mes indicado (mes 10) y con la implementación de nuevas estrategias en la PYME, las utilidades se incrementan en resultados beneficiosos para la empresa.

Una variable importante para ser analizada es la que se denomina: ventas realizadas al mes; las cuales permanecen estancadas hasta el mes 15 y, posteriormente se incrementan no en gran proporción, pero sí en un porcentaje favorable que debe ser considerado para continuar con la aplicación de las estrategias que deberían implementarse a partir del estudio realizado.

#### IV. CONCLUSIONES

El trabajo ejecutado demuestra la importancia de la aplicabilidad de un modelo de simulación; en este caso, mediante la utilización de la dinámica de sistemas, que permite a la PYME corregir sus estrategias o actividades buscando encontrar posibles soluciones anticipadas a los problemas que se le presentan o se le presentarían en un futuro. El modelo demuestra que el trabajo efectuado a pesar de ser de carácter netamente técnico permite visualizar y simular variables administrativas conjugándolas en un solo escenario. El aporte fundamental que entrega esta investigación, es presentar variables cuantitativas y cualitativas; que sin ser en gran cantidad denotan las falencias o virtudes que la empresa posee en la actualidad. El modelo presenta variables que analizadas en forma individual o en conjunto reflejan el avance o retroceso que la empresa podría tener en un futuro, por lo que se espera que dicho modelo se constituya en una herramienta que la empresa la utilice de una manera periódica, buscando investigar diversos escenarios que se les podrían presentar. Finalmente, cabe destacar que al utilizar la metodología de la dinámica de sistemas y, conforme a la literatura presentada en el acápite correspondiente, es factible concluir que se puede elaborar modelos de simulación que permiten su aplicación en cualquier tipo de empresa, por cuanto la dinámica de sistemas es una metodología que facilita

analizar el comportamiento temporal de una variable en diversas situaciones o sistemas.

#### REFERENCIAS

- [1] S. Anzola, "Administración de la pequeña empresa," en *Administración de la pequeña empresa*, 3rd Ed. Estado de Mexico, Mexico, McGraw-Hill, 2010 pp 8-23
- [2] C. Ferraro y G. Stumpo, "*Políticas e instituciones de apoyo a las pymes en el Ecuador*" en el libro *Políticas de apoyo a las pymes en América Latina. Entre avances innovadores y desafíos institucionales*. 1rd Ed, Chile, Cepal, 2010 pp. 209-244
- [3] Y. Ceballos, M. Uribe y G. Sánchez, Modelo de dinámica de sistemas para la predicción del comportamiento del mercado porcícola. *Información Tecnológica* Vol. 24, Mar, 26 2013. [En Línea]. Disponible:  
<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v24n4/art13.pdf>
- [4] C. Cleri, "*La empresa. Institución vital del sistema*" en el libro de las PYM, 2rd Ed, Buenos Aires, Granica, 2012 pp 10-23.
- [5] C. Ferraro y G. Stumpo, "*Políticas e instituciones de apoyo a las pymes en el Ecuador*" en el libro *Políticas de apoyo a las pymes en América Latina. Entre avances innovadores y desafíos institucionales*. 1rd Ed, Chile, Cepal, 2010 pp. 17-44, 2010
- [6] L. Legarda, J. Portugal, A. Naranjo, M. Aguilar, y M. Castillo, Cadena de suministros para productos en seco de PYMES. Una aproximación al modelo, 2016. [En Línea]. Disponible:  
<http://www.redalyc.org/pdf/2150/215048805003.pdf>
- [7] R. Melo, C. López, C. Camacho, A. Esparza y R. Villa, "Simulación dinámica de sistemas, una herramienta para el análisis del desempeño de sistemas y procesos en la industria petrolera: Metodología y resultados," [En Línea]. Disponible:  
<http://www.redalyc.org/pdf/482/48224413007.pdf>.
- [8] J. Martín, "*Dinámica de sistemas conceptos*," en *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica del sistema*. 3rd Ed, Barcelona, España, Innova, 2016
- [9] H. Samaniego, "Desarrollo de un modelo de Gestión Empresarial para potencializar el crecimiento de la pequeña y mediana empresa (PYMES) en la región centro norte de Quito, Ecuador". Tesis de doctorado sin publicar. Universidad Internacional Iberoamericana. 2017.

# Análisis de las actitudes de los estudiantes de ciencias exactas de la Universidad de Guadalajara ante el emprendimiento de empresas

Contreras Angélica<sup>a</sup>, Olga González<sup>b</sup>, Fernando Carrillo<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Métodos Cuantitativos, Universidad de Guadalajara México

<sup>b</sup> Departamento de Economía Aplicada y Métodos Cuantitativos, Universidad de la Laguna España

<sup>c</sup> Departamento de sistemas de información, Universidad de Guadalajara

acontre@cucea.udg.mx, olgonzal@ull.edu.es, fernando17carrillo@hotmail.com

**Resumen**—En esta comunicación se presentan los resultados de un estudio empírico sobre las actitudes que los estudiantes de del Centro Universitario de Ciencias exactas de la Universidad de Guadalajara tienen hacia el emprendimiento, tomando en cuenta la influencia que ejercen en él, sus características tales como el sexo, titulación que está estudiando, tipo de centro educativo donde realizó los estudios previos a la universidad, situación laboral, antecedentes de los familiares como es el nivel de estudio y si sus familiares tienen empresas propias. El tratamiento de los datos se hizo con diversos métodos estadísticos y econométricos, principalmente el estadístico Chi cuadrado, con el que se midió la asociación entre las distintas variables explicativas y la tendencia a ser emprendedor de negocios; el modelo de regresión logística se utilizó para estimar la probabilidad de que el estudiante tenga la predisposición a tener su negocio propio. De los principales resultados sobresale el que si el estudiante desempeña alguna actividad laboral mientras estudia y si estos tienen madre empresaria, influye en la intención emprendedora. Este trabajo es la continuación del proyecto que se está llevando a cabo entre la Universidad de La Laguna (España) y el Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas-UDEG (México). La población objeto de estudio es el conjunto de estudiantes del Centro Universitario de Ciencias Exactas de la Universidad de Guadalajara (México) matriculados en estudios licenciatura en Informática e Ingeniería en Computación. 2015-2016.

**Palabras clave**—Emprendimiento, actitud, universidad emprendedora.

**Abstract**— The purpose of this paper is to analyze the entrepreneurship spirit on the students of computer engineering and informatics bachelor's degree on the campus Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías of Universidad de Guadalajara in Jalisco, Mexico. A survey was performed to 375 students on August 2015 to see how they felt about starting their own company, the survey collects data from the students in the following categories: general data, family history regarding entrepreneurship and academic degrees, student entrepreneurship skills and entrepreneurship attitudes. The survey was validated using Cronbach's alpha, then chi square was used to measure the correlation between variables and finally a logistic regression was performed to create a model that will allow to classify a student as an entrepreneur or not with an accuracy of 64%. The results shows that women are less likely to start their own company than men but mother background has more impact on the student entrepreneur spirit than their dads, also computer engineering students have more entrepreneur spirit than informatics and the student that attended a public high school are less likely to start a company than the ones that attended a private high school..

**Keywords**—Entrepreneurship, logistic-regression, triple helix, university student.

## I. INTRODUCCIÓN

El emprendimiento es un término asociado a la creación de empresas. Hoy en día, el emprendimiento es una de las alternativas para abatir el desempleo ocasionado por la contracción del mercado laboral que prevalece actualmente, como consecuencia, entre otros factores, de la inestabilidad económica, los cambios demográficos, políticos y tecnológicos; es por tanto una opción a la que el gobierno y las instituciones involucradas le han dado prioridad para fomentar el crecimiento económico. Paralelo a ello, las universidades, que son las principales formadoras de capital humano, debe propiciar una actitud emprendedora en sus estudiantes, ajustándose al entorno cambiante, generando nuevas estructuras académicas y administrativas fomentando la universidad emprendedora, de manera que los futuros egresados tengan los conocimientos y la formación requerida para crear negocios y convertirse en empresarios potenciales.

Los ajustes que principalmente las universidades han tenido que replantearse con respecto a su papel dentro de la sociedad e intentar hacer frente con dichos cambios, se realizan fundamentalmente desde dos ópticas complementarias: 1) papel de las universidades en los sistemas de innovación (Godin y Gingras, 2000; Mowery y Sampat, 2003) y 2) papel como universidades emprendedoras (Clark, 1998a y 1998b; Etkowitz et al., 2000; Kirby, 2006).

Con esta investigación se pretende conocer, a partir de algunas características individuales y algunos antecedentes familiares las actitudes de los alumnos universitarios hacia la creación de empresas, el estudio se realizó a los estudiantes matriculados en dos licenciaturas del Centro Universitario de Ciencias Exactas: ingeniería en informática y en computación, para el análisis se involucran dos componentes fundamentales, por una parte, el aspecto emocional generado por “la idea”, y por otra, “el comportamiento” que es la predisposición a actuar, es decir, a crear empresas.

Las principales hipótesis a comprobar ante la tendencia de los estudiantes a ser empresarios son, si existen diferencias basadas en el sexo, la procedencia del tipo de bachillerato, la titulación, la experiencia laboral, el nivel de estudios de los padres y si tienen familiares empresarios.

El estudio se sustenta en la propuesta de la teoría de la triple hélice de Etzkowitz y Leydesdorff (2000), la cual sostiene que la interacción entre universidad-industria-gobierno son la clave para mejorar las condiciones para la innovación en una sociedad basada en el conocimiento. En este artículo se toma la perspectiva de la hélice de la universidad desde el análisis de las actitudes de los estudiantes ante el emprendimiento de empresas. Por otra parte, se considera la actitud desde el enfoque que señala Triandis (1977), quien considera que la actitud es una idea con una carga afectiva que predispone a una acción.

En esta comunicación que profundiza el estudio sobre el conocimiento de la percepción que el colectivo de estudiantes universitarios del Centro Universitario de Ciencias Exactas de la Universidad de Guadalajara (CUCEI-UdeG) tiene hacia la iniciativa empresarial, se estructura en cuatro apartados. El segundo corresponde a la revisión teórica y revisión de la literatura, seguido por el contexto del estudio, para continuar con los objetivos, las hipótesis y la metodología, y finalmente, los resultados y las conclusiones.

## II. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

Como punto de partida se definen los conceptos involucrados en esta la investigación como son la actitud, el emprendimiento y la universidad emprendedora, posteriormente se señalará las principales teorías en la que se sustenta.

Entendemos por actitud a la forma en la que un individuo se adapta de forma activa a su entorno y es la consecuencia de un proceso cognitivo, afectivo y conductual. La psicología social, a partir de la observación de las actitudes, puede predecir las posibles conductas siendo factible prever las acciones de las personas.

Las actitudes cumplen con diversas funciones en la vida social. Puede darse el caso de alguien que adopta una actitud defensiva y, de esta manera, se predisponga de una forma particular ante las interacciones. La actitud también puede orientarse a la adaptación, en un intento por minimizar los conflictos.

De no tener actitudes, las personas tendrían dificultad para construir y reaccionar ante los hechos, tomar decisiones y comprender sus relaciones con las demás personas en la vida cotidiana.

El que tiene actitud emprendedora arriesga, pero de forma responsable, es consciente de sus consecuencias y está dispuesto en todo momento a afrontarlas, tiene habilidades con las que mide en todo momento su potencial, con una constante prueba a su capacidad humana y con un alto temor a la mediocridad, el que posee actitud emprendedora mira hacia adelante, tiene visión de las posibilidades y del futuro, se abre para aceptar nuevos modelos y se muestra motivado a cambiar.

En cuanto a la actitud de emprender, una de las definiciones clásicas, que es la que sostiene este estudio, es la de Triandis (1977), quien concibe la actitud como un concepto que llama "no experto", el cual puede ser usado por los científicos sociales de una manera no tan estricta y formal, así como los "no expertos" lo utilizan. Menciona que una actitud es "una idea con una carga afectiva" y que predispone una acción. Esta definición incluye la creencia, el afecto y las intenciones de comportamiento hacia el

objeto de actitud. Además, en su modelo, Triandis utiliza el concepto de actitud vagamente porque la mayoría de los investigadores no distinguen la parte afectiva de la intención de comportamiento, debido a que a menudo incluyen elementos de las dos partes cuando miden actitudes.

Por otra parte, sobre el concepto de emprendimiento es tan antiguo como la economía misma. El término "emprendedor" fue introducido primero a comienzos del siglo XVIII por el economista francés Richard Cantillon. En sus escritos, define como emprendedor al "agente que compra medios de producción a precios determinados con el fin de combinarlos" dentro de un nuevo producto. Este término era aplicado en sus inicios a quienes emprendían proyectos de construcción en obras militares o religiosas principalmente (Nuño, 2005).

Finalmente, el tercer concepto implicado en esta investigación es el de universidad emprendedora, Gómez y Satizábal (2011) mencionan que este tipo de universidad aparece en la historia en la segunda mitad del siglo XXI. Cuando a partir de iniciativas como la Maestría en Administración de Negocios (MBA) de la Universidad de Harvard, dieron la posibilidad de que se incursionara en cursos, programas y procesos de enseñanza en emprendimiento.

Mondragón, Etzkowitz, Webster, Gebhardt y Cristiano (2000) definen a la universidad emprendedora como aquella organización que desarrolla su función a través del equilibrio entre la investigación, con la enseñanza académica como misión principal y el crecimiento económico.

### A. Modelo de la triple hélice

El modelo (TH) fue propuesto en 1997 por dos investigadores holandeses: Etzkowitz y Leydesdorff (1997), quienes plantean un paradigma acerca de la misión que tienen las universidades, gobierno y empresas en conjunto. Como precursores del modelo de la triple hélice, estudiaron y analizaron las relaciones entre universidad-industria-gobierno como un sistema de elementos que interactúan entre sí.

El modelo de la triple hélice es analítico y normativo, se deriva del cambiante papel que tiene el Estado en las diferentes situaciones que viven las sociedades en relación con la academia y la industria. La universidad, el sector industrial y el gobierno son relativamente independientes, no obstante, se vuelven interdependientes una vez que las interacciones de las mismas tiendan a mejorar las condiciones de innovación y desarrollo sostenible en una sociedad que está basada en el conocimiento (Etzkowitz y Dzisah, 2008).

El modelo de la Triple Hélice propone una gradual disminución de las diferencias entre disciplinas y entre distintos tipos de conocimiento, así como entre las diferentes instancias relacionadas con vinculación objeto de estudio (Universidad, industria y gobierno), permite el análisis desde la óptica particular de cada caso, por pares, o bien en una forma integral.

Uno de los objetivos fundamentales de la triple hélice es la búsqueda de un modelo que refleje la complejidad del concepto de vinculación, tomando en cuenta el entorno en el cual se fundamentan las relaciones entre los agentes que

participan. El modelo de triple hélice, por la visión integradora que ofrece, proporciona un marco apropiado para un primer acercamiento al problema de la vinculación que, considerándola como consecuencia evolutiva del proceso de innovación, y tomando como hipótesis que las universidades se pueden incorporar a los procesos de innovación. Por tanto, es importante analizar la evolución del modelo de la triple hélice a partir del contexto y factores que determinan la vinculación.

En esta investigación se pretende hacer un análisis desde la instancia de la universidad, desde la perspectiva de las actitudes que sus estudiantes tienen como emprendedores.

### *B. Universidades emprendedoras en México*

En México existe un gran interés en el ámbito universitario sobre la empleabilidad y el emprendimiento, en apoyo a esto la Secretaría de Economía ha puesto en marcha líneas de actuación públicas comprendidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, relacionadas al fomento del emprendimiento, cuyos objetivos principales son:

- Hacer del desarrollo científico-tecnológico y de la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible, que entre otros aspectos contribuyan a la transferencia y aprovechamiento del conocimiento, vinculando a las instituciones de educación superior y a los centros de investigación con los sectores público, social y privado.
- Desarrollar los sectores estratégicos del país, Siendo una de las vías el impulso a los emprendedores y fortalecer a las micro, pequeñas y medianas empresas (PYME).

En cuanto a la formación para la creación de empresas desde las universidades mexicanas, existía poca actividad del fomento emprendedor, pero en la actualidad esta situación está cambiando. Hoy en día, las universidades mexicanas buscan fomentar la creación de empresas por medio de una formación adecuada que permita el desarrollo de las habilidades emprendedoras. Algunas razones que impulsan a adquirir una visión más emprendedora y cambiar los programas educativos podrían estar orientadas a la dificultad que se presenta a los recién egresados de las universidades para integrarse en el mercado: el encontrar un empleo acorde a su perfil académico, el desempleo, los bajos salarios; la poca actividad emprendedora; la informalidad en los negocios o la tasa de mortandad de los negocios establecidos.

### III. CONTEXTO DE ESTUDIO

Para este estudio se seleccionó una muestra de 331 de una población de 2349 alumnos matriculados en el curso de agosto de 2015, se calculó con 95% de nivel de confianza y 5% de error, los estudiantes entrevistados se corresponden a dos de las titulaciones: ingeniería en informática e ingeniería en computación del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara (CUCEI), La muestra efectiva fue de 375 estudiantes entrevistados cuya edad promedio es de 22 años, y 85% fueron de hombres.

Las titulaciones en ciencias suponen significativos niveles de emprendimiento vinculados al uso de nuevas tecnologías que afectan a la mayor parte de la actividad productiva.

### IV. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

La presente comunicación es un avance del proyecto que actualmente se está realizando entre la Universidad de la Laguna (España) y la Universidad de Guadalajara (México). Con la investigación global se pretende profundizar en el conocimiento de la percepción que el colectivo universitario tiene hacia la iniciativa empresarial analizando Algunas variables determinantes, así como la posible influencia de factores que pueden ayudar a impulsar y desarrollar líneas de actuación que fomenten las actitudes emprendedoras en los estudiantes además de impulsar la universidad emprendedora.

La investigación es un estudio cuyos datos se obtuvieron tras aplicar el cuestionario previamente diseñado (Contreras et al., 2015) a una muestra representativa de los alumnos de dos licenciaturas del CUCEI y a partir de su análisis se determinó cuál es la postura y actitud de los estudiantes hacia el emprendimiento, partiendo de ciertas características individuales y de su contexto familiar, definiendo la actitud como la respuesta que una persona tiene hacia los aspectos emocionales, que para nuestro caso sería la intención de crear una empresa y del comportamiento, que sería el hecho de crearla.

Las hipótesis a evaluar son:

- Existe diferencia entre hombres y mujeres a ser empresarios.
- Existe diferencia entre los estudiantes que estudiaron el bachillerato en instituciones privadas con relación a las públicas en la tendencia a ser empresarios.
- Existe diferencia de acuerdo a la titulación que se estudia ante la tendencia a ser empresario.
- La experiencia laboral es un factor que influye en la propensión a ser empresario, frente a los estudiantes que no la tienen.
- Los estudiantes que tienen familiares con negocio propio tienden mayormente a emprender ser empresarios
- Cuanto más alto el nivel educativo de los padres de los estudiantes estos últimos tienen más tendencia a emprender.

A continuación, se detalla las técnicas de análisis de datos

### *C. Técnicas para el análisis de datos*

El tratamiento de los datos obtenidos, tras aplicar el cuestionario, se realizó a partir de diversos modelos estadísticos y econométricos como son: el análisis descriptivo sociodemográfico; el estadístico Chi cuadrado para medir la posible asociación entre el sexo, el tipo de formación recibida en la carrera y el nivel de estudios de sus padres, para valorar si esto pudieran influir en los estudiantes sobre su actitud emprendedora; el modelo de regresión logística para relacionar la probabilidad de que el entrevistado considere ser emprendedor de su propio negocio; finalmente, se realizará el análisis de la propensión para crear empresas relacionados con los conocimientos, motivos y obstáculos, tras haber incluido en el cuestionario tres grupos de escalas de Likert cada una se corresponde a cada propensión.

La escala de Likert se utiliza para medir las actitudes de los encuestados preguntándoles en qué medida están de

acuerdo o en desacuerdo con una pregunta en particular o una declaración. La escala que utilizaremos será 1 nada importante hasta 5 totalmente importante.

TABLA I

VARIABLES DEPENDIENTES	ESTADÍSTICOS CHI-CUADRADO
Sexo	0.385
¿En qué tipo de institución educativa realizaste los estudios previos a la Universidad?	0.682
¿Que Carrera estudias?	0.550
¿Trabajas actualmente?	0.000
¿Tiene padre con negocio propio o auto empleado?	0.737
¿Tiene madre con negocio propio o auto empleado?	0.001
¿Tiene padre con estudios de licenciatura o más?	0.103
¿Tiene madre con estudios de licenciatura o más?	0.025

## V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para determinar la asociación entre las variables analizadas y la actitud emprendedora de los estudiantes se llevó a cabo los análisis Chi cuadrado respectivos para cada variable de cuyos resultados se apuntan en la siguiente tabla, de estos se concluye que para las variables relacionadas con la situación laboral, madre con negocio propio y madre con estudios de licenciatura, los estadísticos respectivos, fueron menores a 0.05, lo que indica que la intención emprendedora dependen de las variables mencionadas.

Adicionalmente y posterior a la validación de los supuestos y verificación de que la información de los predictores estuviera completa se procedió a estimar el modelo de regresión logística, aun conociendo, tras la aplicación del estadístico Chi cuadrado, que en la mayoría de los casos, las variables no fueron dependientes, sin embargo, los signos y el tamaño de los coeficientes del modelo demuestran el sentido y la proporción del comportamiento de las mismas con respecto a la variable dependiente.

Los principales resultados reflejan que:

- Existen diferencias basadas en el sexo ya que los hombres presentaron mayor tendencia de ser empresarios.
- Los estudiantes que estudiaron el bachillerato en instituciones privadas tienden mayormente a ser empresarios.
- El tipo de carrera influye en la actitud de crear empresas.
- El estudiante con experiencia laboral tiende a ser más propenso a ser empresario.
- El tener familiares con negocio propio influye para que el estudiante tienda a emprender su negocio propio.
- El nivel de estudios de los padres influye en que el estudiante tienda a emprender su negocio propio.

Finalmente, se concluye que los estudiantes del Centro Universitario de Ciencias Exactas analizado, tienen una tendencia positiva hacia el emprendimiento, por lo que sería deseable que posteriormente a este estudio se continúe estudiando en qué medida el centro universitario impulsa, de

las características analizadas, aquellas que están dentro de su competencia, como sería el fomentar que el estudiante se desempeñe también laboralmente, para que aumente las posibilidades de crear su propia empresa en el futuro, vinculando conocimiento y experiencia laboral como factor de mayor predisposición a ser empresario.

## REFERENCIAS

- [1] A. Contreras, J. Martínez, O. González, y J. Álvarez, J. "Análisis de las actitudes de los estudiantes de ciencias exactas de México ante el emprendimiento de empresas." Un modelo explicativo, Asociación Economía de la Educación, vol 11, pp. 249-264. Mar, 2016.
- [2] H. Etzkowitz, "The dynamics of innovation: From National Systems and a triple helix of university-industry-government relations". pp. 109-123. Enero, 2000, 10.1016/j.respol.2004.03.002
- [3] H. Etzkowitz, "Innovation in innovation: the Triple Helix of university-industry-government relations." *Social Science Information*, 42(3), pp. 293-337. Sep 2003.
- [4] H. Etzkowitz, "Research groups as 'quasi-firms': the invention of the entrepreneurial university". *Vol 32*, pp. 109-121.
- [5] H. Etzkowitz, y L. Leydesdorff, "The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations." pp. 109-123. Sep 2003.
- [6] H. Etzkowitz, y L. Leydesdorff. "Introduction to special issue on science policy dimensions of the Triple Helix of university-industry-government relations". *Vol 24*(1), pp. 2-5.
- [7] H. Etzkowitz, y J. Dzisah, "Triple hélix circulation: the heart of innovation and development. Retrieved from International Journal of Technology Management and Sustainable" pp. 101- 115
- [8] T. Finkle, y D. Deeds, "Trends in the market for Entrepreneurship Faculty: 1989-1998". *Jornal of Business Venturing*, vol. 16, pp. 613-630. Nov 2001
- [9] B. Godin, y Y. Gingras, "The place of universities in the system of knowledge production." *Research Policy*, 29, 273-278. 2000
- [10] D. Gujarati, "Modelos de regresión uniecuacionales" En el libro de Econometría vol Ed-5, McGraw-Hill. 2010
- [11] A. Contreras, J. Martínez, O. González, y J. Álvarez, J. "Análisis de las actitudes de los estudiantes de ciencias exactas de México ante el emprendimiento de empresas." Un modelo explicativo, Asociación Economía de la Educación
- [12] J. Schumpeter, "Economic" Theory and Entrepreneurial History. Emil Lederer and Joseph Schumpeter on Economic Growth, Technology and Business Cycles Port Washington, Jul 2010 DOI: 10.1007/s12143-009-9032-2
- [13] H. Triandis, *Interpersonal Behaviour*. Monterey, CA.: Brook/Coole.
- [14] J. Veciana, "Creación de empresas como programa de investigación científica." *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, ed 8, pp. 11-35.

# Análisis distribucional de riesgo de los atractivos turísticos, por el lahar sur del volcán Cotopaxi

Marcelo Fonseca<sup>a</sup>, Klever Muñoz<sup>a</sup>, Milton Sampedro<sup>a</sup>, Matius Mendoza<sup>a</sup>, Alejandra Rodas<sup>a</sup>, David Almeida<sup>b</sup>, Marcela Almeida<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Escuela de Ecoturismo, Universidad Técnica de Cotopaxi

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública

<sup>c</sup> Centro Educativo Nuevo Mundo

wilson.fonseca@utc.edu.ec, klever.munoz@utc.edu.ec, milton.sampedro@utc.edu.ec, matius.mendoza@utc.edu.ec, daniela.rodas@utc.edu.ec, dalmeida.barona@gmail.com, marcealmeida07@hotmail.com

**Resumen**—El análisis, se planteó desde una perspectiva eminentemente turística para la provincia de Cotopaxi, y busca establecer un escenario sobre las afectaciones que originaría la reactivación y posterior erupción del volcán, en lo cual se estableció la interrogante: ¿Cuáles son los atractivos afectados por la trayectoria del lahar sur? de esta manera, se aplicó el método de geoposicionamiento, que logró relacionar la posición de los atractivos turísticos con los que cuenta oficialmente el inventario del gobierno provincial, y la trayectoria del lahar sur, que es uno de los tres lahares que afectarían al sector, en caso de una erupción. Para obtener la información necesaria se plantearon las siguientes preguntas directrices: ¿Qué categorías de atractivos son afectados? ¿Dónde se encuentran los atractivos afectados? ¿Cuál es la concentración de afectación por trayectoria de los atractivos? Y ¿Cuál es el ponderado de afectación al inventario general, según la jerarquía? Como primera etapa del proceso fue construida la matriz de datos del inventario con un total de 471 atractivos turísticos entre, manifestaciones culturales (290) y sitios naturales (181), en el cual se establecieron 164 datos por cada atractivo, en la segunda etapa se gestionaron los shapes de los riesgos del volcán Cotopaxi de la provincia en la Secretaría de Riesgos (SR), en la tercera y final etapa, mediante la elaboración de tablas y mapas, se cumplieron los objetivos trazados, pudiendo establecer que existirían 33 atractivos que serían afectados por la trayectoria del lahar sur, en las categorías, las manifestaciones culturales serán mayoritariamente afectadas (31 de 33), que Latacunga (23) y Salcedo (10) son los cantones donde se encuentran asentados los atractivos afectados, que la concentración de afectación sería en el área de las parroquias urbanas, y que el peso ponderado positivo de afectación al inventario general es del 8,84.

**Palabras Claves**—Análisis, atractivos turísticos, distribución, lahar, riesgo, shapes, volcán

**Abstract**—The analysis was based on a touristic perspective for the Cotopaxi province seeking to establish a scenario about the effects on the reactivation and subsequent eruption of the volcano. The question asked to conduct the research is which are the tourist attractions affected by the south lahar trajectory? In this way the geopositioning method was applied in order to relate the geographical location of the attractions officially registered in the provincial government inventory and south lahar trajectory. This last is one of three that could affect the area in case of a volcanic eruption. To obtain the main information and conduct the research the following questions were established: Which categories of attractions are affected? Where are those attractions located? Which is the level of affection caused on the attractions located along the lahars trajectory? And which is the global level of affection according to the attractive hierarchy? As a first stage of the process a data matrix was built with a total of 471 tourist attractions, including cultural manifestations (290) and natural

areas (181). On a second stage the shape files of volcanic risk related to the Cotopaxi from the Risk Secretary (SR). On a final stage through the preparation of tables and maps the aim of the research was reached. Defining 33 attractions mainly affected by the south lahar trajectory, from which the cultural manifestations could be mostly affected (31 of 33). Those affected attractions are located on Latacunga (23) and Salcedo (10) cantons mostly distributed along urban parishes. And the positive weighted weight of the general inventory is 8.84.

**Keywords**—Analysis, tourist attractions, distribution, lahar, risk, shapes, volcano.

## I. INTRODUCCIÓN

El planteamiento del estudio sobre la distribución de las afectaciones a los atractivos turísticos, busca ampliar el tratamiento de esta nueva realidad en la actividad turística como efecto de la posible erupción del volcán Cotopaxi (uno de los volcanes glaciales más altos del mundo), y parte de la premisa de establecer ¿Cuáles son los atractivos afectados por la trayectoria del lahar sur? por cuanto el volcán se reactivó, a partir del 14 de agosto del 2015, luego de su última erupción registrada el 26 de junio de 1877, dicha reactivación representan varios riesgos y afectaciones para la población. El origen geológico de la reactivación del volcán Cotopaxi se encuentra en la interacción de subducción de la placa tectónica de Nazca frente a la de América del sur, lo cual da origen a diversos efectos en el suelo, como la reactivación y erupciones de los volcanes de la cordillera de los Andes, realidad actual, que representa diversos riesgos para el medio ambiente, y que no siempre es comunicada y comprendida por parte de las autoridades y la población involucrada (Toulkeridis, 2012)

Los tipos de riesgos identificados son: el flujo de lava, piroplastos, tres Lahares, cada uno con trayectoria a Cotopaxi, Pichincha y Napo y, la ceniza, que cuenta con tres categorías ceniza alta, ceniza media y ceniza baja. Como parte de la trayectoria del lahar sur, existirían flujos de materiales, que se formarían por efecto del descongelamiento de sus glaciares, en caso de una erupción repentina. Según el geo portal de la Secretaria de Gestión de Riesgos el volcán Cotopaxi se encuentra en erupción con la categoría en rojo (SGR, 2018) lo que representa un riesgo cierto para las actividades humanas, que dentro del estudio del área de servicios turísticos, se encontraría ampliamente relacionada al identificarse 471 atractivos turísticos, con 290 Manifestaciones Culturales y 181 Sitios Naturales (GADPCotopaxi, 2015), así se identificó el nivel de afectación al inventario general de la provincia mediante las

siguientes interrogantes:

¿Qué categorías de atractivos son afectados?, ¿Dónde se encuentran los atractivos afectados?, ¿Cuál es la concentración de afectación por trayectoria de los atractivos?, ¿Cuál es el ponderado de afectación al inventario general, según la jerarquía?

El análisis de resultados se basó en, la base datos, las coordenadas de ubicación y los mapas de riesgos, así: En la Sección I se establecen las categorías, tipo y subtipo de atractivos afectados, en la Sección II, se logró identificar la ubicación de los atractivos afectados por cantones y tipo de parroquias (urbanas y rurales), a continuación, en la Sección III se determina la concentración gráfica de afectación desde el cráter del volcán, finalmente, en la Sección IV se calcula el ponderado de afectación al inventario general, según la jerarquía, en relación al número de atractivos afectados.

#### Método

La información recopilada, fue categorizada y analizada desde el campo área y aspectos de cada variable, de esta manera la relación del riesgo por lahares de erupciones del volcán Cotopaxi, se enmarca en el estudio de los volcanes y vulcanismo (Kullerud, 2018), y por otro lado el estudio de los atractivos turísticos, se encuentran en el área de las ciencias sociales y económicos (Turismo.gob, 2018). Las fuentes empleadas fueron: el Inventario de Recursos Turístico, Naturales y Culturales de la Provincia de Cotopaxi, y los Shapes de ubicación de la trayectoria del lahar sur, así fue construida una matriz de vaciado de datos de los 471 atractivos, que luego fueron sobre posicionados en los shapes coordenadas geográficas del lahar sur.

A continuación, se llevó a cabo la organización de tablas y gráficos, y fue posible establecer las respuestas relacionadas a las interrogantes planteadas, considerando las condiciones de la planificación territorial (Soto & Sjöbohm, 2005). Y la relación de los riesgos de los atractivos se logró mediante la elaboración de mapas de riesgos volcánicos (Carracedo, y otros, 2004) en donde se refleja la peligrosidad de este acontecimiento frente a las actividades que se verían afectadas como parte de la actividad turística.

Finalmente, se lograron identificar en condición binomial (Si, No) la afectación de la trayectoria del Lahar sur, y por medio de esta característica, relacionar las demás variables y/o condiciones del inventario. Cabe señalar que el presente artículo no busca relacionarse con estudios sobre las tipologías constructivas o arquitectónicas, o los daños sobre las edificaciones sobre índice estadísticos de vulnerabilidad de la intensidad sísmica (Monfort, y otros, 2011). Así, lo que se estableció el índice de ponderación de afectación al inventario general de atractivos mediante la operación de la jerarquización de los atractivos en cálculo de pesos por determinación de frecuencia relativa simple.

## II. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados fueron establecidos en relación con los datos obtenidos, para dar respuesta a las interrogantes de la investigación, por medio de la sistematización de los 471 atractivos, con 164 categorías.

### A. Categorías de atractivos afectados

En la Tabla I se presenta la afectación de los atractivos, donde, destacan mayormente las manifestaciones culturales

(259 de 471), por lo cual no resultado ilógica la relación puntual que un total de 33 atractivos afectados, 31 sean manifestaciones culturales, y 2 sean sitios naturales

TABLA I  
AFECTACIÓN SEGÚN CATEGORÍAS DE LOS ATRACTIVOS TURÍSTICOS POR EL LAHAR SUR

Categorías de atractivos	F No	% No	F Si	%Si	Subtotal
Manifestaciones Culturales	259	54,99	31	6,58	290
Sitios Naturales	179	38,00	2	0,42	181
Subtotal	438	92,99	33	7,01	471

En la Tabla II dentro de las manifestaciones culturales (31 de 33), destaca un nivel de afectación mayor a los atractivos de tipo Históricas 19 (0,64%), que contiene a 10 subtipos como: Sitios Arqueológicos, Colecciones particulares Minas Antiguas, Museos arqueológicos, Arquitectura Civil, Arquitectura Religiosa, Monumentos, Sectores Históricos, Museos Históricos y Arquitectura Militar.

TABLA II  
AFECTACIÓN SEGÚN CATEGORÍAS DE LOS ATRACTIVOS TURÍSTICOS POR EL LAHAR SUR

Categorías de atractivos	F No	% No	F Si	%Si	Subtotal
Acontecimientos programados	42	8.92	3	0.64	45
Aguas subterráneas	12	2.55			12
Ambientes lacustres	13	2.76			13
Bosques	16	3.40			16
Etnográficas	81	17.20	7	1.49	88
Fenómenos espeleológicos	9	1.91			9
Fenómenos geológicos	7	1.49			7
Históricas	90	19.11	19	4.03	109
Montañas	67	14.23	2	0.42	69
Planicies	2	0.42			2
Realizaciones artísticas contemporáneas	3	0.64			3
Realizaciones técnicas y científicas	43	9.13	2	0.42	45
Ríos	48	10.19			48
Sistema de áreas protegidas	5	1.06			5
Subtotal	438	92.99	33	7.01	471

Por otra parte, de los 14 tipos de atractivos también afectados se encuentran las Etnográficas 7 (1,49%), Acontecimientos programados 3 (4,03%), Montañas 2 (0,42%) y Realizaciones técnicas y científicas 2 (0,42%),

### B. Lugar donde se encuentran los atractivos afectados

En la Tabla III se presenta la identificación de los cantones de Latacunga y Salcedo, en donde se encuentran los atractivos que serían afectados, existiendo una distribución en general correspondiente de Latacunga 23 (4,88%), y de Salcedo de 10 (2,12%)

TABLA III  
AFECTACIÓN SEGÚN CANTONES DONDE SE ENCUENTRAN DE LOS  
ATRATIVOS TURÍSTICOS POR EL LAHAR SUR

Cantones	F No	% No	F Si	%Si	Subtotal
La Manà	44	9.34			44
Latacunga	125	226.54	23	4.88	148
Pangua	31	6.58			31
Pujili	94	19.96			94
Salcedo	46	9.77	10	2.12	56
Saquisilí	19	4.03			19
Sigchos	79	16.77			79
Subtotal	438	92.99	33	7.01	471

C. Concentración de afectación por trayectoria de los atractivos

En la Tabla IV se presenta el tipo de parroquias (urbana o rural) con afectación a sus atractivos por trayectoria del lahar sur, en donde: Latacunga dispone atractivos en 7 parroquias (Eloy Alfaro, Guaytacama, José Guango Bajo, La Matriz, Mulaló, San Buenaventura y Tanicuchí), y Salcedo dispone atractivos en 2 parroquias (Panzaleo y San Miguel). Además, por categoría, se estableció una relación predominante de afectación a los atractivos en el tipo de parroquia urbana (34 de 33), dejando en evidencia que el desarrollo urbanístico no ha considerado los riesgos latentes del volcán Cotopaxi.

TABLA IV  
AFECTACIÓN SEGÚN CANTONES DONDE SE ENCUENTRAN DE LOS  
ATRATIVOS TURÍSTICOS POR EL LAHAR SUR

Tipos de parroquias	F No	% No	F Si	%Si	Subtotal
Rural	149	31.63	9	1.91	158
Urbano	22	4.67	24	5.10	46
Subtotal	171	36.31	33	7.01	204

La Fig. 1 muestra la trayectoria de afectación, teniendo como vector de origen al cráter del volcán, en donde se ubican los atractivos en trayectoria del lahar sur, en donde se observa la concentración de la afectación en las parroquias urbanas de los cantones de Latacunga y Salcedo.

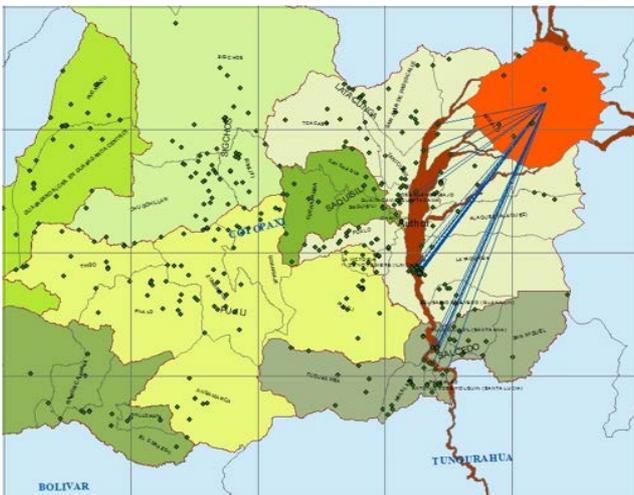


Fig. 2. Concentración de atractivos afectados por trayectoria del lahar sur

D. Ponderación de afectación al inventario general, según la jerarquía

La Fig. 2 muestra la trayectoria del lahar sur con un flujo

estimado aproximado de 150 millones de m<sup>3</sup> de agua derretida de los glaciales mezclada con materiales como lodo, piedras, rocas, y palos, (Aguilera, 2012) que afectarían a los atractivos de los dos cantones por el recorrido del río Cutuchi, en un tiempo aproximado de una hora y treinta minutos.

Para los 33 atractivos afectados se establecieron las alturas respectivas, y los valores de la altura mínima 2.588, media 2.776 y máxima 3.188 msnm, logrando representar la trayectoria norte - sur del lahar y la ubicación de los 33 atractivos afectados, iniciando con el atractivo cerro del Callo y, finalizando el mirador de Uliví, se determinaron que 12 atractivos están por debajo de la media, y 21 están sobre la media de las alturas.

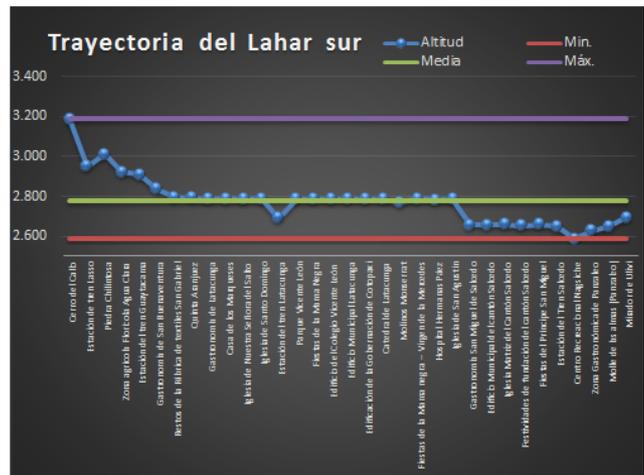


Fig. 2. Trayectoria de afectación del lahar sur por orden de los atractivos afectados

Para establecer el ponderado de afectación al inventario, se consideró la calificación de las tres categorías de valoración, con 10 elementos, en una escala del 1 al 10, así: Calidad (Valor intrínseco, valor extrínseco, entorno y conservación), Apoyo (Acceso, servicios y asociación), y Significado: Local, provincial, nacional e internacional. Y para asignar la jerarquía respectiva, se suman los 10 elementos (1 a 100), y se aplicó la siguiente fórmula:

$$P_p = \frac{C_i \cdot 100}{\sum C} \quad (1)$$

donde  $PP$  es el peso pondero,  $C_i$  es la calificación individual y  $\sum C$  es la Sumatoria de las calificaciones individuales

La Fig. 3 muestra el ponderado de afectación por cantones al inventario general de atractivos, discriminados entre los cuales serían afectados por la trayectoria del lahar sur, asignándose a Latacunga 6.58 y Salcedo 2.25

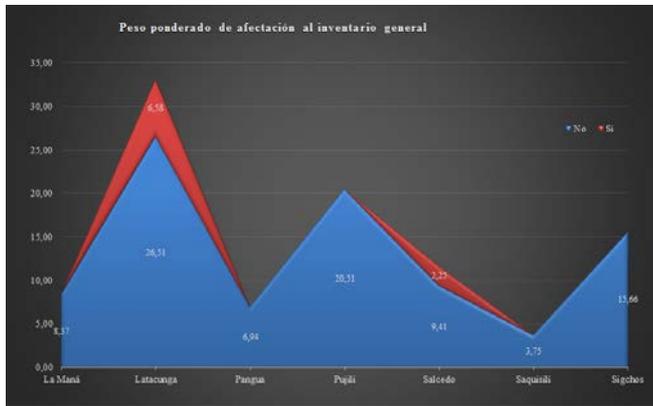


Fig. 3. Ponderación de afectación al inventario general de atractivos

### III. CONCLUSIONES

Cabe destacar, que en el Análisis distribucional de riesgo de los atractivos turísticos, por el lahar sur del volcán Cotopaxi, no se podría hablar de una ausencia o menor afectación hacia los otros atractivos del inventario general, por cuanto quedan latentes las amenazas de flujo de lava, piroplástos y ceniza, que afectarían al inventario de otras maneras, en otros espacios geográficos, y con otros efectos, pero se determinaron cuatro conclusiones en función de las preguntas directrices de la investigación.

- Las manifestaciones culturales, fueron identificadas como las categorías de atractivos, mayoritariamente afectados.
- Latacunga y Salcedo son los cantones, donde se encuentran asentados los atractivos afectados.
- El área de las parroquias urbanas, es lugar en donde se evidencia una concentración de afectación por trayectoria del lahar sur.
- Según la jerarquía, la medida de 8,84 es el peso ponderado positivo de afectación al inventario general, frente al 91,16 peso ponderado negativo.

### REFERENCIAS

- [1] Aguilera, E. (2012). Volcán Cotopaxi: Belleza Fatal. Escuela Superior Politécnica del Ejército.
- [2] J. Carracedo, H. Guillou, M. Paterne, S. Scaillet, E. Rodríguez, R. Paris, A. Hansen, "Análisis del riesgo volcánico asociado al flujo de lavas en Tenerife (Islas Canarias): escenarios previsibles para una futura erupción en la isla" Estudios Geol. (2004).
- [3] GADP Cotopaxi. "Inventario de Recursos Turístico, Naturales y Culturales de la Provincia de Cotopaxi." [En línea]. Disponible: [https://issuu.com/paulandres2/docs/rendici\\_n\\_de\\_cuentas\\_2015\\_02p\\_rint](https://issuu.com/paulandres2/docs/rendici_n_de_cuentas_2015_02p_rint)
- [4] Kullerud, K. (2018). [http://webgeology.alfaweb.no/webgeology\\_files/spanish/vulcanism\\_spanish.html](http://webgeology.alfaweb.no/webgeology_files/spanish/vulcanism_spanish.html).
- [5] D. Monfort, N. Lantada, X. Goula, A. Barbat, C. Negulescu, J. Rodríguez, "Generación de escenarios de riesgo sísmico en una zona transfronteriza del Pirineo" Granada: 2011, pp. 1-9.
- [6] Gestión de Riesgos. disponible : <http://gestionriesgosec.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=23f0de2e8e4541948e94f1681b8fba01>.
- [7] G. Soto, L. Sjöbohm, "Sobre El Mapeo De Los Peligros Volcánicos Del Arenal (Costa Rica) Como Una Herramienta Para La Planificación Del Uso Del Suelo Y La Mitigación De Desastres." Memoria VIII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica, pp. 26. San José, Costa Rica. sep, 2005.
- [8] T. Toulkeridis, "Volcán Cotopaxi" Universidad San Francisco. Noviembre, 2015 [En línea]. Disponible: [https://www.usfq.edu.ec/sobre\\_la\\_usfq/oficinainnovacion/Documents/anexo\\_visitas\\_plan\\_de\\_contingencia.pdf](https://www.usfq.edu.ec/sobre_la_usfq/oficinainnovacion/Documents/anexo_visitas_plan_de_contingencia.pdf)

- [9] Turismo.gob. (2018). <http://servicios.turismo.gob.ec/index.php/portfolio/turismo-cifras/2-uncategorised/categorias-turismo-en-cifras/94>.

# Análisis correlacional entre el nivel de ingresos y los canales de comercialización de los artesanos del Cantón Gualaceo que utilizan la técnica Ikat

Gabriela Amoroso, María Calle, Rosario Campoverde, Mónica Rosales

Unidad Académica de Ciencias Sociales, Periodismo, Información y Derecho/ Economía, Universidad Católica de Cuenca  
gamorosoc@ucacue.edu.ec, mcallec@ucacue.edu.ec, rcampoverdec@ucacue.edu.ec, mrosalesn@ucacue.edu.ec

**Resumen**—La presente investigación se realizó en el ámbito de la economía aplicada, con el fin de analizar la relación que existe entre el nivel de ingresos y los canales de comercialización de los artesanos que elaboran productos aplicando la técnica Ikat. El estudio tiene enfoque cuantitativo, es de tipo no experimental, descriptivo y alcance correlacional, la información utilizada para el análisis se tomó de la encuesta aplicada a 36 artesanos que representan la totalidad del universo estudiado, en donde se relacionan los ingresos y los canales de comercialización como variables de estudio. Entre los principales resultados se tiene que los artesanos utilizan tres canales de comercialización con diferentes destinos tanto en el ámbito nacional e internacional, los ingresos que perciben más el 61% por la actividad corresponde a menos de un salario básico unificado y en términos generales la relación entre el nivel de ingresos y los canales de comercialización es muy débil al presentar un coeficiente de correlación  $\rho = -0,11$ . El análisis realizado sugiere que se pueden realizar nuevos estudios que asocien los ingresos con variables más significativas tales como innovación, productividad, asociatividad, estrategias de marketing, entre otros.

**Palabras Claves**—Correlación, canales de comercialización, ingresos, macanas

**Abstract**—This research was carried out in the field of applied economics, in order to analyze the relationship between income level and the marketing channels of the craftsmen who manufacture products using the Ikat technique. The study has quantitative approach, is not experimental, descriptive and correlational reaches, information used for analysis were taken from the survey 36 artisans who represent the totality of the universe studied, in which relate revenue and marketing channels such as study variables. Among the main results is that the craftsmen use three channels of marketing with different destinations both at the national and international level, income received over 61% by the activity corresponds to less than a basic wage unified and in general terms the relationship between income level and marketing channels is too weak to present a correlation coefficient  $\rho = -0.11$ . The analysis suggests that new studies involving revenue with more significant variables such as innovation, productivity, partnership marketing, among other strategies can be.

**Keywords**—Correlation, marketing channels, income, macanas

## I. INTRODUCCIÓN

Existen diferentes técnicas para la producción artesanal de macanas, esta investigación relaciona los ingresos con los canales de comercialización de quienes aplican la técnica Ikat. La terminología Ikat proviene del idioma malayo, expresión lingüística principalmente del sudeste de Asia, cuya traducción se entiende como “atar”, “anudar”; se considera una técnica de aplicación tradicional artesanal [1].

En América la aplicación de la técnica Ikat se desarrolla principalmente en Perú y Ecuador.

Esta técnica es parte de un patrimonio cultural según lo afirma la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), “el patrimonio cultural comprende tradiciones o expresiones vivas heredadas de nuestros antepasados y transmitidas a nuestros descendientes; como (...), usos sociales, rituales, actos festivos, conocimientos y prácticas relativos a la naturaleza y el universo, y saberes y técnicas vinculados a la artesanía tradicional” [2].

La técnica es utilizada para la elaboración de artículos y prendas de vestir, principalmente las macanas; convirtiéndose en una de las actividades primordiales para generar empleo en las comunidades de Bullcay y Bullzhun del cantón de Gualaceo, provincia del Azuay.

Las macanas son parte de la identidad cultural, constituyen un elemento cuya función se encuentra íntimamente ligada a la vida cotidiana de sus portadores; enmarca “su función comunicativa, su papel educativo, su manifestación creativa, el imaginario y la imaginación como conceptos importantes en el proceso identitario de los artesanos/as (...)” [3] ; por ello la técnica Ikat fue declarada como Patrimonio Cultural Inmaterial del Ecuador en el año 2015 [3].

Los canales de comercialización empleados por los artesanos, son tres: 1) Directo, el cual se relaciona con una atención cara a cara, venta directa es un canal de distribución y comercialización de productos y servicios directamente a los consumidores [4]; 2) a través de intermediarios entendida también como la venta indirecta, que es el proceso por medio del cual la empresa productora vende al consumidor final a través de terceras personas, quienes se consideran como un canal de distribución [5], y 3) mixto, en donde la comercialización se realiza utilizando los dos canales, es decir tanto la directa como la indirecta.

De esta manera se puede apreciar que el mayor porcentaje de ventas de macanas es a nivel provincial en un 56.25%, en tanto que la venta local representa un 22.92%, el cantonal un 10.42% y en menor proporción el nacional e internacional con un 6.25% y 4.17%, respectivamente.

La venta provincial tiene preponderancia al analizar la relación entre los canales de comercialización y los lugares de venta de las macanas; en el canal de comercialización directa en venta provincial representa el 40.74% sobre las ventas totales provinciales, ubicándose luego las ventas indirectas con un 37.04% y por último la venta mixta con un 22.22%.

Los ingresos económicos son la remuneración, pago o contribución que recibe una persona, una familia, una organización, etc., por su trabajo o actividad productiva. Para el caso de los artesanos, los ingresos son aquellos valores monetarios que perciben por la venta de sus productos y/o por actividades complementarias y/o por ingresos familiares en general que se ven obligados a realizar para cubrir sus necesidades básicas. [6] Mordo (2002) , destaca la dura situación que atraviesa el sector artesanal latinoamericano al exponer que la gran mayoría de estos grupos mantiene una “condición de pobreza” esto quiere decir que los ingresos percibidos por su actividad es bajo, y bajo este escenario la satisfacción de sus necesidades elementales se hace difícil; por lo que la gran mayoría de artesanos se ven abocados a insertarse en el mercado laboral formal o informal, o complementar con actividades agrícolas para proveerse de alimentos básicos.

Al analizar los ingresos que perciben los artesanos por su actividad; el 61.1% tienen ingresos menores a un Salario Mínimo Vital General 2018 (SMVG, \$386,00), el 2,8% perciben ingresos entre \$400,00 y \$800,00 dólares y solo un 2,8% perciben ingresos mensuales entre \$1200-\$2000. Frente a esta situación para complementar sus ingresos se ven forzados a realizar otras actividades en las cuales un 83% de los artesanos que pueden acceder al mercado laboral formal o informal perciben ingresos menores al SMVG; así también existen macaneros que cuentan con el aporte de ingresos de otros miembros familiares, mejorando sus ingresos, es así que, un 46% llegan a tener como ingresos familiares entre \$400 a \$800 dólares.

Con todo lo expuesto, se considera que la diferencia en el acceso a los canales utilizados para la comercialización de las macanas influye en forma directa en la generación de ingresos de los artesanos.

La interrogante que intenta responder la presente investigación es ¿Cuál es el grado de asociación lineal entre los ingresos generados por los artesanos del cantón Gualaceo que elaboran productos aplicando la técnica Ikat y los canales de comercialización?

El presente estudio tiene como objetivo analizar el grado de correlación lineal entre el nivel de ingresos de los artesanos del cantón Gualaceo y los canales de comercialización.

El presente documento consta de V secciones: I) Introducción, en la que se presentan los antecedentes, la problemática, justificación y objetivo de la investigación, II) se desarrolla los métodos y materiales usados, III) Análisis de resultados, que inicia con la identificación de los canales de comercialización, los ingresos de los artesanos y finalmente se establece la correlación entre los niveles de ingresos y los canales de comercialización, IV) Conclusiones.

## II. MÉTODO

El enfoque de la investigación es cuantitativo, de tipo no experimental, transversal, descriptivo, correlacional al no existir manipulación intencional de variables, la observación se realizó en el contexto tal como se ha presentado el fenómeno y se busca conocer la relación entre un conjunto de variables en un momento dado [7].

Como técnicas empleadas para el alcance de los

objetivos se utilizaron la revisión bibliográfica para la fundamentación teórica; entre los autores más destacados que fueron objeto de consulta y referente están: Mordo, Cruz Roche, Kean & Col, y Zapata & Suárez.

La información de la encuesta socio-económica aplicada en el año 2016 a 36 artesanos de las comunidades de Bullcay y Bullzhun del cantón Gualaceo considerados como jefes de hogar de la totalidad de familias dedicadas a la elaboración de productos artesanales que utilizan la técnica Ikat, como parte del proyecto de vinculación ejecutado por las autoras con los estudiantes de la carrera de Economía de la Universidad Católica de Cuenca en el marco del convenio interinstitucional con el Gobierno Autónomo Descentralizado de Gualaceo (GAD), administración 2015-2019 sirvió de base para la identificación de los canales de comercialización, los ingresos de los artesanos y el análisis de la asociación lineal entre las dos variables anteriormente mencionadas.

### A. Canales de Comercialización

Se identificaron los canales de comercialización a través de la definición de los tres tipos utilizados por los artesanos, posteriormente se calcula el uso de los mismos de manera porcentual, finalmente con el detalle de los lugares de venta y los ingresos percibidos se llegaron a determinar la frecuencia de uso de cada uno de ellos.

### B. Ingresos de los Artesanos

Para identificar los ingresos de los artesanos se recopiló información referente a las fuentes de proveniencia de los mismos.

### C. Relación entre Variables

Para determinar el grado de asociación lineal entre el nivel de ingresos de los artesanos y los canales de comercialización de los productos, se tomaron los datos relacionados a la cantidad de artesanos identificados como jefe del grupo familiar que elaboran las macanas y los ingresos que perciben por la actividad, dependiendo del canal de comercialización; para los cálculos, gráficos y análisis de datos se utilizaron los programas de Excel e IBM SPSS statistics 20, realizando en primer lugar un análisis descriptivo y luego el correlacional aplicando el estadístico de Pearson, se calcularon cuatro coeficientes de correlación entre la cantidad de artesanos con los ingresos totales de la actividad y segmentados por cada canal de ventas.

## III. ANALISIS DE RESULTADOS

Los datos que se presentan a continuación guardan relación con el problema de investigación, el método y el soporte teórico; su exposición se realiza desde los objetivos planteados.

Los canales de comercialización que se identifican son el directo, intermediarios y mixto, cuyos destinos finales son local, cantonal, provincial, nacional, e internacional, como se expone en la Tabla I.

TABLA I  
CANALES DE COMERCIALIZACIÓN Y DESTINO DE LAS VENTAS

canal	No. Artesanos	% Canal Total	Destino De Las Ventas						Total	%
			Local	Cant	Prov.	Na c	Int ern			
Indirecto	11	30.56	0	1	10	0	0	11	37	
Directo	19	52.78	7	1	11	3	2	24	41	
Mixto	6	16.67	4	3	6	0	0	13	22	
Total	36	100.00	11	5	27	3	2	48	100	
% DESTINO VENTA/ DESTINO VENTA TOTAL			22.9	10.4	56.3	6.3	4.2	100		

Como se observa en la Tabla II, el 61.1% de los artesanos perciben ingresos inferiores al SMV, el 50% de quienes pueden acceder al mercado formal o informal perciben por otras actividades un ingreso menor al SMVG; mientras que los ingresos familiares de los artesanos mejoran cuando existen otros miembros del hogar que aportan económicamente, un 46% perciben ingresos entre \$400 a \$800 dólares.

TABLA II  
NIVEL DE INGRESOS DE LOS ARTESANOS

Actividad		Por venta de Macanas		Por otras actividades		Ingresos Familiares	
		# artesanos	% artesanos	# artesanos	% artesanos	# artesanos	% artesanos
NIVEL DE INGRESOS	Menor	22	61.10	6	50	7	70
	Basic	12	33.30	4	33	9	25
	o basic	1	2.80	1	8	16	46
	\$400	0	0.00	0	0	3	9
	- \$800	1	2.80	1	8	1	3
	\$801	0	0.00	0	0	0	0
	- \$1200	1	2.80	1	8	1	3
TOTAL		36	100	12	100	36	100

En la tabla III se aprecia la media de cada variable, que corresponde a los ingresos provenientes de la venta de macanas a través de los canales de comercialización, que en relación a la desviación típica no guardan relación, indicando dispersión en correspondencia con la media.

TABLA III  
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ
Directo	19	30.00	1350.00	182.9474	299.07830
Intermediarios	11	30.00	240.00	108.5455	69.17133
Mixto	6	30.00	180.00	83.6667	55.48573
Ingresos	36	30.00	1350.00	143.667	222.82511
N valido	6				3

La Fig. 1, muestra la dispersión entre, la relación total de los ingresos y los canales de ventas, se analizó mediante el estadístico de correlación de Pearson, teniendo un

coeficiente de correlación de  $\rho = -0,11$  lo que indica que la relación es *muy débil* y al tener signo negativo que es inversa. Este resultado nos lleva a rechazar la hipótesis planteada en la que se estableció que los canales de ventas y los niveles de ingresos tienen un grado de relación lineal, fuerte y directa.



Fig. 1. Dispersión lineal entre canales de ventas e ingresos

El grado de relación entre la comercialización directa y los ingresos de los artesanos se determina que es nula, al tener un coeficiente de correlación  $\rho = -0.007$ , como se observa en la Fig. 2.

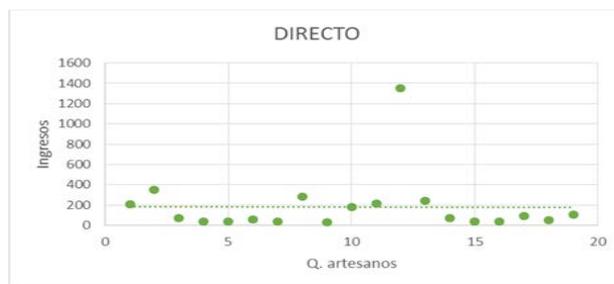


Fig. 2. Dispersión lineal entre ingresos y canal directo

El grado de relación entre la comercialización con intermediarios y los ingresos de los artesanos se determina que es *nula*, al tener un coeficiente de correlación  $\rho = 0,096$ , como se observa en la Fig. 3.

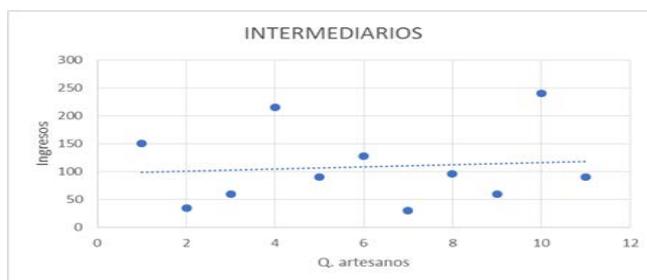


Fig. 3. Dispersión lineal entre ingresos y comercialización a través de intermediarios

El grado de relación entre la comercialización mixta y los ingresos de los artesanos se determina que es *moderada*, al tener un coeficiente de correlación  $\rho = -0.64$ , y al tener signo negativo que es inversa; como se observa en la Fig. 4.

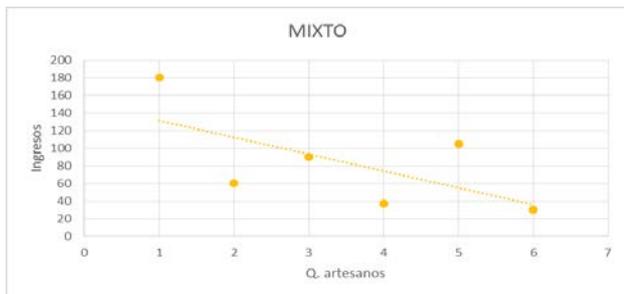


Fig. 4. . Dispersión lineal entre ingresos y comercialización mixta

#### IV. CONCLUSIONES

La comercialización de las macanas se da en forma directa, indirecta y mixta. El canal de comercialización más utilizado es el directo, seguido por el indirecto; ambos canales tienen en mayor proporción una cobertura provincial. Cruz Roche menciona “la separación geográfica entre vendedores y compradores hace necesaria que acerque correctamente los productos desde los lugares donde son fabricados hasta los lugares donde son consumidos” [8]

La situación económica de los macaneros de las comunidades estudiadas es similar a realidades de artesanos de otras regiones y países; mantienen la condición de pobreza; al ser una actividad 100% artesanal, que demanda horas extras de dedicación y no tiene un reconocimiento monetario adecuado del mercado, alrededor del 60% de artesanos con los ingresos que percibe de su actividad, ni siquiera puede cubrir las necesidades básicas o la canasta básica que asciende a 711,13USD (marzo 2018). Zapata & Suárez 2007, reafirman que “Tradicionalmente, la mayor parte de las artesanías se venden a precios muy bajos” a nivel mundial; estos factores que se replican en casi todas las regiones de América Latina ha generado que la población joven no vea a la actividad artesanal como una alternativa viable de supervivencia, lo que evidencia que el trabajo artesanal está subvalorado, razón por la cual los artesanos se ven forzados a buscar otras fuentes de ingresos para satisfacer sus necesidades básicas.

El grado de asociación lineal entre los canales de comercialización y los niveles de ingresos que perciben los artesanos es nula, esto se puede relacionar con su condición socioeconómica; debido a que existen otros elementos que se pueden plantear para el análisis tales como: el nivel de productividad por ser una actividad de tipo artesanal o manual, innovación sin perder la categoría de identidad cultural y elaboración manual, asociatividad, al ser una actividad desarrollada bajo un esquema de unidades económicas familiares; esto condiciona su capacidad de influencia en el mercado, limitando su poder de negociación estrategias de marketing, entre otros. Kean y Col (citado en Hernández et al., 2002) señalan como estrategia de comercialización en artesanos, el enlace entre los negocios, la cercanía del lugar de venta, la imagen de los locales y el servicio personal de los pequeños negocios, son importantes al momento de la generación de ingresos.

#### REFERENCIAS

[1] D. Penley, Paños de Gualaceo, Cuenca: CIDAP, 1988 disponible en <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/handle/cidap/444>.

[2] Organización de las Naciones Unidas (UNESCO), “Patrimonio Cultural Inmaterial - PCI,” 2006. [En línea]. Disponible: <https://ich.unesco.org/es/que-es-el-patrimonio-inmaterial-00003>.

[3] C. Ongallo, “¿Qué es la venta directa?” El libro de la venta directa, 1era ed, Madrid, Díaz de Santos, 2012. pp 5-31.

[4] L. Stern, A. Ansary, A. Coughlan y I. Cruz, “Canales de comercialización,” Madrid: Prentice-Hall, 1998

[5] D. Glejberman, “Descripción de los indicadores de ingresos y salarios y su implementación en el Uruguay” Montevideo: CEPAL, 1995.

[6] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista.” Metodología de la Investigación”, México: McGraw-Hill, 2014.

[7] I. Roche, “Los canales de distribución de productos de consumo”, México Ed. Pirámide, 1999.

[8] J. Hernández, M. Domínguez y A. Ramos, “Canales de distribución y competitividad en artesanías”, Estudios sobre Estado y Sociedad, vol. IX, n° 25, pp. 143-164, 2002.

[9] C. Mordo, “La artesanía un patrimonio olvidado”. Artesanías de América, vol. s/v, n° 52, pp. 49-60, 2002.

[10] M. Criollo, “Estudio de Técnicas artesanales, aplicadas a arte y objeto Ikat y pirotecnia Macanas Luz y color”. 2014. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21097/1/TESIS...pdf>. [Último acceso: 18 04 2018].

[11] E. Zapata y S. Blanca, “Las Artesanas, sus quehaceres en la organización y en el trabajo,” 2007. [En línea]. Available: «Las artesanas, sus quehaceres en la organización y en el trabajo.» Ra Ximhai, 3 marzo 2007. [Último acceso: 11 04 2018].

[12] M. Santesmases, “Marketing conceptos y estrategias”, Madrid: Pirámide, 2004.

# Filosofía lean y gerencia de operaciones: El caso de las empresas de Ambato, Ecuador

Marisol Ortega, Homero Vaca

Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE,  
Extensión Latacunga

ymortega@espe.edu.ec, shvaca@espe.edu.ec

**Resumen**—El propósito de este estudio es brindar, desde la perspectiva de la filosofía Lean, una visión panorámica del manejo de los procesos en las empresas del Cantón Ambato, Ecuador, a través de la cual se determinan los aspectos claves de este sistema de trabajo con énfasis en los procedimientos para la eliminación de desperdicios que no aportan valor. La metodología se basa en un estudio macro del sector industrial y comercial, llevado a cabo en el 2016. La recopilación de información se realiza mediante un estudio de campo con entrevistas estructuradas, dirigidas a los administradores de las empresas. Los resultados obtenidos reflejan la cultura en el campo de la optimización de recursos, así como también demuestran el nivel de conocimientos del modelo especialmente en términos de desperdicios, sobreproducción, distribución del espacio y mejora continua. En las conclusiones se deduce que las entidades de la zona tienen implementados mecanismos de mejora continua en los procesos, aunque ciertas prácticas para cumplir con los propósitos Lean requieren ser perfeccionadas.

**Palabras Claves**—Ambato, desperdicios, empresa, filosofía Lean, mejora continua, operaciones.

**Abstract**—The purpose of this study is to offer, from the perspective of the Lean philosophy, a panoramic vision of the management of the processes in the companies of Canton Ambato, Ecuador, through which the key aspects of this work system are determined with emphasis in the procedures for the elimination of waste that does not add value. The methodology is based on a macro study of the industrial and commercial sector, carried out in 2016. The information is collected through a field study with structured interviews, aimed at company managers. The results obtained reflect the culture in the field of resource optimization, as well as demonstrate the level of knowledge of the model especially in terms of waste, overproduction, space distribution and continuous improvement. In the conclusions, it is deduced that the entities of the zone have implemented mechanisms of continuous improvement in the processes, although certain practices to fulfill the Lean purposes need to be perfected.

**Keywords**—Ambato, waste, company, Lean philosophy, continuous improvement, operations.

## I. INTRODUCCIÓN

La actividad socio-productiva y comercial de la provincia de Tungurahua y concretamente del Cantón Ambato en la última década se ha caracterizado porque hay “[...] más producción, más ventas, más inversión en maquinaria e infraestructura, más crédito y más capacitación. Casi todos los sectores productivos se han revitalizado: el calzado y cuero, el carrocero, el textil, el comercio y la agricultura [1].

Con este preámbulo, en este artículo investigativo se

enuncian desde un enfoque cualitativo los puntos de vista y tendencias referidos a la práctica de la filosofía Lean en las organizaciones industriales y de servicios de la zona de Ambato en el contexto de eliminación de desperdicios como una alternativa para optimizar el uso de recursos; además se recopila los fundamentos teóricos importantes con el propósito de esquematizar los temas de mejora continua. Las razones que motivaron la realización de este estudio subyacen en la necesidad de explorar las características innovadoras de trabajo en las empresas del cantón en materia de procesos, aspectos que se han evidenciado en su posicionamiento económico nacional e internacional, por lo que se incursiona en este ámbito a través de un sondeo programado. Con este criterio se aprovecha la oportunidad de conocer de cerca los mecanismos de gestión de operaciones en tales entidades, que, en determinado momento, pueden ser el modelo a seguir en otros sectores del emprendimiento, sentando así las bases para futuros trabajos de investigación.

Con éstos antecedentes, se explica la estructura de este documento, misma que inicia con la sección II, en la que se expone las bases teóricas de la investigación, así como también el método aplicado. Seguidamente, en la sección III se presenta el análisis de los resultados mediante tablas y figuras ilustrativas; en la sección IV, se formulan las conclusiones; y, en la parte final, se establecen las referencias, las cuales son plenamente sustentadas.

## II. MÉTODO

### A. Filosofía Lean

Etimológicamente “la palabra “lean” en inglés significa “magra”, es decir, sin grasa. En español no combina mucho la definición de “manufactura magra”, por lo que se le ha llamado: Manufactura Esbelta o Manufactura Ágil, pero al igual que muchos otros términos en inglés, se prefiere dejarlo así”. (Padilla, 2010:65).

La filosofía Lean históricamente nace en Japón por los años 50 sentando las bases para la mejora continua, el cual es renovado desde una dimensión paradigmática en el año 90 enfocado a la metodología para eliminación de desperdicios por James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos, en su libro titulado *The Machine that changed the World* [2]. (La máquina que cambió al mundo). En este contexto, “la nueva filosofía de producción ya era conocida en otras latitudes, de diferentes maneras, entre ellas “producción sin pérdidas”, “nuevo sistema de producción” o “manufactura de clase mundial”, y fue implementada en otros campos como la

administración y el desarrollo de productos” [3, p. 34]. Esta reflexión tiene mucho que ver con la implementación sostenible de los procesos, criterios de relación de largo plazo, respeto y beneficio mutuo, mejora continua [4, p. 121]

En conclusión, “el término Lean (Esbeltez) se enfoca en la reducción de desperdicio, de eliminar todo aquello que no necesita para manufacturar un producto o servicio y es manifestado en un énfasis al flujo” [6]

### B. Desperdicios

El término desperdicio proviene del Japonés *Muda*, que significa despilfarro, “específicamente toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor: fallos que precisan rectificación, producción de artículos que nadie desea y el consiguiente amontonamiento de existencias y productos sobrantes [7]

Continuando, “Hay ocho clases de muda: sobreproducción, desperdicio, transporte, procesamiento, inventario, movimiento, repeticiones, y utilización deficiente del personal. La meta es tratar de eliminar o reducir estos costos” [8,p 4]; costos por “ desperdicios, organización del área de trabajo, reducción del tiempo de preparación, reducción de los niveles de inventario” [6, p. 82].

### C. Gestión de operaciones

En el ámbito empresarial, se lo definiría como “la estandarización de las operaciones en producción, es decir las hojas de operación estándar [...]. Las operaciones estándar se establecen para cada operación unitaria, por cada parte, por cada máquina y por cada proceso” [9, p. 85]. Las operaciones estándar son el mejor método para que se “aprendan correctamente las operaciones, hacer que la repitan cuantas veces sea necesario y si comete errores corregirlos inmediatamente. Sin falta verificar la calidad del producto terminado. [9, pp 104-108]; esta norma por consiguiente, es vista como: “Una filosofía de gestión que genera cambios o pequeñas mejoras incrementales en el método [...] (o procesos de trabajo) que permite reducir despilfarros y por consecuencia mejorar el rendimiento del trabajo, llevando a la organización a un espiral de innovación incremental. [10, p 285].

### D. Mejora continua

Según la NTP-ISO 9000:2001, Mejora continua es una "actividad recurrente para aumentar la capacidad para cumplir los requisitos" siendo los requisitos la "necesidad o expectativa establecida, generalmente implícita u obligatoria". [11, p. 92]. Se relaciona con el “enfoque a los procesos, por que plantea el ciclo de mejora continua de los procesos PHVA que significa "Planificar-Hacer-Verificar-Actuar" desarrollado por W. Shewarth (1920) y conocido gracias a W. Edwards Deming [...] como el Ciclo DEMING. *Ídem*.

En este mismo ámbito se puede mencionar también a otro modelo de apoyo; este es el modelo Kaizen, “una herramienta de clase mundial que ayuda a las empresas a la mejora continua, cuyo objetivo es la calidad, la competitividad y la productividad. [12, p. 333].

### E. SMED

Significa “Cambio de modelo en minutos de un sólo dígito”, técnica para reducir los tiempos de alistamiento de una actividad u operación con el propósito de mejorar las operaciones de cambio de modelo en menos de 10 minutos. Desde la última pieza buena hasta la primera pieza buena en menos de 10 minutos. El sistema SMED nació por necesidad para lograr la producción Justo a Tiempo. Este sistema fue desarrollado para acortar los tiempos de la preparación de máquinas, posibilitando hacer lotes más pequeños de tamaño. [13].

Esto significa que las actividades de producción o de distribución deben someterse a un proceso riguroso de control de tiempos, para evitar las filas de espera y los consecuentes retrasos en la entrega del producto final.

### F. Método

La metodología es un estudio de investigación de campo enfocado a un grupo de empresas de la ciudad de Ambato. El método seleccionado es el muestreo probabilístico aleatorio simple, cuyo soporte de recopilación de datos es la “entrevista estructurada” con preguntas dicotómicas, dirigida a los administradores de los negocios. Los criterios para la aplicación de este método se respaldan en las características homogéneas de la población, aspecto que permite escoger con libertad un conjunto aleatorio de unidades de estudio que en este caso fueron 84 empresas, de las cuales 24 son industriales y 60 de servicios. El estudio lo ejecutó un equipo de trabajo conjuntamente con un coordinador. Finalmente, los datos recogidos fueron procesados en el sistema informático.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La investigación de campo estuvo dirigida a las empresas, en función de su actividad propia, mismas que se detallan en las Tablas I y II:

TABLA I  
LISTADO DE EMPRESAS INDUSTRIALES

No.	NOMBRE DE LA EMPRESA
1	ARTE MUEBLES
2	CPI LTDA
3	MUEBLES SILVA
4	LIMPLIA PLUS
5	MIVIL TECH
6	PILVICSA
7	CARROCERIAS MIRAL
8	CARROCERIA FIALLOS
9	AVICOLA SAN AGUSTIN
10	VARIETADES MARÍA PIEDAD
11	CARROCERÍAS "IMCE"
12	PUERTAS ENROLLABLES "ROMANO"
13	CARROCERÍAS IMPA
14	CHOCOLATES JUDITH
15	LA NOBLESSA
16	VALIALBE COMPAÑÍA LIMITADA (SR. PATRICIO MORALES)
17	EMPRESA SIN NOMBRE
18	PARABRISAS GLASS AUTO
19	MAQUILADORA MYT
20	CAUCHO SIERRA
21	CASTRO MAQUINARIA
22	CAMAL DE AMBATO
23	FRIGORÍFICO DON LUIS
24	MUEBLERÍA RAFAEL

Para la fase de consulta *in situ*, se estructuró un formulario o cédula de entrevista con 15 ejes temáticos, de los cuales se seleccionaron nueve por considerarse los más relevantes. Las preguntas formuladas son dicotómicas con opciones de respuesta de SI o NO, que representan la afirmación del *conocimiento* o *desconocimiento* del entrevistado acerca de cada uno de los tópicos. Los resultados son presentados en términos porcentuales a continuación en la Tabla III y la Fig. 1.

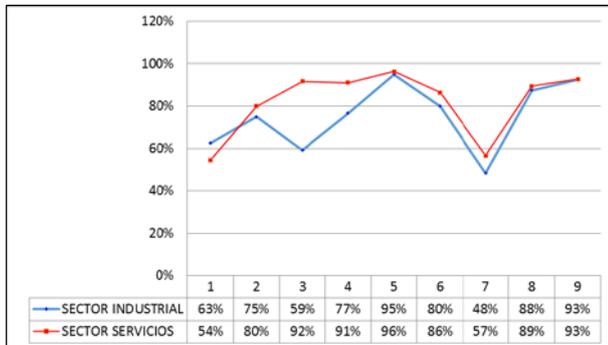


Fig. 1. Representación gráfica de la relación sobre las prácticas Lean en los dos sectores

#### IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LAS PREGUNTAS

Primeramente, el promedio general sobre prácticas Lean es 78,5%. En el sector industrial, se verifica que existe conocimiento del sistema en un 63% contra 37, que es el desconocimiento; en sector servicios el porcentaje afirmativo es 54% contra el 46%, negativo; porcentajes que permiten establecer que el sistema Lean es aplicado en la mayor parte de empresas, las diferencias entre el uno y otro son justificables por cuanto el pensamiento Lean, históricamente ha sido más asociado a la manufactura antes que a la distribución o el comercio.

En segundo lugar, se puede comprender que el nivel máximo de eficiencia, entre las dimensiones Lean, le corresponde a la *distribución por áreas de trabajo*, que alcanza una cota del 95 y el 96% respectivamente, aspecto positivo por cuanto las organizaciones en su mayoría prefieren trabajar en espacios bien distribuidos. Del lado contrario, están las cotas más bajas del 48 y 57%, que es la aplicación de la *técnica SMED*, la cual revela que no se le presta mucha atención a los tiempos controlados.

#### V. CONCLUSIONES

La gestión de las empresas demuestra un alto nivel de responsabilidad en el control de desperdicios y prácticas de mejora continua. En los dos sectores existe gran apertura hacia los cambios para mejorar la calidad de sus productos o servicios. Se evidencia además, la similitud de ideologías y pensamientos en cuanto a la orientación al servicio, siendo por lo tanto una característica referente de desarrollo productivo. El análisis sobre los conocimientos del manejo controlado en los tiempos de procesos, refleja no estar en los niveles óptimos requeridos, aspecto que en cierto modo puede significar incremento de costos.

TABLA II  
LISTADO DE EMPRESAS DE SERVICIOS

NO	NOMBRE DE LA EMPRESA	NO	NOMBRE DE LA EMPRESA
1	AUTOMOTORES DE LA SIERRA	31	ROTULOS (SIN NOMBRE)
2	HIDRORIEGO	32	OLAAUTO
3	CAFETERÍA BUBBLE CREP	33	MODUPAL
4	LIBRERÍA D'LUISIN LUISIN LIBRERÍA Y ACCESORIOS PARA COMPUTADORA	34	WILSON SPORT
5	AGRO AHORRO	35	EP-EMAPA-A
6	TRONICK	36	EXREME WARE
7	PREUNIVERSITARIO WILLIAM SIDIS	37	ESTACION DE SERVICIO SUR ONG DANIELLE
8	PRODENTAL	38	CHILDRENS FUND-ECUADOR
9	PAPELRECICL.C.	39	IMPORTADORA MERCANTIL
10	FARMACIA COMUNITARIA	40	EMPRESA 2: NARESA
11	GLOBSEG	41	EMPRESA 3: CHINA AUTO PARTS
12	SHULY - PORCELANICRON	42	HINO
13	ELECTRÓNICA MANTILLA	43	SAMMY MASAJES
14	CONSTRUCCIONES SÁNCHEZ E HIJOS	44	IP AMBATO
15	EMPRESA 3: IMPORTADORA KUMHO	45	TROFEOS ESPINOZA
16	HOSTERIA MANTELES	46	CHIC BROSTER
17	HOSTAL CASA DEL VALLE	47	COORPA
18	APPOL SERVICES	48	AMBAGRO
19	CAPACITACIONES INTERLAB LABORATORIO CLINICO	49	QUÍMICOS PARA PRODUCTOS LÁCTEOS
20	ISAAC NEWTON PREUNIVERSITARIO	50	RESTAURANT A FUEGO LENTO
21	SERVICIOS ELÉCTRICOS NAVCAS CIA. LTDA	51	LABORATORIO CLÍNICO CENTRAL
22	ESU CATERING	52	MEMORY'S STUDIO
23	SIDEPRO S.A.	53	VISPRIN CIA. LTDA
24	HELADOS TATUS	54	SETH S.A
25	CHOCOLATES D' MANUEL	55	RESTAURANTE "MORENA"
26	ACATIP TRANSPORTE DE PASAJEROS	56	RESTAURANTE "DOBLE FILO"
27	HOTEL SAHARA	57	CORPOAMBATO
28	AUTO TOTAL	58	HOSTAL SAN PEDRITO DE PELILEO
29	FRENOS Y EMBRAGUES "PALCA"	59	LAVANDERIA MAGIC'S DE PELILEO
30		60	COOPERATIVA 22 DE JULIO DE TRANSPORTE

TABLA III  
PREGUNTAS Y RESPUESTAS DE LA ENTREVISTA.

Nº	PREGUNTA	INDUSTRI A		SERVICIO S	
		SI	NO	SI	NO
1	¿Sabe usted lo que es la filosofía Lean?	63%	37%	54%	46%
2	¿Conoce usted lo que significa la reducción de desperdicios?	75%	25%	80%	20%
3	¿Está usted de acuerdo con la sobreproducción?	59%	41%	92%	8%
4	¿Conoce usted el significado de producción o distribución bajo pedido?	77%	23%	91%	9%
5	¿Conoce usted la importancia de la distribución por áreas de trabajo?	95%	5%	96%	4%
6	¿Usted ha aplicado la producción o distribución Just in time?	80%	20%	86%	14%
7	¿Ha aplicado alguna vez la técnica SMED?	48%	52%	57%	43%
8	¿Aplica usted métodos de prevención de errores?	88%	12%	89%	11%
9	¿Su empresa aplica permanentemente la mejora continua?	93%	7%	93%	7%
<b>PROMEDIO:</b>		<b>75%</b>	<b>25%</b>	<b>82%</b>	<b>18%</b>

## REFERENCIAS

- [1] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA, USA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [2] El Comercio. "El ejemplo de Ambato y Tungurahua", *El Comercio*. [En línea]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/opinion/ejemplo-ambato-tungurahua-opinion-produccion.html>. [Accedido: 30-abr-2018].
- [3] J. P. Womack, D. T. Jones, y D. Roos, "La máquina que cambió el mundo" *La historia de la Producción Lean, el arma secreta de Toyota que revolucionó la industria mundial del automóvil*. 1era ed, Barcelona, España, Profit Editorial, 2017
- [4] H. P. Díaz, O. G. S. Rivera, y J. A. G. Guerra, "Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción", vol. 11, n.o 1, pp. 32–53, 2014.
- [5] A. Toledano de Diego, N. Mañes Sierra, y S. J. García, "Las claves del éxito de Toyota". LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas, *Cuad. Gest.*, vol. 9, n.o 2, 2009.
- [6] L. Padilla, "Lean manufacturing manufactura esbelta/ágil", *Rev. Electrónica Ing. Prim.* ISSN, vol. 2076, p. 3166, 2010
- [7] G. Maldonado Villalva, "Herramientas y técnicas lean manufacturing en sistemas de producción y calidad", 2008.
- [8] D. T. Jones y J. P. Womack, *Lean Thinking "Cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los despilfarros y crear valor en la empresa."* Grupo Planeta Spain, 2012.
- [9] F. E. Meyers, "Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales." Pearson Educación, 2006
- [10] F. González Correa, "Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas", *RAITES Antes Panor. Adm.*, vol. 1, n.o 2, pp. 85–112, 2007
- [11] M. F. S. Barraza y J. Á. M. Dávila, "Encontrando al Kaizen: Un análisis teórico de la Mejora Continua", *Pecvnia Rev. Fac. Cienc. Económicas Empres. Univ. Ón*, n.o 7, pp. 285–311, 2008.
- [12] M. García, C. Quispe, y L. Ráez, "Mejora continua de la calidad en los procesos", *Ind. Data*, vol. 6, n.o 1, 2003
- [13] A. G. Elizondo, "Kaizen, una mejora continua", *Cienc. UANL*, vol. 8, n.o 3, p. 330, 2005
- [14] E. Infante Díaz, E. delaCruz, y D. Alexander, "Propuesta de mejoramiento de la productividad de la línea de camisetas interiores en una empresa de confecciones por medio de la aplicación de herramientas lean manufacturing", *Bibl. USB Cali T6585 143p CD-ROM*, 2013

# Gastronomía tradicional: la cocina de los páramos, la sazón del chagra del cantón Mejía

Cristina Nasimba, Joffre Guanoluisa

Carrera de Ingeniería en Administración Turística y Hotelera, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión  
Latacunga, Latacunga, Ecuador  
cmnasimba@espe.edu.ec, jiguanoluisa@espe.edu.ec

**Resumen**—El cantón Mejía posee un paisaje único lleno de montañas, valles, glaciares, rutas y circuitos empapados de cultura, tradición y gastronomía. El objetivo de este estudio es relacionar la gastronomía tradicional del cantón, sus principios de cocción y sazón con la oferta gastronómica local de las haciendas turísticas y la actividad ecuestre en general. Por medio del análisis teórico bibliográfico, se exponen una serie de elementos, partiendo del estudio de la cocina tradicional ecuatoriana, los ingredientes y cocina de los páramos, así como la influencia de la cultura chagra en la cocción de los alimentos propios de la zona, además, se presentan lineamientos generales para comprender la relación existente entre la gastronomía local y el desarrollo turístico. Mejía cuenta con un patrimonio cultural gastronómico importante, platos que datan de la época prehispánica, colonial, republicana y contemporánea, sin embargo, los establecimientos que se dedican a la actividad ecuestre deben procurar aumentar el porcentaje de alimentos y platillos locales en relación con la oferta gastronómica internacional, considerando que una de las motivaciones principales de los turistas que visitan zonas rurales, es el deleite de su gastronomía.

**Palabras Claves**— Gastronomía tradicional, Cocina, Chagra, Haciendas turísticas, Turismo ecuestre.

**Abstract**—Mejía has a unique landscape full of mountains, valleys, glaciers, trails and circuits steeped in culture, tradition and gastronomy. The aim of this study is to relate the traditional cuisine of the canton, its cooking principles and seasoning with the local gastronomic offer of the tourist estates and equestrian activity in general. Through the theoretical and bibliographic analysis, a series of elements are presented, starting from the study of traditional Ecuadorian cuisine, ingredients and cuisine of the moors, as well as the influence of the Chagra culture on the cooking of foods typical of the area, in addition, general guidelines are presented to understand the relationship between local gastronomy and tourism development. Mejía has an important gastronomic cultural heritage, dishes that date back to the pre-Hispanic, colonial, republican and contemporary periods, however, the establishments that dedicate themselves to equestrian activity must try to increase the percentage of food and local dishes in relation to the international gastronomic offer, considering that one of the main motivations of tourists who visit rural areas is the delight of its gastronomy.

**Keywords**— Traditional gastronomy, Cooking, Chagra, Tourism farms, Equestrian tourism.

## I. INTRODUCCIÓN

Un producto de turismo ecuestre es aquel en el que la actividad ecuestre es la principal motivación, implicando al menos tres factores para su efectivo desarrollo: los caminos e infraestructura, las actividades ecuestres y el alojamiento junto con la alimentación. El artículo presenta la relación existente entre el turismo ecuestre y la cocina tradicional. Por consiguiente, el objetivo de este estudio es relacionar la

gastronomía tradicional del cantón, sus principios de cocción y sazón con su oferta gastronómica, como aporte en el desarrollo del turismo ecuestre.

En relación directa con el objetivo de estudio, los autores citados mencionan que existe una simbiosis entre el turismo, cualquiera sea su modalidad y la gastronomía, más allá de verla como una necesidad biológica que debe ser suplida durante su estancia, la cocina en muchas ocasiones es la motivación principal de viaje que tienen los turistas hacia los centros de turismo rural. Por medio del análisis teórico bibliográfico se exponen una serie de elementos; partiendo del estudio de la cocina tradicional ecuatoriana, los ingredientes y cocina de los páramos, así como la influencia de la cultura chagra en la cocción de los alimentos propios de la zona, además, se presentan lineamientos generales para comprender la relación existente entre la gastronomía local y el desarrollo turístico.

## II. GASTRONOMÍA TRADICIONAL DEL CANTÓN MEJÍA

La gastronomía, el folclore, la cultura y el turismo son las áreas de especialidad con las que Mejía busca posicionarse como un destino de viaje, tanto para turistas nacionales como para extranjeros. En este acápite se presenta la gastronomía del cantón, una cocina fresca, variada, diferenciada por los sabores locales y los productos frescos, una cocina que a decir del Ing. Carlos Gutiérrez, Director de Desarrollo Económico y Productivo del Cantón Mejía en entrevista realizada a un diario nacional, cita: “la frescura de los ingredientes que se cultivan allí dan el toque diferenciador a estos platillos (...) la materia prima, los productos frescos no tienen una larga cadena de comercialización, sino que son productos frescos” (Veintimilla, 2017)

En todo el territorio se pueden encontrar platos tradicionales como el hornado acompañado de mote y tortillas, las humitas, el caldo de patas, el yahuarlocro, la chicha, el loco de papas, las papas con cuero, la fritada, el librilla, entre otros, así como elementos que son parte de la cultura alimentaria del sector, como, el agua mineral, los quesos y el yogurt. En la gastronomía tradicional del cantón Mejía resaltan dos factores primordiales, poco conocidos, pero que sin duda aportan indudablemente a su patrimonio alimentario local, por una parte, la cocina que se desarrolla en los páramos y por otra, la sazón del chagra.

### A. La cocina de los páramos.

En los páramos del cantón Mejía se ha desarrollado una cocina muy poco conocida por los turistas, pero bien salvaguardada por los valientes vaqueros andinos o chagras; una fusión de la flora y la fauna endémica han dado como

resultado los elementos de la cocina chagra o de páramo, entre los productos que se encuentran están: el mortíño, los mellocos, las mashuas, las ocas y variedades de papas, que en simbiosis perfecta con la suculenta, delicada y exótica carne del cuy, de llama, de conejo, de tórtola o venado andino, han creado platos tan exquisitos y sencillos como la liebre o conejo de monte braseados al fuego vivo, o un estofado de carne de llama con paico para mejorar la memoria. Si bien es cierto, los páramos de Mejía son espacios perfectos para el desarrollo del turismo de aventura, lo que falta es dar a conocer es su comida. (Gallardo, 2016). Comidas suculentas y sustanciosas cargadas de sabiduría culinaria ancestral, elaboradas con ingredientes propios, cocidas al fuego vivo que ofrecen los leños, con utensilios sencillos como: cazuelas y tiestos de barro, hornos de leña, mama cucharas, pailas de bronce, entre otros, con métodos y técnicas de preparación y conservación de alimentos rústicos, pero que juntos crean el verdadero sabor de los andes y páramos ecuatorianos.

### B. La sazón del chagra

Hablar de la cocina de Mejía, es hablar sin duda del chagra, el personaje ícono de los páramos andinos y símbolo del mestizaje. La palabra chagra, viene de chacra (terreno donde se cultiva maíz). Entre las actividades sobresalientes de este vaquero de los andes, como también se le denomina, están el diario convivir con las montañas, con los gélidos vientos, el sol y la suave lluvia propia del páramo. Dentro de la cultura chagra, se considera un arte el manejo y doma del caballo, su fiel acompañante. (Baño, 2014). Su actual vestimenta se caracteriza por una camisa, poncho, sombrero de paño, bufanda de lana de borrego y zamarro. (Zurita Calispa, 2011, p. 6). Es bien conocido que el cantón posee una tradición gastronómica, principalmente en la preparación de platos chagras, como por ejemplo el cocinado chacarero que contiene: papa chaucha, choclo, habas mellocos y queso. También se prepara lechón adobado con ajo moldo, manteca de color, pimienta y sal en grano. Además, dentro de las costumbres gastronómicas del chagra se encuentra la pachamanca, que a decir de Baño (2014):

*“Consiste en cavar un hueco en la tierra y recubrir sus paredes internas con piedras, dejando un espacio adecuado para los alimentos. Allí se ponen brasas y cuando las piedras están suficientemente calientes se colocan mellocos, habas y carne de venado sobre hojas de achira, se les tapa para que se cuezan. (p. 14)”*

La sazón del chagra, o la habilidad que tiene éste para cocinar, se fundamenta en la utilización de condimentos naturales, de productos endémicos, de técnicas de cocción tradicionales e incluso prehispánicas como el asado a fuego directo, de la utilización de hornos de leña que es uno de los secretos que le ha dado renombre a su cocina, de artefactos y utensilios de barro, pero sobre todo de respeto a la pachamama.

### C. Platos emblemáticos de la cocina del Cantón Mejía

Ya se han citado algunos platos que forman parte del abanico culinario del cantón Mejía, sin embargo, es necesario en estas líneas exponer más específicamente acerca de los mismos, de sus platos emblemáticos o

representativos, esto con la finalidad de mostrar la riqueza gastronómica a los turistas nacionales y extranjeros, sentando así las bases para el fomento a futuro de un turismo gastronómico con identidad. A manera general, en todo el territorio se encuentran:

*“El cocinado chacarero, el cuy, el locro, la trucha, el hornado, los quimbolitos, el caldo de gallina y los helados de crema (...) el runaicho, un plato cocido cuyo ingrediente principal es el cuy asado al carbón, acompañado de salsa de ají macho con maní, papas y ensalada. Este plato era uno de los que comían los antepasados después de las siembras, para recuperar energías (...) otros de los platillos que se rescatan son la polla ronca (colada de máchica con papas, col y costilla de res), cariucho (cuy con papas, salsa con plátano de seda), pitimuchas (tortillas de maíz con queso hechas en tiesto), entre otros.”* (Utreras Juan Pablo, 2012).

No puede existir una cocina suntuosa y exquisita sin ingredientes de calidad con los cuales prepararla. En la elaboración de los manjares de la cocina tradicional de Mejía, se requiere de ingredientes frescos, y que mejor que aquellos que la misma tierra ofrece, pues como se mencionó anteriormente el cantón es un referente agrícola y ganadero de la serranía ecuatoriana, además en su cocina predominan productos representativos de la zona. Entre los principales productos agrícolas se tiene a la papa, brócoli, alcachofa, cebada, maíz, trigo, entre otros; de acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mejía (2013), menciona que los productos como: “el maíz, papa, quinua, trigo, tubérculos, hortalizas, legumbres, banano, naranjilla, café, limón, naranja, mandarina, caña de azúcar (cultivados en Tandapi) son para el mercado interno. En cuanto a la producción pecuaria, el cantón se caracteriza por ser lechero” (pp. 45, 46). En cuanto a productos elaborados en base a leche, se tienen al queso, yogurt, manjar, entre otros. Una de las plantas representativas de los páramos es el zunfo, con el cual los *chagras* preparan una bebida para las tardes y noches gélidas.

## III. CONCLUSIONES

El turismo ecuestre es una actividad turística con gran potencial en el Cantón Mejía, así lo ha demostrado durante estos más de 20 años de existencia tácita, a pesar de su reciente reconocimiento formal como destino mundial de turismo ecuestre por la OMTE es una actividad que la vienen realizando algunas haciendas, hostales, hosterías, hoteles y lodges, con grandes resultados.

El cantón es rico en productos agrícolas y ganaderos, poseedor de una abundante y exquisita gastronomía tradicional, cuyo potencial puede llevar al cantón a ser conocido nacional e internacionalmente, no solo por el Paseo del Chagra sino por su cocina. Cuenta con un patrimonio cultural gastronómico importante, platos que datan de la época prehispánica, colonial, republicana y contemporánea.

Los diferentes establecimientos que se dedican a la actividad ecuestre deberían procurar aumentar el porcentaje de alimentos y platillos locales en relación con la oferta gastronómica internacional. Considerar que una de las motivaciones principales de los turistas que visitan zonas rurales, es el deleite de su gastronomía. Por ende, el generar

políticas a nivel cantonal para su implementación en los establecimientos del cantón es una tarea primordial.

A decir de Ricolfe, Merino, Marzo, Ferrandis, & Rodríguez (2008): “la gastronomía tiene mucha o bastante más importancia que otros motivos (por ejemplo, el clima) (...) turistas visitarían un destino turístico exclusivamente por su gastronomía. Ello confirma la importancia que tiene la gastronomía en la elección de un destino turístico”.

#### REFERENCIAS

- [1] Arellano López, J. G. (2014). Cocina tradicional andina: epistemologías femeninas y sistemas bioculturales en la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador: Flaco Ecuador. Recuperado a partir de <http://67.192.84.248:8080/handle/10469/7462>
- [2] Baño Carolina. (2014). MANIFESTACIONES CULTURALES DEL ECUADOR ANÁLISIS CRITICO DEL CHAGRA DE LA SIERRA ECUATORIANA. Recuperado a partir de <http://www.dspace.cordillera.edu.ec:8080/xmlui/handle/123456789/864>
- [3] Díez Daniel. (2011). La planificación estratégica en espacios turísticos de interior: Claves para el diseño y formulación de estrategias competitivas. Recuperado a partir de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/18097>
- [4] EQUUSTUR. (s. f.). Manual Europeo de Turismo Ecuestre.
- [5] Gallardo Carlos. (2016, noviembre 22). La mágica cocina de los páramos. Recuperado 8 de octubre de 2017, a partir de <http://www.mediospublicos.ec/noticias/turismo/la-magica-cocina-de-los-paramos>
- [6] Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mejía (2013). (s. f.). Recuperado a partir de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/PICHINCHA/MEJIA/IEE/MEMORIA\\_TECNICA/mt\\_mejia\\_socioeconomico.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/MEJIA/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_mejia_socioeconomico.pdf)
- [7] Guerra Salgado, D. J. (2014). La gastronomía tradicional y su incidencia en el desarrollo turístico de la parroquia Atocha-Ficoa. Recuperado a partir de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/6761>
- [8] Jácome Maribel. (2017). Análisis de los procesos y procedimientos en la elaboración de platos emblemáticos en el cantón Mejía, para generar un atlas que contribuya a la salvaguardia del patrimonio alimentario. Recuperado a partir de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/13185>
- [9] López, L. S. M., Castillo, S. E. M., & Rodríguez, M. B. (2016). Tendencias gastronómicas. Recuperado el. Recuperado a partir de [http://web.uaemex.mx/Culinaria/ocho\\_ne/PDF%20finales%208/Tendencias\\_gastronomicas.pdf](http://web.uaemex.mx/Culinaria/ocho_ne/PDF%20finales%208/Tendencias_gastronomicas.pdf)
- [10] Luque Ana, M. (2006). Las rutas ecuestres como actividad deportiva, recreativa y turística.
- [11] Montecinos, A. (2012). Planificación del Turismo Gastronómico Sostenible: servicios, rutas, productos y destinos. México: Centro Empresarial Gastronómico Hotelero SC CEGAHO.
- [12] Pazos Carrillo, S. (2011). Permanencias culturales y culinarias ecuatorianas en el Manual de Cocina de Juan Pablo Sanz (Quito, 1850-1860) y en el Tratado de Cocina de Adolfo Gehin (Quito, 1897). Revista Qualitas, (2). Recuperado a partir de <https://works.bepress.com/patricio-ynez/39/download/>
- [13] Pazos, Julio. (2008). El sabor de la memoria: historia de la cocina quiteña (Vol. 19). FONSA, Fondo del Salvamento del Patrimonio Cultural de Quito.
- [14] Pessio Valentina. (2013). Planificación del producto turístico ecuestre. Recuperado a partir de [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=Planificaci%C3%B3n+del+producto+tur%C3%ADstico+ecuestre&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Planificaci%C3%B3n+del+producto+tur%C3%ADstico+ecuestre&btnG=)
- [15] Rabat, F., & Villacampa, O. (2010). Diseño de productos turísticos y comercialización en turismo ecuestre. Barcelona: Equustur. Recuperado a partir de [http://www.equustur.net/perfil/equustur/recursos/recursos/equustur\\_fo rmacion\\_producto\\_tur\\_stico.pdf](http://www.equustur.net/perfil/equustur/recursos/recursos/equustur_fo rmacion_producto_tur_stico.pdf)
- [16] Ricolfe, J. S. C., Merino, B. R., Marzo, S. V., Ferrandis, M. T. R., & Rodríguez, C. M. (2008). Actitud hacia la gastronomía local de los turistas: dimensiones y segmentación de mercado. PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural, 6, 2.
- [17] Utreras Juan Pablo. (2012, julio 15). Gastronomía y folclor, otros atractivos del cantón Mejía. Recuperado 8 de octubre de 2017, a partir de <http://www.eluniverso.com/2012/07/16/1/1447/gastronomia-folclor-otros-atractivos-canton-mejia.html>
- [18] Vásconez, P. M., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. Botánica económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Recuperado a partir de <http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2006.pdf>
- [19] Veintimilla Ana. (2017). El cantón Mejía ofrece su ruta de sabores en 13 restaurantes. Recuperado 8 de octubre de 2017, a partir de <http://www.elcomercio.com/sabores/canton-mejia-ruta-sabores-restaurantes.html>
- [20] Zurita Calispa, R. E. (2011). Diseño de la Ruta Turística del Chagra para el cantón Mejía, provincia de Pichincha (B.S. thesis). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado a partir de <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/575>

# Uso de una aplicación social como complemento a la enseñanza del francés como lengua extranjera

Alicia M. C. Ramos

Departamento de Didáctica de los idiomas, Facultad de letras, Universidad de le Mans, Francia.  
alicia.ramos@hotmail.fr

**Resumen**—Este estudio de caso presenta la experimentación de una aplicación social WhatsApp en la enseñanza del idioma francés a un grupo de estudiantes ecuatorianos de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) en Ecuador. A través del análisis de una secuencia pedagógica que propone cursos en presencial y tareas a distancia con la aplicación, se trató mostrar las ventajas y los límites de aquella herramienta para la adquisición de las competencias comunicativas.

**Palabras Claves**—Aplicación social, WhatsApp, dispositivo híbrido, tecnologías de la información y comunicación (TIC), web 2.0.

**Abstract**—This case study presents the experimentation of a social application WhatsApp in the teaching of French language to a group of Ecuadorian students from the Technical University of Cotopaxi in Latacunga. Through the analysis of a pedagogical sequence that offers courses in classroom and online tasks with the application, it was tried to show the advantages and limits of that tool for the acquisition of communicative competences.

**Keywords**— blended learning, WhatsApp, information and communication technologies (ICTS), social App, web 2.0.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un interés creciente por las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC), gracias a aquellas, los estudiantes pueden explorar maneras más variadas de aprender un idioma extranjero que en un aula de clase tradicional. Varios estudios sobre el web 2.0 mostraron que las TIC generan motivación, interés y mayor participación por parte de los estudiantes [1]. Sin embargo, la investigación ha tendido a centrarse en las redes sociales o plataformas de aprendizaje más que en las aplicaciones utilizadas cotidianamente.

En efecto, se observó varias dificultades en las clases de francés, hay una tasa muy alta de ausentismo de los estudiantes, algunos viven en otra ciudad o provincia, muchos ya tienen una familia y otros trabajan fuera de la universidad, lo que a veces hace que sea difícil viajar a la universidad. Los estudiantes generalmente tienen un buen dominio de las TIC, utilizan las herramientas básicas, la plataforma Moodle de la universidad en la mayoría de los temas, sin embargo, a menudo utilizan Internet para sus tareas lo que genera un gran problema de plagio. También, los estudiantes no siempre tienen motivación, porque la mayoría elige primero el inglés, luego el francés un poco por defecto. Además, no son realmente autónomos, esperan apoyo muy fuerte de los docentes en todas las materias.

El propósito de este estudio es examinar y analizar la pertinencia de una propuesta de secuencia pedagógica en un dispositivo híbrido enseñanza-aprendizaje del idioma francés con una aplicación social, que permite un

intercambio por chat, llamadas, envío de videos, audios, imágenes y documentos.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la primera sección de este artículo examinará el método utilizado para la experimentación. La segunda parte se destacará los resultados del experimento, los aspectos positivos y negativos desde el punto de vista del alumno y el profesor y se propondrá mejoras al dispositivo. Por último, se presentará las conclusiones más relevantes.

## II. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de la población de la UTC. Se hizo encuestas en línea a los docentes de idiomas y estudiantes afín de ver sus usos de las TIC, de varias redes sociales así que su interés a utilizar WhatsApp a fines académicas y las ventajas e inconvenientes que habría. La mayoría de los encuestados posee un Smartphone y tiene acceso a internet. La aplicación más utilizada todos los días conjuntamente por los profesores y alumnos es WhatsApp. De ambos lados, hubo un gran entusiasmo en cuanto a recurrir a una aplicación para enseñar-aprender un idioma.

Se seleccionó un grupo de 25 estudiantes de francés de nivel A2 del marco común de referencia de los idiomas [2] y se decidió experimentar la integración de WhatsApp como un soporte a los cursos en presencial, con actividades a distancia antes y después de la clase, para probar la viabilidad de dicho soporte en un contexto institucional.

El experimento se desarrolló en una secuencia pedagogía con un proyecto final. Los objetivos principales eran abastecer un apoyo y un marco pedagógico, permitiendo brindar a los estudiantes una mejor ayuda y darles más libertad en el manejo del tiempo. Esta libertad asociada con un acompañamiento tiene como objetivo que los estudiantes sean más autónomos haciéndolos maestros de su aprendizaje. Lo que permite implementar cursos interactivos más atractivos promoviendo interacciones sincrónicas y asincrónicas, más vivas y naturales entre los locutores. Asimismo, se piensa aliviar del problema del ausentismo de los estudiantes y aumentar su motivación para el aprendizaje del idioma francés.

En las clases presenciales, se utilizó el enfoque desde la acción y comunicación, se utilizó la pedagogía de transmisión para los puntos de gramática y algunas actividades de WhatsApp, la pedagogía colaborativa y también tutorial que proporciona una asistencia individualizada a los estudiantes, les da maneras de trabajar de forma independiente. Para seguir la progresión y adquisición de las habilidades de los estudiantes, el profesor se comunicó en privado y público, organizó chats y grupos en línea. Ve su última conexión, si están en línea y si vieron

su mensaje. Por lo tanto, pudo acompañarles más individualmente, revivir a los que no participan activamente. Durante las clases presenciales, dedicó unos minutos al comienzo o final de la clase para identificar sus dificultades y establecer un vínculo entre el aprendizaje presencial y a distancia. Los estudiantes tuvieron igualmente la oportunidad de pedir ayuda al asistente de idiomas que ofrecía tutoría y horas de conversación, era una oportunidad para que practiquen sus habilidades y tengan acceso al idioma nativo.

El docente evaluaba a los estudiantes de forma sumativa, también los evalúa de forma formativa durante el semestre a fin de proporcionar información al docente y a los alumnos sobre lo que está adquirido y que queda por adquirir. Así, utiliza diferentes medios de evaluación de acuerdo con el contenido y habilidades evaluadas, en presencial y a distancia. Se evaluaba individualmente y por grupo para verificar que se hayan alcanzado los objetivos de aprendizaje. Con respecto a la evaluación de la tarea final, los estudiantes se autoevaluaron antes de regresar a su proyecto y durante la última sesión, se planteó dedicar aproximadamente dos horas a la visualización y retroalimentación en grupos.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se describió el experimento, a continuación, se resaltarán los aportes de WhatsApp y se expondrá sus límites desde el punto de vista del docente y de los alumnos así que se propondrá unas mejoras del dispositivo de enseñanza-aprendizaje.

Se observó varias ventajas: el profesor puede crear actividades audio y enviar directamente resúmenes de cursos e incluso tareas a los estudiantes que han estado ausentes, así que mantener el contacto fuera y recordarles las tareas regularmente. De igual manera, se puede asegurar de que los estudiantes tengan el vocabulario correctamente escrito, los errores de copia son muy comunes, lo que tal vez se debe a la falta de atención o lectura que tienen en su lengua materna.

Para el docente es más cómodo evaluar el hilo de WhatsApp que en un sitio web lambda. Puede usar el motor de búsqueda incorporado en WhatsApp para buscar palabras, frases o participantes. Los mensajes de una página web son más difíciles de encontrar, los estudiantes no están acostumbrados a leer el lenguaje abreviado y los errores ortográficos de los usuarios nativos a veces complican la comprensión. También es más difícil evaluar la capacidad de los estudiantes para integrarse en los códigos sociales del sitio web. La aplicación es adaptable a casi todas las plataformas, se utilizó mucho WhatsApp Web, parecía más rápido y eficiente para administrar los grupos y correcciones. Además, los estudiantes tardan menos en la entrega de las tareas en comparación con los deberes en papel. Hubo un ahorro de tiempo para la corrección, quizás debido a la función de búsqueda de WhatsApp y a las respuestas eran casi simultáneas, lo que permite una gran reactividad de los locutores.

En general, los estudiantes fueron motivados por la experiencia, piensan que WhatsApp es una buena forma de aprender y que las actividades eran divertidas. Es una forma de llegar a los estudiantes con una tecnología que conocen perfectamente, como es una herramienta natural para ellos,

no hubo realmente problema de adaptación. La aplicación es multicanal, gracias a la combinación de varias herramientas, promueve la actualización, el desarrollo de las cuatro habilidades. Les da la oportunidad de tener contacto continuo con el francés, reinvertir sus saberes y el conocimiento visto en clase.

La mayoría dicen que experimentaron una mejora en su expresión/comprensión escrita y comprensión oral. Se sintieron menos ansiosos, ya que no hay un contacto cara a cara directo y casi la mitad de los estudiantes dijeron que mejoraron su espontaneidad. De hecho, trabajaron individualmente, con plazos más cortos, lo que contribuye a desarrollar su dinamismo y capacidad de respuesta. Beneficiaban de una mayor autonomía, permitiéndoles trabajar a su manera y propio ritmo, respetando los plazos prescritos, con un propósito concreto. Queda por ver a mediano y largo plazo si se han vuelto más autónomos.

Apreciaron el uso de la aplicación para la diversidad de interacciones entre pares fuera del aula, ya que en la clase no pueden compartir con todos. Facilita la comunicación en tiempo real y refuerza la sensación de pertenencia al grupo.

Guichon [3] afirma que "las aplicaciones que califican como Web 2.0 promueven la participación y conducen a la colaboración e interacción entre los estudiantes", lo que las hace aptas para el aprendizaje de idiomas a distancia e híbrido. Los estudiantes son actores, co-constructores de la discusión, pueden usar signos no verbales, promoviendo la colaboración. Así, pueden haber tenido la impresión de tener una comunicación más cercana a su forma de interactuar a diario, porque WhatsApp es una herramienta muy popular en Ecuador.

La encuesta mostró que los estudiantes disfrutaron trabajar en temas variados y en nuevos medios. Las actividades más motivadoras durante la experiencia eran generalmente las tareas que se deben poner en escena, se invirtieron personalmente en el afiche del evento y en el video promocional, incluso las personas que no solían participar. En su experiencia de aprendizaje L2 con redes sociales, E. Lloyd [4] muestra que los estudiantes tenían una fuerte motivación para comunicarse con los demás. Aquellos que eran los más extrovertidos se sentían más cómodos con las conversaciones verbales sincrónicas en el chat de voz, los más tímidos usaban más conversaciones escritas sincrónicas, lo que generalmente favorece el desarrollo de las habilidades de L2.

A pesar de todas las ventajas, el uso de WhatsApp también tenía desventajas. Es un poco complicado para el profesor compartir su número de teléfono personal, puede crear problemas éticos. De manera similar, algunas personas pueden usar números de estudiantes para fines inapropiados. Al principio el tiempo de planificación es más importante con WhatsApp, a veces hubo problemas con Internet para enviar o recibir archivos pesados. También cuando la persona que envió un documento lo eliminaba de su teléfono, aquello se eliminaba en el grupo y ya no era accesible. El flujo de mensajes fue irregular, así hubo dificultades para gestionar intervenciones. En el grupo principal de chat saturado de mensajes, se hizo referencias o se nombró al alumno que estaba escribiendo para responder. Algunos usaron traductores automáticos y copiaron la tarea de los demás. Las herramientas de las redes sociales son muy manejables y permiten a sus usuarios participar de

forma activa y enriquecedora, sin embargo, las tareas propuestas permanecen en escenarios pedagógicos bien definidos, las interacciones no son naturales y el comportamiento de los alumnos está muy influenciado por la presencia del profesor [5]. De hecho, la idea inicial fue dar una cierta inmersión lingüística a los estudiantes, pero la distancia material dificultaba la comunicación. Se trató establecer una relación más igualitaria y horizontal en los intercambios de grupos de WhatsApp, manteniendo el docente como un facilitador. Los estudiantes fueron más reactivos que proactivos, necesitaron un marco pedagógico fuerte para participar, lo que distorsionó las interacciones. Situación que no fue ayudada por las ausencias y cancelaciones de cursos debido a los diferentes eventos organizados por la institución. Cuando se acercaba el final del semestre, se adaptó el proyecto al calendario universitario. La tarea final, tenía que estar preparada en WhatsApp con grupos, sin embargo, se tuvo que trabajar en presencial y se realizó la tarea final en el laboratorio de idiomas con una conexión a Internet. Los objetivos de las actividades y la progresión permanecieron idénticos, solo se modificó la modalidad. El profesor acompañó a los grupos, les proporcionó recursos y asistencia técnica. Este cambio no permitió evaluar en detalle sus intervenciones individuales, como lo hubiera hecho con los subgrupos de la aplicación.

En el grupo test, había estudiantes que no tenían el equipo adecuado, era necesario adaptarse para que pudieran participar casi de la misma manera que los con la aplicación, así se usó el correo electrónico de la universidad para trabajar en las actividades. Fue más difícil con aquellos, los intercambios fueron más lentos y limitados, tuvieron más retraso en la realización de tareas. El trabajo colaborativo era menos fácil, los correos electrónicos agrupados eran menos legibles que los mensajes de WhatsApp. Así, se sintieron excluidos del grupo-clase. Además de estos estudiantes, el cuestionario post-experimentación muestra dificultades técnicas, como problemas con el uso de tildes en el teclado, acceso irregular a Internet para enviar videos que son demasiado largos. Inicialmente, algunos alumnos tenían dificultades para usar solo WhatsApp, hubo el caso de algunos que respondieron en una hoja, tomaron una foto para enviar más tarde en el grupo o por correo electrónico. Es posible que aquellos estuvieran preocupados por este nuevo enfoque didáctico, permanecieron en una enseñanza tradicional que seguramente conocieron desde muy temprano. Algunos tuvieron un comportamiento diferente en las interacciones a distancia en comparación con el curso presencial. Escribir en el grupo intimidó un poco e inhibió a varios. A menudo se tuvo que designarlos para participar en la conversación, no solicitaban explicaciones, incluso por mensaje personal. Debería representar una toma de riesgos para ellos en relación con el grupo y el docente. A veces había mucho tiempo entre el mensaje y una respuesta, ya que a menudo tomaban tiempo para prepararse, esta discrepancia entre el envío de un mensaje y su respuesta probablemente contribuyó que las discusiones fueran menos fluidas. Según Péliissier y Qotb [6], la identidad digital es importante en una red social, es la forma en que los demás nos ven. Por lo tanto, los usuarios deben proporcionar información para utilizar estos sitios, a veces pueden hacerlos muy personales. Esta personalización de los medios acerca la persona física a la digital. En WhatsApp, esta

identidad digital es limitada, los usuarios pueden poner una foto de perfil, de estado, subtítulos visibles para todos los usuarios, cambiar la fuente y el fondo de pantalla de los chats. Dado que los alumnos de la experiencia ya se conocen entre sí en persona, no es necesariamente perturbador, pero no pueden construirse una identidad ficticia que les permitiría soltarse más.

Durante el experimento, los estudiantes no beneficiaron mucho de las sesiones de ayuda y tutoría que estaban disponibles. Sería posible mejorar el apoyo de los estudiantes mediante la organización de sesiones de tutoría en clase o incluso en la aplicación con un sistema de valorización de las participaciones. El profesor podría delegar algunas responsabilidades, incluir al asistente como facilitador y/o corrector de actividades. Sería interesante ofrecer sesiones de interacción en tiempo real para que puedan tener conversaciones más auténticas, más interactivas permitiéndoles improvisar. Se haría llamadas a través de la aplicación donde se implementaría juegos de rol con el profesor y/o asistente, incluso con otros nativos. Podríamos utilizar los nativos que ya están en Ecuador o aprovechar de los convenios entre la UTC e instituciones francesas. Dados los problemas éticos encontrados, sería interesante discutir con los alumnos los diferentes usos de WhatsApp y las reglas de buena conducta, para anticipar cualquier problema y construir un contrato de clase. Incluiría los compromisos de los alumnos y el docente en el aprendizaje presencial y a distancia. Para superar el problema de documentos eliminados y la sobrecarga de memoria de los teléfonos, se podría completar el uso de la aplicación con Google Drive o con DropBox.

El enfoque basado en tareas de acción y comunicación funcionó bien, tener un proyecto concreto que conozcan antes les ayuda a visualizar mejor sus objetivos y comprender mejor la utilidad de los conocimientos que estudian. Sin embargo, la mayoría de las tareas propuestas no fueron lo suficientemente orientadas hacia afuera, se debería proponer actividades que permiten que se abran al mundo comunicándose directamente con nativos.

Durante el experimento, las correcciones eran con letras mayúsculas o poniendo en negrita las partes corregidas. Un punto de mejora podría ser la forma de corregir, capaz inventar un sistema de anotación legible, codificar las correcciones, para que los estudiantes puedan corregirse.

#### IV. CONCLUSIONES

La omnipresencia de las nuevas tecnologías en la vida cotidiana nos obliga a repensar nuestro enfoque pedagógico. Hemos mostrado algunas contribuciones de una aplicación social, así como sus límites en el aprendizaje de francés como lengua extranjera. Los estudiantes, en general, respondieron bien y fueron motivados por las diferentes tareas a las que estaban acostumbrados. De hecho, en Ecuador todavía privilegia el enfoque estructural, que incluye la memorización y ejercicios fuera de contexto para desarrollar la automatización. El docente mantiene un rol de transmisor de conocimiento y los alumnos son receptores, lo que provoca esta actitud reactiva y no proactiva. Debe recordarse que este experimento duró poco más de tres semanas, sería aconsejable hacer un estudio longitudinal para ver si, a largo plazo, se mantiene la motivación y si vemos una diferencia real de adquisición del francés en

estos estudiantes en comparación con los llamados cursos "clásicos". El acompañamiento fue fundamental para no perder a los alumnos en el camino, lo ideal sería finalmente llegar a una guía mínima. WhatsApp nos brinda una serie de ventajas que diversifican las estrategias de enseñanza-aprendizaje y ofrecen opciones de acción que son difíciles de encontrar en un curso presencial. Sin embargo, debemos tener en cuenta las dificultades encontradas durante este proyecto para que esta experiencia sea una alternativa relevante en la realidad de la clase.

#### AGRADECIMIENTOS

Parece apropiado terminar este artículo con agradecimiento a aquellos que me enseñaron mucho: antes que nada, a mi tutor, el Sr. Jean-François Bourdet de la Universidad le Mans, quien me acompañó con gran paciencia y pedagogía, su escucha y su consejo ayudaron a orientar mis pensamientos. Además, agradezco a todos los empleados de la universidad de Cotopaxi por la ayuda que me brindaron durante este año, por su acogida y su espíritu de equipo. Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que me asesoraron durante la redacción de este artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] P. Guillemet, "Les étudiants préfèrent Facebook," Distances et médiations des savoirs, Nov. 6, 2014. [Online]. Available: <http://journals.openedition.org/dms/762>, ,
- [2] Conseil de l'Europe, "Cadre européen commun de référence pour les langues - Apprendre," enseigner, évaluer. Paris : Didier 2001.
- [3] N. Guichon, "Vers l'intégration des TIC dans l'enseignement des langues," Paris: Didier, 2012, pp.14-38.
- [4] E. Lloyd, "Language Learners' "Willingness to Communicate" through Livemocha.com," vol. 15, no 1, Mar. 30, 2012. [Online]. Available : <http://journals.openedition.org/alsic/2437>,
- [5] C. Ollivier, "Approche interactionnelle et didactique invisible – Deux concepts pour la conception et la mise en œuvre de tâches sur le web social," vol. 15, no 1, Mar. 2012. [Online]. Available : <http://journals.openedition.org/alsic/2402> .
- [6] C. et Qotb H. Péliissier, "Réseaux sociaux et apprentissage des langues – Spécificités et rôles de l'utilisateur," vol. 15, no 2, Oct. 6, 2012. [Online]. Available: <http://journals.openedition.org/alsic/2513Ben>.

# Breve estudio académico de las Escuelas Iwias, soldados nativos de la Amazonía ecuatoriana

Klèver Antonio Bravo Calle, Ana Elizabeth Cobos Guerrero, Fanny Lucía Cevallos Ortega  
Departamento de Ciencias Administrativas y comercio, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
kabravo@espe.edu.ec, aecobos@espe.edu.ec, flcevallo@espe.edu.ec.

**Resumen**— El presente trabajo de investigación académica, forma parte de un proceso inicial de estudio de estos dos grupos indígenas de la Amazonía ecuatoriana, y que forman parte de un grupo de soldados élite del Ejército: quichua y shuar. El Estado tiene una deuda con estos soldados nativos, por el mismo hecho de que fueron los protagonistas principales en la guerra Ecuador – Perú, 1995; y que, hoy en día, representan la identidad de los pueblos aborígenes de la región; de igual manera, son los líderes en la protección de este espacio bendecido por la abundancia en flora y fauna.

**Palabras Claves**—Soldados, Amazonía, territorio, etnias.

**Abstract**—The following academic research work is part of an initial study process of two indigenous groups in the Ecuadorian Amazon who are also part of an elite group of army soldiers: the Quichua and the Shuar. The State has a debt with these native soldiers, due to the fact that they were the main protagonists in the Ecuador-Peru war in 1995, and that, nowadays, they represent the identity of the aboriginal peoples of the region. At the same time, they are the leaders in the protection of this area blessed by the abundance of flora and fauna.

**Keywords**— Soldiers, Amazon, territory, ethnic groups.

## I. INTRODUCCIÓN

La Escuela de Iwias fue fundada en el año 2008 (Libro de Relatoría Iwias, 2008), luego de varios años en los que estos soldados nativos formaban parte de los cuadros militares dispersos en territorio amazónico. Bajo este antecedente histórico, el presente artículo tiene por objetivo difundir la presencia de las etnias quichua y shuar como actores en las filas de la Escuela de Iwias, en el contexto de estudiantes de nivel superior (tecnología) de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

En el idioma nativo shuar, IWIAS significa “demonios de la selva” (Kowii, 2014), y con este nominativo nació la Escuela de Iwias. Previo a su creación, entre Ecuador y Perú se dieron dos confrontaciones bélicas en los años 1981 y 1995. Allí, un grupo de soldados nativos alcanzaron un papel preponderante en la guerra en selva, motivo por el cual fueron considerados como una fuerza guerrera élite en la Amazonía ecuatoriana.

En cuanto a la etnogénesis de estos pueblos ancestrales amazónicos, el pueblo shuar habitaba en las selvas atravesadas por los ríos Upano, Chinchipe, Santiago, Paute, Morona, Tigre y Corrientes. Fue aquí donde este pueblo aborígen, con toda su capacidad guerrera, se defendió de la expansión inca, allá por el año 1460 y de la conquista hispana. Incluso destruyó algunos pueblos fundados por los españoles en defensa de su territorio (Costales, 2006).

Sobre el pueblo quichua, la lengua impuesta por el inca Huayna – Cápac en tierras septentrionales fue el runa shimi,

lengua del hombre, reconocida en el mundo andino ecuatoriano como quichua; sin embargo, fue difundida en la Amazonía quiteña de ese entonces, siglo XVI, por los conquistadores y luego por los misioneros católicos, a través de las reducciones (Deler, 2007), inicialmente en las cuencas de los ríos Napo y Aguarico. Los primeros pueblos quichuas de la Amazonía ecuatoriana se formaron mediante ayllus o familias, habiendo sido Canelos uno de los primeros pueblos fundados en 1581 (Esvertit, 2008).

El proceso académico va en paralelo con la formación militar, esto es que: luego de dos años de formación integral, los jóvenes aspirantes a soldados Iwias deben aprobar 18 asignaturas correspondientes a la malla curricular de la tecnología en ciencias militares, a lo que se suma el programa de formación militar y las actividades relacionadas con la cultura física. Llegado el final de este proceso, estos jóvenes militares nativos se gradúan como soldados del Ejército ecuatoriano y tecnólogos en Ciencias Militares.

## II. METODOLOGÍA

El procedimiento general de este proyecto está basado en la investigación de documentos de la Escuela de Iwias, entrevistas, estudios de campo y demás elementos provenientes de la información documental. Este proceso investigativo estará reflejado a través del uso de las siguientes técnicas:

- Elaboración de tablas estadísticas sobre número de estudiantes y situación étnica de los soldados Iwias.
- Entrevistas
- Búsqueda de sitios, eventos, narraciones y descripciones

El uso de instrumentos de investigación para la variable independiente, cuya referencia está relacionada con la escasez de información sobre la realidad académica de los soldados de la Escuela de IWIAS. En cuanto a la variable dependiente, esta se ajusta a la búsqueda de información sobre la realidad profesional de los “guerreros de la selva”.

## III. RESULTADOS

A partir del año 2011, la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE reconoció el entrenamiento militar y la formación humanística de la Escuela de Iwias, motivo por el cual fue acogida en el sistema de educación superior, en el nivel de tecnología, lo que sustentamos con la tabla I.

Este cuadro estadístico revela la realidad actual de la Escuela en la cual cursan los jóvenes indígenas en la carrera militar, con una edad promedio de 21.7 años de edad, tomando en cuenta que entre el período 2011 - 2015, se ha formado una población de 348 estudiantes, todos hombres,

con una tasa de deserción de apenas el 4.73 %.

El programa de tecnología en Ciencias Militares, con modalidad presencial-internado, abarca el 54 % en formación militar, 26 % en cultura humanística, 4 % en ciencias y tecnología y el 14 % en cultura física; sumando un total de 171 créditos. En cuanto a sus prácticas pre profesionales, éstas son aplicadas en los repartos militares ubicados en la región amazónica. Sobre el tema de vinculación con la sociedad, los jóvenes aspirantes nativos apoyan a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, GAD, de la provincia de Pastaza, en actividades como: protección del medio ambiente, seguridad integral, reforestación y mantenimiento de senderos ecológicos.

TABLA I  
MATRICULADOS Y GRADUADOS POR PROMOCIÓN

PROMOCIÓN	MATRICULADOS	GRADUADOS	%
2010-2012	37	30	81,08
2011-2013	80	77	96,25
2012-2014	65	64	98,46
2013-2015	68	64	94,12
2014-2016	67	67	100,00
TOTAL	317	302	95,27

#### IV. DISCUSIÓN

El grupo de soldados nativos, denominado Iwias, nace en la cuna aborígen de las selvas amazónicas ecuatorianas, particularmente de las etnias quichua y shuar. Para ellos, el Ejército es una institución en la cual pueden aportar con su sabiduría ancestral y su dominio en temas de supervivencia, interpretación, transporte fluvial, guías, caza, pesca y el uso de la medicina natural. Este conjunto de saberes, garantiza al Estado ecuatoriano, el disponer de una salvaguardia efectiva en el cuidado de la Amazonía; así como también, el fortalecimiento de la identidad indígena de esta región.

La cohesión de las dos etnias nativas, quichua y shuar, ha sido la razón esencial en la formación de la Escuela de Iwias. Afortunadamente la Universidad de las Fuerzas Armadas ha sabido brindar la oportunidad de ser tomados en cuenta como una institución de estudios superiores, lo que ha permitido integrar en estos soldados nativos las tres esferas de formación militar y humanística: lo profesional, lo humanístico y lo cívico.

Sobre la formación académica, los jóvenes aspirantes a soldados Iwias representan un proceso educativo en el cual gira la cultura militar, la cultura humanística, la tecnología y la actividad física, sumado al cumplimiento del programa de instrucción militar establecido por el Comando de Educación del Ejército. En este sentido, se puede apreciar que la práctica de la guerra en selva está acompañada de una malla curricular que avala una formación integral, lo que garantiza una buena formación de jóvenes militares en el tema de la protección de nuestras fronteras y su aceptación adecuada en las etnias nativas ubicadas en el territorio amazónico ecuatoriano, pues allí está su origen y sus aspiraciones profesionales-militares.

#### REFERENCIAS

[1] P. Costales, A. Costales, "La nación shuar," 1st, Quito, Ec:Abya – Yala, Ago. 2006.

- [2] J. Deler, "Ecuador, del espacio al Estado nacional," 2nd ed, Quito, EC: Universidad Andina, Corporación Editora Nacional, 2007.
- [3] N. Esvertit, "La incipiente provincia: Amazonía y Estado ecuatoriano en el siglo XIX," 2nd ed, Quito, Ec: Universidad Andina, Corporación Editora Nacional, 2008.
- [4] Encuestas a los aspirantes nativos quichuas y shuar, Escuela de Iwias, enero de 2018
- [5] Libro de Relatoría Iwias, (2008). Escuela de Iwias, Pastaza
- [6] J. Kowii, "Etnias en el Ecuador," UASB, Quito, 2014.
- [7] www.guiapuyo.com
- [8] www.codenpe.gob.ec

# Modelo de formación en educación ambiental y turística para el desarrollo del ecoturismo sustentable en la comuna ancestral de indígenas pasto la libertad, provincia del Carchi

Jesús Ramón Aranguren Carrera<sup>a</sup>, Lenin Horacio Burbano García<sup>b</sup>  
<sup>a</sup> Instituto de Posgrado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.  
<sup>b</sup> Universidad de los Andes, Ibarra, Ecuador.  
Jesusaranguren.ipc@gmail.com, leninh\_b@yahoo.com

**Resumen**—El turismo en todas sus manifestaciones ha sido considerado como un importante renglón de ingresos económicos para todos los pueblos. El encuentro con la naturaleza es la principal razón que atrae a las personas. El impacto del turismo sobre los ecosistemas y la cultura local no se puede poner en dudas, una de las alternativas para mitigar este impacto es la integración del turismo con la educación ambiental, disciplina curricular que propicia una educación para la acción a partir de una visión global e interdisciplinar de los fenómenos ambientales y su conservación. Esta investigación tuvo como objetivo, proponer un modelo de formación en educación ambiental y turística para el desarrollo del ecoturismo sustentable en la Comuna Ancestral de Indígenas Pasto La Libertad, provincia del Carchi. Se empleó el enfoque cualitativo, apoyado en la investigación proyectiva, con enfoque descriptivo. Los informantes clave fueron 8 habitantes de la comunidad y 6 funcionarios del Ministerio del Ambiente. Los instrumentos de recolección de la información fueron el cuestionario abierto y la entrevista en profundidad. Los datos recolectados se interpretaron mediante la técnica de la categorización y el análisis de contenido. Los principales hallazgos evidencian que los habitantes de la comunidad necesitan formarse en áreas como: gestión en turismo y ambiente, guiaturo, atención al cliente, gastronomía local, elaboración de artesanías y agroecología. La gestión ambiental efectuada por los funcionarios del Ministerio del Ambiente se identifica con perspectivas innovadoras que se apegan a los principios de la sostenibilidad. A partir del diagnóstico se propuso un modelo de formación en educación ambiental y turística apoyado en ejes teóricos como: turismo sustentable, ecoturismo, ética ambiental y educación ambiental. Los enfoques educativos de la propuesta fueron: pedagogía crítica, andragogía, educación no formal, educación permanente; aspectos enmarcados en los principios legales que rigen la materia ambiental.

**Palabras Claves**—Educación ambiental y turística, ecoturismo, educación para la sustentabilidad, modelo de formación, educación no formal.

**Abstract**—Tourism in all its manifestations has been considered as an important line of economic income for all peoples. The encounter with nature is the main reason that attracts people. The impact of tourism on ecosystems and local culture cannot be doubted. One of the alternatives to mitigate this impact is the integration of tourism with environmental education, a curricular discipline that promotes education for action based on a global vision and interdisciplinary environmental phenomena and their conservation. The objective of this research was to propose a Training Model in Environmental and Tourism Education for the development of sustainable ecotourism in the Ancestral Commune of Indigenous Peoples La Libertad, Carchi Province. The

qualitative approach was used, supported by projective research, with a descriptive approach. The key informants were 8 inhabitants of the community and 6 officials of the Ministry of the Environment. The instruments for collecting the information were the open questionnaire and the in-depth interview. The data collected was interpreted using the technique of categorization and content analysis. The main findings show that the inhabitants of the community need to train in areas such as tourism and environmental management, guidance, customer service, local gastronomy, handicrafts and agroecology. The environmental management carried out by the officials of the Ministry of the Environment, is identified with innovative perspectives that adhere to the principles of sustainability. Based on the diagnosis, a Training Model in Environmental and Tourism Education was proposed, supported by theoretical axes such as: sustainable tourism, ecotourism, environmental ethics and environmental education. The educational approaches of the proposal were: critical pedagogy, andragogy, non-formal education, permanent education; aspects framed in the legal principles that govern the environmental matter.

**Keywords**—Environmental and tourism education, ecotourism, education for sustainability, training model, non-formal education.

## I. INTRODUCCIÓN

En diferentes, países se observa una especie de motivación y pasión por conocer la naturaleza y la cultura de los pueblos, es una prioridad la planificación de las actividades turísticas para lograr que las mismas sean garantes de “viabilidad económica, justicia social y equilibrio ambiental” [1], [2]. Entre las opciones que han surgido para lograr esos fines se encuentra el turismo sustentable, el cual considera las repercusiones actuales y futuras, económicas, sociales y ecológicas para responder a las necesidades de las comunidades, del aparato productivo, de los visitantes y del entorno, garantizando los derechos de las poblaciones locales. [3].

Para lograr que las actividades turísticas reporten beneficios para todos los involucrados, incluyendo la conservación de la naturaleza, son los programas de formación dirigidos a la población, los encargados de lograr este fin. Las consecuencias socioculturales adversas generadas por el turismo no responsable indican que es una necesidad perentoria lograr que cualquier emprendimiento turístico se conciba desde una perspectiva educativa, lo cual gesta la actuación responsable de los participantes, incluyendo los inversionistas y los actores sociales

regionales [4]. En consecuencia, es una necesidad capacitar a la población en el cuidado de los ecosistemas, ellos son los conocedores de las diferentes especies animales como vegetales que habitan en las áreas naturales y que guardan estrecha relación con su cosmovisión.

La educación ambiental como disciplina curricular propicia una educación para la acción a partir de una visión global e interdisciplinar de los fenómenos ambientales y su conservación [5].

La Educación Turística con enfoque comunitario integra postulados básicos de la Educación Ambiental [6].

Es fundamental que la Educación Ambiental se enmarque en el desarrollo de programas que incluyan al visitante, líderes comunitarios, estudiantes, población autóctona, educadores para comprometerlos, aportar nuevos saberes, desarrollar valores y actitudes para que se incorporen a una práctica efectiva del quehacer comunitario que busca conservar las riquezas turísticas naturales y culturales.

Por lo tanto, se debe asumir el paradigma de la pedagogía crítica, lo que implica posturas críticas acerca de las maneras en que se construye el conocimiento y sobre los procedimientos en que el conocimiento se erige como fuerza social, al involucrar que el saber reconstruido se interprete desde una postura pragmática y aplicada [7].

En el caso de la provincia del Carchi existe entre los comuneros escasa formación en técnicas de conservación del ambiente, por lo que la conciencia ecológica está poco desarrollada. Ante este problema, existe la escasez de recursos económicos y la ausencia de políticas, estrategias de desarrollo y apoyo local, regional y nacional, no han aportado las facilidades requeridas para que estos pobladores interesados en la ejecución de emprendimientos turísticos puedan hacer realidad sus proyectos y aspiraciones de progreso [8]. De manera que predomina entre la comunidad una sensación de impotencia al ver frustradas sus aspiraciones de incursionar en ese eje de desarrollo, lo que incentiva fenómenos como la migración. Es una preocupación comprobar que entre los pobladores no hay personal capacitado para dedicarse formalmente a las actividades turísticas, ni tampoco cuentan con los conocimientos necesarios para la conservación del ambiente.

En las áreas protegidas, y en especial en la Reserva Ecológica el Ángel, donde los comuneros, tienen escasa preparación para afrontar con responsabilidad el ecoturismo. Todos valoran la importancia de los atractivos, pero asumen que su papel, en la actividad turística, es de receptores pasivos.

Por lo tanto, es urgente abordar el problema de la educación ambiental y turística en la comuna, para desarrollar el ecoturismo, lo que propicia el empoderamiento de las comunidades locales y de los pueblos indígenas en la participación, planificación y desarrollo de cualquier iniciativa al respecto.

La investigación propone un modelo de formación en educación ambiental y turística dirigido a la Comunidad de Indígenas La Libertad de la Provincia del Carchi, que les permita desarrollar una actividad ecoturística sustentable.

## II. METODOLOGÍA

Los informantes clave fueron, las personas que tienen

suficiente experiencia y conocimientos sobre el tema abordado en la investigación; con capacidad para comunicar esos conocimientos y, con voluntad de cooperación [9]. Asimismo, la técnica de selección de los informantes fue de manera deliberada e intencional, por lo que se asumió el tipo de informante conocido como “ideal-típico” [10].

El grupo de informantes quedó constituido por 6 funcionarios del Ministerio Ambiente, Turismo y del GAD Espejo y 8 habitantes de la comunidad ancestral. Se aplicaron entrevistas con el método bola de nieve [11], para conocer cuáles son las necesidades de formación turística y ambiental que existe en la comunidad. Se encuestaron a los funcionarios de los Ministerios de Turismo y Ambiente, Gobierno Autónomo Descentralizado Espejo de la localidad, para develar las características de la gestión ambiental que se realiza en los atractivos turísticos culturales y naturales de la Reserva Ecológica El Ángel y en la comuna ancestral.

La información se organizó en 8 atributos [12]. A partir de los resultados y con la participación de la comunidad se diseñó el modelo de educación ambiental y turística que permitió planificar los procesos de capacitación dirigidos a los habitantes de la comuna.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. *Necesidades formativas en educación ambiental y turismo que presentan los habitantes de la comuna.*

Los habitantes de la comuna entrevistados señalan que la actividad turística no se ha desarrollado en la comunidad, como lo indica el sujeto 8: “...el turismo no se ha venido dando no hay propuestas de turismo ni tampoco hay emprendimientos...”. A pesar de que existen leyes que establecen la obligatoriedad, de que los organismos oficiales impulsen el turismo a través de planes y proyectos, los habitantes de la comuna perciben que ese objetivo no se ha logrado. Sin embargo, diferentes organizaciones han venido gestionando acciones entre ellas: Federación Plurinacional de Turismo Comunitario del Ecuador, MINTUR y Asociación Ecuatoriana de Ecoturismo, entre otras.

En relación con el escaso desarrollo del turismo y la poca participación de los habitantes en los emprendimientos regionales, los entrevistados consideran que existe monopolio de la actividad turística, como lo manifiestan los sujetos 2: “...lo malo que ahí es solamente un propietario que no participa en la comunidad”; sujeto 8: “...turismo... surgió recién como como una alternativa productiva para dejar de lado las siembras los monocultivos... cultivos principalmente de la papa qué es lo que más se siembra... lo que más contamina...”. Es una postura de la comuna que refleja que el trabajo realizado hasta el momento no ha sido significativo para ellos, debido a que no hay ingresos económicos representativos, la promoción turística es escasa y no sienten satisfechas sus necesidades más importantes.

A pesar de no haber actividad turística en la zona las representaciones sociales de estos pobladores son que desean desarrollar un turismo comunitario, así lo señalan el sujeto 2: “...como guardias ambientales y como parte de la comuna nosotros eso es lo que queremos implementar un turismo comunitario...” Ello significa, que esta comunidad tiene claridad acerca de que el turismo comunitario tiene su sustento en la organización comunitaria del emprendimiento

turístico, que involucra la gestión colectiva.

Plantean que el trabajo comunitario se enriquecería si se apoya con el trabajo colaborativo, como lo señala el sujeto 2: “todo es querer entre todos porque el beneficio no sería solamente para mí sería trabajo para todos, ... el turismo ojalá sea una forma de ayuda económica para todos yo sé que no es fácil no”. Esta preferencia evidencia que la comunidad cuenta con conocimientos acerca de los procesos y estrategias involucradas en el trabajo comunitario, donde el esfuerzo colaborativo es su sustento fundamental [13].

Reconocen vivir en la Reserva ecológica El Ángel, pero falta empoderamiento, como lo señala el sujeto 2: “...la gente nos falta empoderarnos de lo que es nuestro decir esto es nuestro y reclamar y trabajar...”. Esto devela que los informantes están conscientes y reconocen el valor que tiene ser parte integrante de una reserva ecológica, y más aún porque habitan en un área protegida, lo que involucra el cumplimiento de normas del patrimonio protegido, asimismo, son conocedores de que la aplicación de proyectos y programas pueden beneficiarles en algún momento.

Expresan, además, querer conservar la Reserva Ecológica El Ángel, como lo indica el sujeto 1 “...sí está protegido y tiene nuestra comunidad tiene los guardias que ya están o sea recorriendo todo eso ya se sabe que no se debe ni quemar todo eso”; sujeto 8 “Es una fuente es un tesoro para nosotros Porque dentro de la reserva ecológica aquí hablando de lo que es reserva el Ángel es una categorización Ramssar”.

Aunque, reconocen que les falta involucrarse en las actividades turísticas, con todas las responsabilidades requeridas para ser protagonistas activos del aprovechamiento de los recursos naturales.

Consideran que deben involucrar al turista en las actividades de la familia, para que ocurra un diálogo de saberes, y dar a conocer sus conocimientos ancestrales, que en la actualidad están en riesgos, como lo expreso el sujeto 5: “...nos gusta dar a conocer nuestra costumbres, cultivos, comidas y creencias, pero se están perdiendo”. Existe un reconocimiento de que los saberes ancestrales se pueden perder y que es necesario implementar el turismo como un mecanismo que favorezca su conservación.

Los entrevistados indicaron que tienen atractivos para desarrollar el turismo sustentable a través del ecoturismo, como lo expresa el sujeto 8: “tenemos los atractivos digámosle así los tenemos paisajes, elevaciones, ríos, fuentes hay bastantes áreas en donde todavía se puede ver animales en estado silvestre por decir el venado”. Es evidente que estas personas entienden que existe una modalidad del turismo que se conoce como ecoturismo, que promueva la conservación de la naturaleza y sostiene el bienestar de la comunidad local como lo indica [12].

Los entrevistados señalan que el turismo y su implementación es una actividad generadora de trabajo, crecimiento, emprendimientos y cohesión comunitaria, también dan cabida a la capacitación y formación de la población en: gestión en turismo y ambiente, guianza, atención al cliente, gastronomía local, elaboración de artesanías con recursos locales y agroecología.

Los funcionarios de los Ministerios de Turismo y Ambiente, Gobierno Autónomo Descentralizado Espejo,

señalaron que existe una gestión ambiental en los escenarios turísticos de la comuna, que permiten desde la visión indígena el bienestar y el desarrollo sustentable de sus áreas naturales y culturales. También señalaron que existe un apoyo de los organismos gubernamentales a las actividades turísticas, a través de asistencia técnica y capacitaciones, rescate de valores ancestrales, elaboración y apoyo a planes turísticos, creando asociaciones y grupos con personería jurídica.

También indicaron que para desarrollar la actividad turística en la comuna se debe realizar un proceso de organización interna, identificar atractivos y potencialidades turísticas, gestionar un modelo para el ordenamiento, funcionamiento y operación, conservar los recursos mediante la difusión, sensibilización y capacitación, rescatar las antiguas costumbres indígenas, impulsar emprendimientos en actividades artesanales, gastronómicas y planes de turismo de la comuna, capacitación e implementación de proyectos, capacitar en normativas del plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel. Los funcionarios entrevistados proponen alternativas adecuadas y viables que permiten promover el turismo en la comuna, ello evidencia un buen conocimiento de las potencialidades del turismo, sin embargo, es importante identificar los posibles emprendimientos y considerar que los mismos deben contemplar mecanismos que faciliten prever el impacto que dichas actividades puedan generar, es así que la formación desde perspectivas de la sustentabilidad y las previsión de tendencias futuras adquieren especial relevancia.

Señalaron, además, que se debe capacitar a la comuna en el manejo responsable de los recursos y atractivos locales, con programas de educación ambiental, distribución de cartillas de sensibilización ambiental y promoción de destinos turísticos.

#### *B. Modelo de Educación Ambiental y Turística: la propuesta.*

El Modelo de Formación en Educación Ambiental y Turística para el desarrollo del ecoturismo sustentable, dirigido a los habitantes de la Comuna Ancestral de Indígenas Pasto La Libertad, se soporta en la información obtenida del diagnóstico realizado en la comunidad en estudio, cuyos hallazgos más relevantes se pueden resumir en: gestión en turismo y ambiente, guianza, atención al cliente, gastronomía local, elaboración de artesanías con recursos locales y agroecología. Los objetivos de la propuesta para el modelo de formación son: 1) sustentar el modelo de formación en los principios del aprendizaje interdisciplinario, crítico y andragógico; 2) proponer estrategias didácticas que fomenten valores éticos para la solución de problemas turísticos y ambientales y 3) estructurar los componentes del modelo de formación desde los lineamientos de la educación no formal.

El modelo de formación persigue convertirse en una orientación teórica- pedagógica que permita a los docentes y facilitadores llevar experiencias educativas a los habitantes de la Comuna Ancestral de Indígenas Pasto La Libertad y con posibilidad de adaptarlas a otros contextos comunitarios. Todos los aspectos del modelo incorporan competencias para desarrollar una relación armónica entre

actividades turísticas y conservación de los recursos naturales.

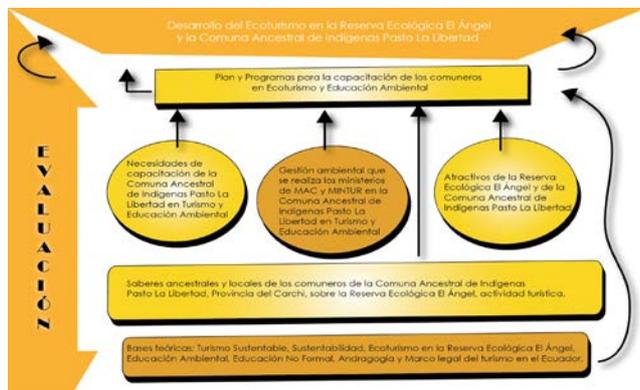


Fig. 1. Modelo de formación en educación ambiental y turística para la Comuna Ancestral de Indígena Pasto La Libertad, provincia del Carchi.

A partir del diagnóstico realizado y de la fundamentación teórica se construyó un esquema del Modelo (figura 1):

A partir de los planteamientos anteriores se diseñó un plan en Educación Ambiental y Turística, que tiene como objetivo: formar a la comuna ancestral en educación ambiental y turística, constituido por 7 programas de 24 horas cada uno, que contemplan: organización comunitaria para el desarrollo del ecoturismo; turismo comunitario; conservación de los atractivos turísticos y los saberes ancestrales; educación ambiental comunitaria y formación de guías ecoturísticas, entre otros. Al finalizar los programas el participante desarrollará una actividad ecoturística, donde integre la sustentabilidad de los atractivos de la Reserva Ecológica y de la comuna, para lograr ingresos económicos que permitan mejorar su calidad de vida.

#### IV. CONCLUSIONES

Las necesidades formativas en educación ambiental y turismo, que presentan los habitantes de la comuna ancestral son: gestión en turismo y ambiente, guiatura, atención al cliente, gastronomía local, elaboración de artesanías con recursos locales y agroecología. Los funcionarios gubernamentales identificaron necesidades en: formación en Educación Ambiental y Turísticas; turismo sostenible que contribuya a reducir la desigualdad de clases sociales y de género, promueva comunidades pacíficas e inclusivas y con conciencia ecológica; actividades que reduzcan la huella de carbono, impulsar las economías verdes, sustentables, justas y equitativas. El Ecoturismo propuesto implica alianzas y convenios, que luchen por crear una cultura de turismo sustentable en la Reserva Ecológica, considere el valor de las culturas indígenas y autóctonas. El modelo propuesto está apoyado en bases teóricas de: turismo sustentable, sustentabilidad, ecoturismo, educación ambiental, educación no formal, andragogía y marco legal del turismo. En cuanto a los enfoques educativos se tomó aportes del pensamiento crítico, desde la valoración de los saberes previos y conocimientos pertinentes. Complementándose con la educación no formal que permite desarrollar las potencialidades de los pobladores en materia de ambiente y turismo sustentable.

#### REFERENCIAS

- [1] V. M. Oliveira, C. Gómez, G. Cándido, "Indicadores de sustentabilidad para la actividad turística. *Estudios y Perspectivas en Turismo*," 1st ed, vol 22, Buenos Aires, B.A, Arg: Centro de investigaciones y estudios turísticos, pp. 177-197.
- [2] A. Muñoz, M. Martínez, "Tourism and new rurality: on the road to social sustainability *Letras Verdes*," *RLES* vol 18, pp. 137-158, Sep. 2015.
- [3] J. Quintero, "Estudio de Sostenibilidad Económica del Turismo en el Cantón Playas, Provincia del Guayas, Ecuador. *Ecociencia*," *ECOCIENCIA*, vol 1, no 1, pp.1-23, Dic. 2014.
- [4] P. Gonzáles, L. Mantilla, L. Neri, "El ecoturismo como alternativa sostenible para proteger el bosque seco tropical peruano: El caso de Proyecto Hualtaco, Tumbes," *Pasos*, vol. 13, no 6, pp. 1437-1449, Dic. 2015.
- [5] G. Ramos, G. Fernandez, "La educación ambiental: un instrumento para el turismo sustentable," *Hospitalidade*, vol 10, no 2, pp. 296-312, Dic. 2013.
- [6] R. Lomas, "Modelo Educativo Ambiental para el Turismo Comunitario. Túlcan," *UPEC*, Feb. 2013.
- [7] R. Ramírez, "Igualmente, pobre, desigualmente ricos", 1st ed, vol 1, Quito, Ec: Ariel, 2008.
- [8] H. Linares, G. Morales, "Del desarrollo turístico sostenible al desarrollo local. Su comportamiento complejo," *Pasos*. vol 12, no 2, pp. 453-466, Ene. 2014.
- [9] R. Gómez, G. Flores, J. García, "Metodología de la investigación cualitativa", 2nd, vol 1, Málaga, Esp: Aljibe, 1999.
- [10] J. Goetz, M. LeCompte, "Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa," 1st ed, Madrid, Esp: MORATA, S. A., 1988.
- [11] P. Espinosa, H. Hernández, R. López, S. Lozano, "Muestreo de bola de nieve," Méx: UNAM., 2018
- [12] M. Miguélez, "Epistemología y Metodología Cualitativa en las Ciencias Sociales," Méx: Trillas. 2008.
- [13] E. Ruiz, M. Vintimilla, "Cultura, comunidad y turismo: ensayos sobre el turismo comunitario en Ecuador", Ec: Abya Yala., 2009.
- [14] S. Rebollo, "Ecoturismo," Méx: Red Tercer Milenio S.C. 2012

# Desarrollo de competencias investigativas en los estudios de Postgrado

Itala María Paredes, Lourdes Yepez

Instituto de Postgrado, Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Técnica del Norte  
imparedes@utn.edu.ec, rdyepez@utn.edu.ec

**Resumen**—La enseñanza de la investigación para el desarrollo de competencias investigativas, se ha convertido en una prioridad que conduce a la calidad de la educación. El objetivo de este estudio fue identificar la percepción de los estudiantes de postgrado en relación al nivel de desarrollo de las competencias investigativas alcanzadas durante su proceso de formación con el empleo de la metodología basada en proyectos. Se considera una investigación con enfoque mixto y alcance descriptivo. El desarrollo investigativo se estructuró en tres fases: Fase (1) desmontaje de las mallas curriculares. Fase (2) aplicación de una encuesta a 87 estudiantes de los programas: (a) Agroempresas y Agronegocios, (b) Gestión Sustentable de Recursos Naturales y (c) Actividad Física (muestreo no probabilístico). Fase (3) administración de encuesta dirigidas a las autoridades académicas del Instituto de Postgrado y Coordinadores de Programas. La encuesta a los estudiantes se estructuró en base a una escala de Likert, cuyas categorías de respuestas fueron: muy inseguro (1); inseguro (2); regular (3); seguro (4), muy seguro (5). Los resultados develaron que la Universidad favorece el desarrollo transversal de las competencias investigativas con base en la metodología de proyectos, declarado de forma explícita e implícita la investigación en todos los niveles de la estructura curricular.

**Palabras Claves**—Circuitos competencias investigativas, metodología de proyectos, Universidad Técnica del Norte.

**Abstract**—The teaching of research for the development of investigative competencies has become a priority that leads to the quality of education. The objective of this study was to identify the perception of postgraduate students in relation to the level of development of the research competencies achieved during their training process with the use of the project-based methodology. It is considered an investigation with a mixed approach and descriptive scope. The research development was I structure in three phases: phase (1) Dismantling of the curricular nets. Phase (2) application of a survey to 87 students of the Programs: (a) agribusiness and agribusiness, (b) sustainable management of natural resources and (c) Physical activity (non-probabilistic sampling). Phase (3) survey administration directed to the academic authorities of the Postgraduate Institute and program coordinators. The survey of students was I structure based on a scale of Likert, whose categories of answers were: very unsafe (1); Unsafe (2); Regular (3); Safe (4), Very safe (5). The results showed that the university favors the transversal development of the investigative competencies based on the methodology of projects, explicitly and implicitly declared the investigation in all the levels of the curricular structure.

**Keywords**—Research competencies, project methodology, North Technical University.

## I. INTRODUCCIÓN

Existen divergencias en cómo se deben desarrollar las competencias investigativas en la educación superior, durante años la discusión sobre diferentes posturas epistemológicas y metodológicas en las Ciencias Sociales y

Naturales han sido diversas. El desarrollo de las competencias investigativas en la formación de postgrado ha de permitir que el maestrante adquiera autonomía y capacidad para la generación de conocimientos y/o formulación de propuestas de intervención adaptadas y pertinentes al contexto.

Desarrollar investigaciones en el marco de la formación de postgrado no se limita al cumplimiento de un requisito de grado, por el contrario, la enseñanza de la investigación debe proporcionar herramientas a los maestrantes que le permitan evidenciar los impactos sociales, ambientales, culturales y humanos de las producciones investigativas. Desde esta perspectiva la investigación en el Postgrado conlleva de forma explícita dos implicaciones de interés.

...la primera es que cualquier investigación y cualquier trabajo de conclusión de carrera y/o tesis están en la obligación de legitimar sus propios modos de abordaje y de resolución de problemas. La segunda implicación es que, justo para lograr esa legitimación, toda investigación debe definir y declarar sus orientaciones de trabajo a partir de un cierto marco de convicciones epistemológicas y metodológicas [1].

De lo anterior se deduce que para poder desarrollar las *competencias investigativas* es necesario abordar los procesos de formación de Postgrado desde la reflexión y la metodología de proyectos, lo cual implica tener claridad en cómo se concibe el acto de *Investigar*. Para efectos de este estudio, la investigación se entiende como un proceso de razonamiento controlado por la lógica y la experiencia en una fase previa a la transformación de la realidad y perfectamente delimitada con respecto al mencionado proceso.

De los planteamientos anteriores, fácilmente se deduce que los escenarios de la formación de cuarto nivel deben y están experimentando cambios significativos. La investigación en los procesos de formación ha de ser vista más allá de la dimensión meramente disciplinar declarada en los currículos universitarios, como parte de la unidad de titulación donde los programas de maestrías profesionalizantes destinan de forma explícita en el documento curricular 440 horas para el desarrollo de competencias investigativas. La enseñanza de la investigación ha de tener una naturaleza transversal que permita el desarrollo de conocimientos, habilidades, destrezas, pero sobre todo actitudes positivas hacia la investigación como medio favorable para el reconocimiento y abordaje de las problemáticas sociales. Todo ello es posible a través del empleo de estrategias metodológicas como la enseñanza basada en proyectos que permite a los estudiantes un *hacer* desde la comprensión y reflexión de los procesos de investigación desarrollados a diario para el

cumplimiento de los objetivos del hecho de interés investigativo planteado.

Así, desarrollar las competencias investigativas en la formación de postgrado implica el compromiso de la institución, para conectar todos los niveles de la estructura responsable de la formación, a través, de la investigación, promoviendo con ello un desarrollo curricular que permita acercar lo planificado a lo real ejecutado en las aulas de clases, donde la investigación en la UTN se convierte en el elemento rector para el desarrollo y perfeccionamiento de los perfiles académicos profesionales.

Desde esta perspectiva la Universidad Técnica del Norte consiente de su compromiso con la humanidad asume la investigación como función emblemática, declarando en sus políticas la investigación como elemento rector del quehacer universitario. El Estatuto Orgánico esta alma mater establece en el artículo Artículo 2 referido a la misión su compromiso con la formación de un profesional de “excelencia, ético, crítico, humanista, líder y emprendedor con responsabilidad social” [2], donde la investigación se asume como primordial para la producción del conocimiento y su transferencia. De igual forma el artículo 3 que alude a la visión declara que “la universidad en el año dos mil veinte, será un referente regional y nacional en la formación de profesionales, desarrollo del pensamiento, ciencia, tecnología, investigación, innovación y vinculación” [2].

Lo expresado en líneas anteriores se ratifica en el Literal C del Estatuto Orgánico referido a los objetivos, el cual expresa que la UTN persigue el fomento de procesos de investigación, de transferencia de saberes, de conocimientos científicos, tecnológicos y de innovación [2], lo cual se constituye en una fortaleza institucional para el desarrollo transversal de las competencias investigativas.

Adicionalmente a lo expuesto la UTN cuenta como un modelo educativo que declara como parte de sus ejes estratégicos la investigación y la innovación. Esta última concebida como innovación para integrar la investigación y el desarrollo de proyectos que den respuestas a las problemáticas sociales. Todo esto respaldado en un modelo didáctico por investigación donde la construcción de los saberes inherentes a los perfiles académicos profesionales, tiene su origen a partir de procesos de enseñanza y aprendizaje, reflexivos, críticos y emancipadores [3], guiados por la metodología basada en proyectos, ofreciendo al estudiante herramientas, habilidades, capacidades y destrezas para emprender nuevos retos.

En efecto el modelo didáctico basado en investigación, respalda el desarrollo micro-curricular para la concreción de los perfiles de egresos por medio del diseño de sílabos que favorecen el desarrollo de las competencias investigativas para todos los estudiantes de la universidad, en especial en postgrado donde las investigaciones se erigen como elemento imprescindible en el diseño y ejecución de las secuencias didácticas con énfasis en la metodología de proyectos.

La formación de cuarto nivel en la UTN tal y como se expresa en el artículo 1 del Reglamento del Instituto de Postgrado referente a la naturaleza y objetivos se encuentra destinada a la formación de profesionales altamente calificados y al desarrollo de la investigación [4]. Entre sus principales objetivos está la generación de conocimientos a

través de la investigación en el desarrollo de los programas, aportando con ello a los procesos de cambio y avance científico, tecnológico y humanístico, función indeclinable de esta casa de estudio. Seguidamente el artículo 3 de este reglamento como parte de uno de sus objetivos específico establece que la “formación de postgrado se orienta a la generación, sistematización y divulgación del conocimiento por medio de publicaciones en las diversas disciplinas, aportando significativamente a la mejora de la calidad de vida de los integrantes de la sociedad” [4].

Por consiguiente en el artículo 32 capítulo IV de la responsabilidad docente expresa “es responsabilidad del docente ejercer su cátedra en investigación”[4]. La UTN ofrece a sus profesores una sólida plataforma para el desarrollo de investigaciones y el perfeccionamiento de las competencias investigativas, incidiendo esto directamente, en la calidad de los procesos formativos de los estudiantes. Para alcanzar lo anteriormente dicho el Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica (CUICYT) en su artículo 2 referente a los objetivos se plantea como prioridad la “promoción para la formación y capacitación permanente de Investigadores” [5].

Lo central en la enseñanza de la investigación en postgrado es el desarrollo de una disposición auténtica para generar conocimiento, lo que se fundamenta en un conjunto de creencias, conocimientos, actitudes e informaciones, valores, habilidades, competencias que debe desarrollar el sujeto y el colectivo. Esta concepción de la enseñanza de la investigación cobra significado para la universidad cuando se trata de la formación de los maestrantes, por cuanto el escenario pedagógico tiene compromisos complejos que implican seres humanos, aprendizaje y desarrollo.

La enseñanza de la investigación en la UTN a nivel de grado y postgrado se ha convertido en una prioridad que conduce a la calidad de la educación. Desde esta perspectiva la mirada transversal del desarrollo de las competencias investigativas a través de la metodológica de proyectos, se presenta como una propuesta crítica generadora de conocimientos que requieren de rupturas epistemológicas para implementar estrategias orientadas a la construcción de conocimiento social y crítico.

Por lo antes expuesto la enseñanza basada en la investigación pretende romper con la práctica de intentar desarrollar competencias investigativas desde los pupitres, donde el área de la investigación en los currículos ha sido objeto de constantes debates por la manera de desarrollarla en los planes de estudio, es por ello que se ha coincidido con la visión crítica de Padrón quien señala que en los currículos ha prevalecido el carácter profesionalizante de la investigación al quedar atrapada en el aula por las clases de metodología [6].

Es por ello que la universidad considera que la enseñanza de la investigación posee un carácter dinámico y vivencial, donde el desarrollo de las competencias investigativas se adquiere por medio de un hacer reflexivo sobre la base de la comprensión de las secuencias investigativas seleccionadas y su correspondencia con los procesos desarrollados para alcanzar los objetivos propuestos. Se trata de propiciar nuevas maneras para abordar y comprender la realidad, ubicarse en situaciones activas para indagar y generar soluciones, aprender a enfrentar las dificultades en la

producción de propuestas y conocimientos donde la metodología basada en proyecto ofrece un amplio espectro para el diseño de experiencias educativas acordes a las necesidades e intereses de los estudiantes.

La presente investigación tiene como objetivo identificar la percepción de los estudiantes de postgrado en relación al nivel de desarrollo de las competencias investigativas alcanzadas durante su proceso de formación con el empleo de la metodología basada en proyectos. Los resultados presentados forman parte del proyecto “La transversalidad curricular y la enseñanza de la investigación en la formación de Postgrado (fase I)”, financiado por la UTN.

En la Sección II se presenta el método utilizado para realizar la investigación. En la sección III se exponen los resultados obtenidos y, finalmente, se plantean las conclusiones.

## II. METODOLOGÍA

La presente investigación asume un enfoque mixto con alcance descriptivo permitiendo identificar la percepción de los estudiantes de postgrado en relación al nivel de desarrollo de las competencias investigativas alcanzados durante su proceso de formación con el empleo de la metodología basada en proyectos.

Como parte del desarrollo investigativo se empleó la técnica de análisis de contenido aplicada a las mallas curriculares de los programas de maestrías, el propósito fue conocer la estructura de la unidad de titulación y su contribución al desarrollo de competencias investigativas (fase I).

Para develar el estado actual del desarrollo de las competencias investigativas de los maestrantes se aplicaron dos encuestas. La primera suministrada a 87 estudiantes de los programas: (a) Agroempresas y Agronegocios, (b) Gestión Sustentable de Recursos Naturales (GESUREN) y (c) Actividad Física. La encuesta a los estudiantes se estructuró en base a una escala de Likert. El objetivo fue obtener información fidedigna en torno a las variables: formulación del problema, construcción del marco teórico, secuencia metodológica, capacidad para escribir el reporte de investigación.

La segunda encuesta fue aplicada a las autoridades académicas del Instituto de Postgrado y a los coordinadores de programas. Esta estuvo conformada por cinco ítems, el propósito fue conocer en opinión de los responsables de la gestión, los factores que han influido en el desarrollo de las competencias investigativas de los estudiantes de cuarto nivel y el impacto de la metodología basada en proyectos como estrategia de aprendizaje (fase 2 y 3).

La población objeto de estudio estuvo conformada por 87 estudiantes, 01 directivo y 03 coordinadores de programas, 03 diseño curriculares, 13 programas de asignaturas correspondientes a la unidad de titulación. El muestreo fue no probabilístico. La información se recabó con el consentimiento informado de los participantes.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Análisis mallas y programas de asignaturas (fase I)

La unidad de titulación en la UTN se encuentra estructurada conforme a lo expresado en el artículo 22 del

Reglamento de Régimen Académico, estableciendo para los programas de maestría profesionalizantes 440 horas [7]. Desde esta perspectiva la unidad de Diseño Curricular del Instituto de Postgrado en colaboración con los expertos de las diferentes áreas disciplinares, vela por la coherencia y consistencia interna en el diseño de los programas, en especial en la unidad de titulación, donde los maestrantes demuestran el desarrollo de las competencias profesionales adquiridas durante su tránsito por el plan de estudio. Al efectuar el análisis se encontró:

TABLA I  
ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN

Programa	Estructura. Unidad de titulación
(a) Agroempresas y Agronegocios	Métodos Estadísticos en Agroempresas y Agronegocios I
	Métodos Estadísticos en Agroempresas y Agronegocios II
	Metodológica de la Investigación Científica I: Problemática
(b) Gestión Sustentable de Recursos Naturales Renovables	Metodológica de la Investigación Científica II: Recolección y Procesamiento de Datos
	Metodológica de la Investigación Científica III: Seminario de Tesis-Tutoría
	Investigación I
(c) Actividad Física	Investigación II
	Estadística y Paquetes Estadísticos Computarizados
	Trabajo de Titulación
(c) Actividad Física	Metodología de la Investigación Aplicada a la Actividad Física
	Estadística Aplicada a la Educación Física y al Deporte
	Técnicas para la Búsqueda de Información y Redacción Científica
	Trabajo de Titulación

Como se observa la unidad de titulación de los programas (a), (b), (c), se encuentra diseñada para el desarrollo de las competencias investigativas, lo cual, asociado a la rigurosa selección del personal docente para garantizar la calidad del proceso de formación, ha dado como resultado un impacto positivo.

Al revisar los programas de asignaturas que integran la unidad de titulación, fue posible evidenciar la metodología basada en proyectos, como parte de las estrategias de enseñanza y aprendizaje. La metodología de proyectos invita a los maestrantes a desempeñar un rol activo en su proceso de formación, motivándolos a alcanzar sus metas a través de la adquisición de habilidades y actitudes para solventar el problema formulado. Esta estrategia metodológica le permite al estudiante visualizar de forma clara el diseño y pertinencia de las secuencias investigativas planteadas.

### B. Desarrollo de competencias investigativas (fase 2)

En relación a la variable *formulación del problema* se

encontraron los siguientes resultados respecto a las percepciones de los estudiantes: el 26,7% de los encuestados del programa Agroempresas y Agronegocios se ubican en la categoría seguro; el 14,0% de los maestrantes de GESUREN en la categoría muy seguro y el 12,8% de los Actividad Física en la categoría seguro.

Seguidamente en la variable *construcción del marco teórico* se observó que el 22,1% de los encuestados del programa Agroempresas y Agronegocios se ubican en la categoría seguro; el 15,1% de los maestrantes de GESUREN en la categoría seguro y el 17,4% de los participantes del programa de Actividad Física en la categoría seguro.

En la Variable *diseño de la secuencia metodológica* los resultados encontrados fueron: el 20,9% de los encuestados del programa Agroempresas y Agronegocios se ubican en la categoría seguro; el 16,3% de GESUREN en la categoría muy seguro y el 14,0% de los cursantes del programa de Actividad Física en la categoría seguro.

En atención a la variable *escritura del reporte de investigación* los resultados arrojados evidencian que el 23,3% de los encuestados del programa Agroempresas y Agronegocios se ubican en la categoría muy seguro; el 17,4% de los estudiantes de GESUREN en la categoría muy seguro y el 20,9% de los discentes del programa de Actividad Física en la categoría muy seguro.

Los resultados muestran la percepción de los estudiantes en cuanto al desarrollo de sus competencias investigativas, evidencia del trabajo asertivo y comprometido que viene desempeñando el Instituto de Postgrado.

### C. Autoridades académicas y coordinadores de programas (fase 3)

Al encuestar a los responsables de los procesos de la gestión curricular del Instituto de Postgrado este manifiesta que la UTN cuenta con un andamiaje institucional que hace posible la interconexión de las funciones sustantivas de la universidad a través de la investigación. Entre los documentos que declaran explícitamente la investigación como función emblemática de esta institución señalaron: Estatuto Orgánico, Reglamento de Régimen Académico UTN, Modelo Educativo, Reglamento del Instituto de Postgrado, Reglamento del Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica. Al mismo tiempo expresan que la investigación es asumida desde una visión transversal en los procesos de formación, dando lugar a la creación de espacios permanentes de construcción y reflexión que recorren en investigación la estructura curricular y fortalecen la perspectiva de una enseñanza basada en la investigación a través de la metodología basada en proyectos.

Lo expresado en palabras los gerentes educativos permiten que la investigación recorra en forma diacrónica y sincrónica los diseños curriculares, facilitando de forma fluida el desarrollo de las competencias investigativas ya no desde una visión únicamente disciplinar, sino transversal, otorgando al desarrollo de los procesos de investigación un carácter natural y humano.

## IV. CONCLUSIONES

La Investigación en la UTN se asume como elemento consustancial en la configuración del currículo universitario.

Esta institución educativa declara su compromiso con la sociedad por medio de la formación de profesionales altamente calificados.

La enseñanza basada en investigación para el desarrollo de las competencias investigativas se ha convertido en el norte a seguir, la metodología de proyectos utilizada por los docentes resalta el carácter vivencial, desarrollando en los maestrantes actitudes positivas para emprender procesos de indagación y profundización en la estructuración de los saberes integrales.

Las competencias inherentes a la unidad de titulación de los programas de maestría del Instituto de Postgrado son alcanzadas satisfactoriamente. En efecto la percepción de los estudiantes respecto al desarrollo de las competencias investigativas a través de la metodología basada en proyecto resultó favorable, los estudiantes manifiestan haber alcanzado un nivel óptimo para la sistematización y ejecución de las secuencias investigativas.

Aún queda mucho camino por recorrer en la búsqueda tan deseable de la calidad de la educación superior, en una próxima publicación se presentará la estrategia metodológica Ruta de investigación, a fin de compartir la experiencia de la UTN en la visualización de la producción académica y científica de los estudiantes.

## REFERENCIAS

- [1] C. Hermelinda, "Enfoques epistemológicos y secuencias operativas," tesis doctoral, Univ. URNE, Venezuela, 2001
- [2] Universidad Técnica del Norte, "Estatuto Orgánico", Resolución RPC-SO-38-395, 2013
- [3] Universidad Técnica del Norte, "Modelo Educativo", código IEPI 041009, 2013
- [4] Universidad Técnica del Norte, "Reglamento del Instituto de Postgrado", Resolución 001-073-CEACES, 2017
- [5] Universidad Técnica del Norte, "Reglamento del Centro Universitario de Investigación Científica y Tecnológica", 2014
- [6] P. José. Jun. 2011. Obstáculos para una investigación social orientada al desarrollo, Seminario nacional de ciencias sociales. [Online]. Disponible en : <http://www.ing.uc.edu.ve/dhcs/>
- [7] Consejo de Educación Superior, "Reglamento de Régimen Académico", RPC-SE-13-No.051-Z013.21, 2013

# Competencia tecnológica pedagógica del contenido en el área de Lengua y Literatura

Fabiola Cando<sup>a</sup>, Ivone Tituaña<sup>b</sup>, Bernardo Cando<sup>c</sup>, Yessica Lema<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Humanas y Educación, Universidad Técnica de Cotopaxi.

<sup>b</sup>Centro de idiomas, Universidad Técnica de Cotopaxi

<sup>c</sup>Unidad Educativa Mariano Montes.

<sup>d</sup>Escuela de Educación Básica Luz de América.

fabiola.cando@utc.edu.ec, nancu.tituaña@utc.edu.ec, bernardogabrielcando@outlook.es, yessy.princesita@hotmail.com

**Resumen**—El objetivo principal de esta investigación fue determinar el nivel de competencia Tecnológica, Pedagógica del Contenido de los docentes de Educación Básica en el área de Lengua y Literatura. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, de alcance descriptivo. Se encuestó a 48 docentes utilizando un cuestionario según el modelo TPACK, siglas en inglés que corresponden a *Technological Pedagogical and Content Knowledge (Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido)*. Este modelo incluye el conocimiento, las competencias y destrezas que el docente necesita para integrar las TIC de forma efectiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje de cualquier asignatura. Los datos recogidos muestran que la mayoría de los docentes tienen un nivel *Muy alto y Alto* en las competencias tecnológica, pedagógica y del contenido de forma individual; sin embargo, el nivel es bajo en la integración de las mismas, básicamente en las competencias: Tecnológica de Contenido, Tecnológica Pedagógica y la Tecnológica Pedagógica del Contenido. Este resultado permite evidenciar la limitada formación del docente de Educación Básica en el uso pedagógico de las TIC y sugiere a) elevar propuestas de capacitación docente bajo el modelo TPACK, b) integrar este modelo a la formación de futuros docentes de Educación Básica y c) considerar la estructura del modelo TPACK en la planificación micro curricular garantizando así mejores experiencias de aprendizaje con las TIC.

**Palabras Claves**— TIC, Tecnología, Pedagogía, Contenido, Modelo TPACK, Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido.

**Abstract**—We The main aim of this research was to determine the level of Technological, Pedagogical Content Knowledge of Basic Education teachers in the area of Language and Literature. The focus of the research was quantitative, descriptive in scope. 48 teachers were surveyed using a questionnaire according to the TPACK model, which stands for Technological Pedagogical and Content Knowledge. This model includes the knowledge, skills and abilities that the teacher needs to integrate ICT effectively in the teaching-learning process of any subject. The data collected show that most teachers have a Very High and High level in the technological, pedagogical and content competences individually; however, the level is low in the integration of them, basically in the competencies: Content Technology, Pedagogical Technology and Technology Pedagogical Content. This result makes it possible to show the scarce formation of the teacher of Basic Education in the pedagogical use of ICT. And it suggests a) designing proposals for teacher training under the TPACK model, b) integrating this model in the curriculum of Basic Education Major and c) considering the structure of the TPACK model in the micro curricular planning guaranteeing better learning experiences with ICT.

**Keywords**— TIC, Technology, Pedagogy, Content, TPACK Model, Pedagogical Technology Content Knowledge.

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances de la sociedad y de la educación en particular invitan a reflexionar sobre el papel de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Las TIC ofrecen innumerables beneficios por ello se sugiere que las instituciones educativas revisen sus actuales referentes y promuevan experiencias innovadoras en los procesos de enseñanza y aprendizaje apoyándose en las TIC [1].

En este contexto, el Currículo de Educación Básica del Ecuador—2016 propone el uso de las TIC como eje transversal en todas las asignaturas. La intención del currículo es “suministrar a los estudiantes de todos los subniveles de los recursos que los ayude a manejar el “mundo digital” y desarrollarse en él, utilizando de manera conveniente y responsable estas tecnologías” [2]. En el caso de Lengua y Literatura se debe desarrollar la competencia lingüística-discursiva con el uso de las diferentes herramientas tecnológicas. Esto, entre otras cosas, requiere que el docente tenga una amplia formación en el uso pedagógico de las TIC; no basta con saber utilizar la tecnología, se requiere que tengan la capacidad de integrarla armónicamente con la pedagogía de tal manera que influya positivamente en el aprendizaje.

Varias investigaciones sobre el uso de las TIC indica que hay poca integración real de la tecnología en los procesos de enseñanza y aprendizaje y no se encuentra una conjunción entre las competencias tecnológicas y las pedagógicas. Las investigaciones determinan la necesidad de la formación de los docentes en el uso pedagógico de las TIC [4], [5]. Por ello el objetivo principal de este trabajo fue analizar el nivel de formación del docente de Educación Básica en el uso de las TIC en el área de Lengua y Literatura desde un enfoque pedagógico. Este estudio describe el nivel de competencia Tecnológica Pedagógica del Contenido de los docentes de Educación Básica en el área de Lengua y Literatura, sugiriendo algunas aportaciones que se deberían realizar para favorecer la integración de las TIC en el aula.

La estructura del trabajo contiene cinco secciones. La sección I presenta la introducción al trabajo, en la Sección II se presenta el método utilizado para la recolección de datos, en la Sección III se realiza el análisis de resultados y su respectiva interpretación. Finalmente, las conclusiones más relevantes son presentadas en la sección IV.

## II. METODOLOGÍA

Esta investigación es de carácter cuantitativo y de alcance

descriptivo. Se aplicó una encuesta, mediante un cuestionario elaborado según el modelo TPACK (acrónimo de la expresión Technological Pedagogical Content Knowledge—Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido). Este modelo, desarrollado por Mishra y Koehler entre el 2005 y 2008, es una herramienta que facilita la integración efectiva de las TIC desde un enfoque pedagógico [2]. En el modelo se identifica que tres aspectos primordiales del conocimiento: Tecnológico, Pedagógico y del Contenido no están aislados entre sí, sino que se encuentra relacionados unos con otros como se ve en la Fig. 1.

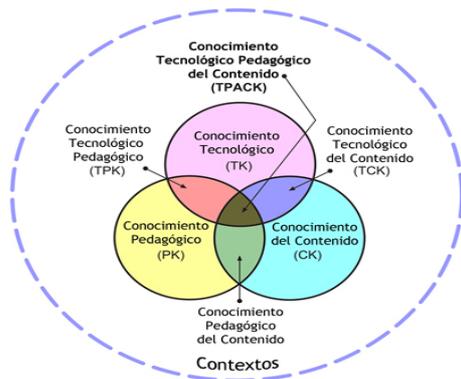


Fig. 1. El modelo TPACK.

El área verde de la figura muestra la interrelación de estos tres tipos de conocimientos que el docente necesita integrar para hacer un uso efectivo de las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Según Valverde, Garrido y Fernández [6], en el modelo TPACK, el conocimiento pedagógico, tecnológico y del contenido tienen papeles individuales y colectivos que jugar. Enseñar eficazmente utilizando la tecnología requiere crear, mantener y restablecer continuamente un equilibrio dinámico entre cada componente. Los conocimientos que constituyen el modelo TPACK son los siguientes:

- **Conocimiento del contenido** = Conocimiento de la asignatura que se enseña.
- **Conocimiento pedagógico** = Conocimiento de la pedagogía.
- **Conocimiento tecnológico** = Conocimiento de las TIC
- **Conocimiento Pedagógico del Contenido** = El uso apropiado de principios pedagógicos en la enseñanza de un contenido o asignatura.
- **Conocimiento Tecnológico del Contenido** = Conocimiento de qué tecnologías específicas son más adecuadas para abordar diferentes contenidos.
- **Conocimiento Tecnológico Pedagógico** = Conocimiento de las distintas herramientas tecnológicas para favorecer las estrategias pedagógicas.
- **Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido** = Conocimiento integrado de saberes tecnológicos, estrategias pedagógicas y el contenido que se enseña.

El instrumento fue adaptado del estudio de Cabero, Días y Castaño [7]. Debido a que ésta investigación se centró en el área de Lengua y Literatura, se procedió a eliminar las

preguntas referentes a otras áreas y se añadió otras pertinentes. La población que participó en el estudio fue 48 docentes de Educación Básica de cuatro instituciones educativas, tres de la provincia de Cotopaxi y uno de Pichincha: Escuela de Educación General Básica CBOP Fausto Espinoza Pinto, Unidad Educativa Rioblanco Alto, Unidad Educativa “Mariano Montes” y la Escuela de Educación Básica “Luz de América. Las instituciones participantes fueron seleccionadas en función de la accesibilidad.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta la sistematización de la información obtenida a través de tablas estadísticas.

TABLA I  
COMPETENCIA TECNOLÓGICA PEDAGÓGICA DEL CONTENIDO

COMPETENCIA	MA	A	B	MB	T
	%	%	%	%	%
Competencia Tecnológica	52,08	33	4,17	10,4	100
Competencias Pedagógica	70,83	19	6,25	4,17	100
Competencia del Contenido	77,08	17	0,00	6,25	100
Competencia Pedagógica del contenido	79,17	15	6,25	0,00	100
Competencia Tecnológica del Contenido	8,333	10	41,7	39,6	100
Competencia Tecnológica Pedagógica	14,58	21	64,6	0,00	100
Competencia Tecnológica Pedagógica del Contenido	8,333	21	70,8	0,00	100

MA=Muy Alta, A= Alta, B= Bajo, MB= Muy Bajo

En la Tabla I se observa que los docentes de las cuatro instituciones califican como “muy alta” el dominio de las tres Competencias: Tecnológica, Pedagógica y del Contenido por separado. Sin embargo, se evidencia una competencia Baja en la conjugación de dos o más, básicamente en la Competencia Tecnológica del Contenido, Competencia Tecnológica Pedagógica y la Competencia Tecnológica Pedagógica del Contenido. Además, no se encontró diferencia significativa en los resultados de las cuatro instituciones. Estos datos muestran que los docentes no están en la capacidad de combinar recursos didácticos y métodos pedagógicos apropiados para la enseñanza de la asignatura de Lengua y Literatura, es decir, no se aprovecha las innumerables ventajas [8], [9] de las TIC en esta área.

Para comprender mejor los resultados obtenidos se realizó un análisis de los ítems en los que la mayoría de los docentes están en desacuerdo.

Respecto a la pregunta sobre si los recursos tecnológicos ayudan a mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en el área de lengua y literatura, la mayoría de los docentes encuestados creen que no; además señalan que no utilizan con frecuencias recursos tecnológicos en el área mencionada. Esta percepción puede deberse a la falta de experticia de los docentes para utilizar efectivamente recursos tecnológicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje, en cuanto a los pocos resultados favorables obtenidos utilizando las TIC, se presume como causa los

inconvenientes que los docentes encuentran en el uso de los mismos, o como Tapasco y Giraldo [11] mencionan el estrés asociado al uso de las TIC.

TABLA II  
ÍTEMES DE LA COMPETENCIA TECNOLÓGICA DEL CONTENIDO CON MAYOR POBLACIÓN EN DESACUERDO

ITEM	MD	D	NAND	DA	MD	T
	%	%	%	%	%	%
Creo que el uso de recursos tecnológicos ayuda a mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje en el área de Lengua y Literatura.	0,00	42	45,8	12,5	0,00	100
Utilizo con frecuencia material tecnológico para la enseñanza de lengua y literatura.	0,00	54	22,9	22,9	0,00	100

TABLA III  
ÍTEMES DE LA COMPETENCIA TECNOLÓGICA PEDAGÓGICA CON MAYOR POBLACIÓN EN DESACUERDO

PREGUNTA	MD	D	NAND	DA	MD	T
	%	%	%	%	%	%
Adopto un pensamiento crítico sobre la forma de utilizar la tecnología en el aula.	0,00	63	33,3	4,17	0,00	100
Puedo adaptar las tecnologías que estoy aprendiendo a diferentes actividades docentes.	0,00	63	25	12,5	0,00	100

MD=Muy Desacuerdo, D= De acuerdo, NAND= Ni en Acuerdo ni en desacuerdo, DA En Desacuerdo, MD= Muy Desacuerdo

Por otro lado, las preguntas enfocadas sobre pensamiento crítico en la forma de utilizar la tecnología en el aula y la capacidad de adaptar la tecnología que usan personalmente en el quehacer docente, la mayoría escoge la opción “en desacuerdo”. Este resultado permite evidenciar que existe dificultad en la reflexión crítica a la hora de seleccionar y utilizar las TIC en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Varios investigadores afirman que el criterio de selección es un factor importante a la hora de escoger cualquier recurso tecnológico.

Finalmente, la mayoría de los docentes escogieron la opción “en desacuerdo” en las preguntas sobre si promueven el desarrollo y si despiertan interes por la lectoescritura utilizado recursos tecnológicos y estrategias apropiadas. Estos resultados indican que los docentes no estan preparados para integrar efectivamente las TIC en la enseñanza de la lectoescritura. Al respecto, Ezquerro [10] considera que la competencia lingüística y literaria se deben desarrollar con ayuda de las TIC puesto que actualmente la mayoría de procesos comunicativo se realizan utilizando herramientas tecnológicas.

TABLA IV  
ÍTEMES DE LA COMPETENCIA TECNOLÓGICA PEDAGÓGICA DEL CONTENIDO CON MAYOR POBLACIÓN EN DESACUERDO

PREGUNTA	MD	D	NAND	DA	MD	T
	%	%	%	%	%	%
Promuevo el desarrollo de la lectoescritura incorporando diferentes tecnologías y estrategias.	0,00	71	8,33	20,8	0,00	100
Despierto interés por la lectura utilizando diversos métodos de enseñanza y recursos tecnológicos.	0,00	65	27,1	8,33	0,00	100

MD=Muy Desacuerdo, D= De acuerdo, NAND= Ni en Acuerdo ni en desacuerdo, DA En Desacuerdo, MD= Muy Desacuerdo

#### IV. CONCLUSIONES

La actual formación de los docentes de Educación Básica en TIC para la práctica pedagógica es deficiente. La mayoría de ellos demuestra tener una competencia alta en el conocimiento Tecnológico, Pedagógico y del Contenido por separado, sin embargo, no se evidencia la conjunción de los mismos, particularmente en las competencias: Tecnológica del Contenido, Tecnológica Pedagógica y Tecnológica Pedagógica del Contenido. Este resultado resalta la necesidad de una formación docente basada en el uso pedagógico de las TIC según el modelo TPACK. Este modelo es una herramienta innovadora que permite la integración efectiva de las TIC en el proceso pedagógico de cualquier asignatura. El conocimiento de los tres tipos de contenidos facilita la integración efectiva de las TIC desde un enfoque pedagógico.

#### REFERENCIAS

- [1] J. Salinas “Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria,” RUSC. Universities and Knowledge Society Journal, vol 1, núm 1, pp. 1-16, noviembre 2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/780/78011256006.pdf>
- [2] Ministerio de Educación “Guía Didáctica de Implementación Curricular para EGB y BGU. Lengua y Literatura,” Quito, Ec: Ministerio de educacion del Ecuador, 2016.
- [3] J. B. Harris, M. J. Hofer “Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) in Action: A Descriptive Study of Secondary Teachers’ Curriculum-Based, Technology-Related Instructional Planning,” JRTE, Vol. 43, No. 3, pp. 211–229, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ918905.pdf>
- [4] R. Cejas-León, A. Navío “El modelo TPACK competencial. Elaboración de un cuestionario para el profesorado universitario. En Gairín (Ed.), Aprendizaje situado y aprendizaje conectado: implicaciones para el trabajo,” Madrid: Wolters Kluwer. ISBN: 978-84-9987-174-5. Disponible en: <https://goo.g>
- [5] El Modelo TPACK [online]. Tpack.org, 20167 Disponible en: <http://www.tpack.org/>
- [6] J. Valverde, M. Garrido, R. Fernández “Enseñar Y Aprender Con Tecnologías: Un Modelo Teórico Para Las Buenas Prácticas Con Tic,” TESI, vol. 11 núm 1, pp 4-445, 2010 [En línea]. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2010/201014897009.pdf>
- [7] J. Cabero, V. Días, C. Castaño, “Validación de la aplicación del modelo TPACK para la formación del profesorado en TIC,” OEI, núm.14 pp. 13.22, enero-junio, 2015. [En línea] Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=349541425002>
- [8] R. Gonzales, “Aplicaciones de las nuevas tecnologías en el aprendizaje de la Lengua Castellana. Aulas de Verano,” 1st ed, 2002 [En línea]. Disponible en:

en:<https://sede.educacion.gob.es/publiventa/PdfServlet?pdf=VP11006.pdf&area=E>

- [9] M.E. Esr vez “Análisis Y Beneficios De La Incorporación De Las Tic En El  rea De Lengua Castellana Y Literatura: Un Caso Práctico,” *Pixel-Bit*, no. 40, pp. 21-34, 2012 [En línea]. Disponible en <https://recyt.fecyt.es/index.php/pixel/article/download/.../37445>
- [10] M. Ezquerro, “El tic en lengua castellana y literatura,” *Revista cientifica de opinión y divulgación*, vol.1, pp. 1-3. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Aurora\\_Martinez\\_Ezquerro/publication/311102871\\_LAS\\_TIC\\_EN LENGUA CASTELLANA Y LITERATURA CRITERIOS DE CALIDAD Y RECURSOS DIDACTICOS/links/583db85508ae8e63e6150970/LAS-TIC-EN-LENGUA-CASTELLANA-Y-LITERATURA-CRITERIOS-DE-CALIDAD-Y-RECURSOS-DIDACTICOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Aurora_Martinez_Ezquerro/publication/311102871_LAS_TIC_EN LENGUA CASTELLANA Y LITERATURA CRITERIOS DE CALIDAD Y RECURSOS DIDACTICOS/links/583db85508ae8e63e6150970/LAS-TIC-EN-LENGUA-CASTELLANA-Y-LITERATURA-CRITERIOS-DE-CALIDAD-Y-RECURSOS-DIDACTICOS.pdf)
- [11] Tapasco, O. & Giraldo, J. (2017). “Estudio Comparativo sobre Percepción y uso de las TIC entre Profesores de Universidades Públicas y Privadas.” *Formación universitaria*, vol. 10, no 2, pp. 03-12. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000200002>

# Ecuador: Educación e inclusión social de los niños de 1 a 3 años, periodo 1995-2015

Pablo Esparza Hernández<sup>a</sup>, Karina Fonseca Naranjo<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Instituto Superior Tecnológico Cordillera, Carrera de Desarrollo del Talento Infantil.

<sup>b</sup>Liceo Campoverde.

pablo.esparza@cordillera.edu.ec, profeskarina@hotmail.com

**Resumen**—Se El presente documento tiene como objetivo mostrar los cambios en los procesos de inclusión de la población infantil en situación de pobreza y niños con necesidades educativas especiales en el país, específicamente a nivel de educación inicial y cómo se han transformado, desde los cambios en el marco constitucional, la institucionalidad, hasta los distintos programas inclusivos. Posteriormente, se muestra en detalle la información cuantitativa acerca del número de niños beneficiados por los diferentes programas destinados a los infantes en situación de pobreza y NEE (Necesidades Educativas Especiales), entre 1 a 3 años de edad, en los gobiernos de corte neoliberal, frente al periodo presidencial del economista Rafael Correa. Bajo este contexto, la indagación contrasta tanto la teoría como la práctica y muestra una radiografía parcial de la situación contemporánea de la educación inicial en el país, desde el año 1988 al 2017; se aplicó la metodología del Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

**Palabras Claves**—Educación, Inclusión social, INNFA, MIES, neoliberalismo, post neoliberalismo.

**Abstract**—We This document aims to show the changes in the processes of inclusion of the child population in poverty and children with special educational needs in the country, specifically at the level of initial education and how they have been transformed, since the changes in the constitutional framework, the institutional framework, even the different inclusive programs. Subsequently, the quantitative information about the number of children benefited by the different programs aimed at infants in poverty and SEN (Special Educational Needs), between 1 and 3 years of age, in neoliberal governments, is shown in detail. against the presidential period of the economist Rafael Correa. Under this context, the investigation contrasts both theory and practice and shows a partial x-ray of the contemporary situation of initial education in the country, from 1988 to 2017; the methodology of the Latin American Council of Social Sciences was applied.

**Keywords**—Education, Social inclusion, INNFA, MIES, neoliberalism, post neoliberalism.

## I. INTRODUCCIÓN

El documento presenta el análisis de dos aspectos en el tema de inclusión educativa de los niños en Ecuador, el primero ubicado en el contexto político, y el segundo situado en la esfera educativa. Estos aspectos se encuentran relacionados, ya que los sistemas educativos, la inclusión social, así como la economía, se encuentran anclados al ejercicio de la política del estado ecuatoriano.

Por un lado, el contexto político toma como referencia los aportes del profesor Manuel Garretón (2010), quién menciona uno de los puntos de esta categoría como el “individualismo neoliberal” que considera la desigualdad como una cuestión natural. Las desigualdades sociales son inevitables, pues son la expresión de las diversas

capacidades de adaptación de los individuos ante el mercado. Por ello, las ideas y acciones orientadas a buscar la igualdad social, económica, política, cultural y jurídica entre los hombres son catalogadas como “antinaturales” y primitivas” [1]. Esta perspectiva alude implícitamente a la no intervención del estado y la priorización de las relaciones comerciales y financieras sobre las sociales.

Por otro lado, se encuentra el post neoliberalismo, socialismo del siglo XXI o como menciona Garretón, neoliberalismo corregido, el cual hace alusión a que el nuevo “modelo (post neoliberalismo) apuesta por el desarrollo de la solidaridad, que implica para toda la sociedad más igualdad y derechos sociales, dándole un estatuto sólido a la ciudadanía” [1]. Estos conceptos son la base de la presente investigación en cuanto al aspecto político.

En cuanto a la esfera educativa o segundo tema de la investigación, se toma como referencia a Ángeles Parrilla (2002), quién orienta el concepto de inclusión al “derecho de todos los niños, de todas las personas, no sólo de aquellos calificados como personas con Necesidades Educativas Especiales (NEE), vinculando la inclusión educativa entonces a todos aquellos alumnos que de un modo u otro no se benefician de la educación (están excluidos de la misma)” [2].

Bajo este contexto, se deduce que el debate inclusivo no se limita al campo de las NEE, sino que, además, repercute en el aspecto social, económico y político del país, que se evidencia especialmente en la desigualdad social. Por tanto, la presente investigación sirvió para delimitar y comprender la conceptualización de inclusión social que, de aquí para adelante, acuña los términos de pobreza y necesidades especiales.

Para cumplir con el objetivo de la investigación, el texto se ha dividido en dos secciones, la primera parte muestra evidencia en torno a la transformación institucional pública y privada, dedicada a la inclusión de la niñez en el país, la coordinación interinstitucional, los programas, hasta la declaración del desarrollo infantil como prioridad nacional, es decir al grupo de estudio niños entre 1 a 3 años.

La segunda parte versa de un análisis cuantitativo de los distintos periodos presidenciales, entre el año 1995 al año 2015, tiempo en el que se mostrará en cifras cómo han ido cambiando los procesos de inclusión, así como el número de menores que se han podido beneficiar de los programas inclusivos en Ecuador y como estos datos se alinean a la concepción de inclusión.

## II. METODOLOGÍA

El presente proyecto utilizó la metodología planteada por CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, específicamente del Manual de metodología, que menciona para los trabajos de ciencias sociales dos metodologías, cualitativa y cuantitativa, en cuanto a la cualitativa se realizó una revisión bibliográfica de documentos oficiales otorgados por el Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), institución encargada de gestionar las políticas públicas de inclusión en el Ecuador. Así mismo, se efectuó una exploración de documentos de FLACSO específicamente del texto “Sistema de Atención Infantil en el Ecuador” de la autora Gavilanes Rocío, del Ministerio de Educación, Cultura, Deporte y Recreación, del Informe de educación para todos y de la página web SIISE (Sistema de Indicadores Sociales del Ecuador).

Los datos recogidos fueron analizados de la siguiente manera: en primera instancia se realizó una comparación entre la constitución de 1978, 1998 comprendida como período neoliberal, frente a la carta magna de 2008 post neoliberal, el cotejo se efectuó únicamente de dos capítulos, del derecho a las personas y grupos vulnerables, así como de la educación, esto con el objetivo de mostrar cómo ha ido cambiando el marco legal, juntamente con los derechos otorgados a este grupo prioritario. En segundo lugar, se efectuó una exploración documental histórica desde la década de los 60 hasta el año 2012, donde se muestra la transformación institucional en los dos períodos, la intervención estatal y las políticas públicas direccionadas a la inclusión de los menores de 1 a 3 años.

La segunda fase consistió en una contabilización y descripción de datos de informes y bases de datos que permitieron completar los datos de fuentes bibliográficas, que fueron analizadas posteriormente. Se realizaron tablas y gráficos que sintetizaron los datos obtenidos de las dos variables [3] la inclusión social y el número de niños beneficiados por año.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Tabla II resume la transformación institucional concerniente al cuidado y Desarrollo infantil de niños y niñas menores de 5 años en el Ecuador. Para la década de los 80, el estado a través de la coordinación del Ministerio de Bienestar Social, crea la Red Comunitaria de Atención a la Infancia, con el tiempo el programa cambia de nombre a Operación Rescate Infantil (ORI); para ese tiempo el ministerio contaba con los programas “Nuestros Niños” y el “FODI”, de los cuales surgen nuevas modalidades de desarrollo infantil como los Centros de Creación del Aprendizaje CRA, los Wawua Kamayuk y los Centros Integrados de Desarrollo Infantil.

Por otra parte, el INNFA implementa la modalidad de Centros de Desarrollo Infantil y posteriormente la modalidad de Creciendo con Nuestros Hijos (CNH). Como se observa en la Tabla I, hasta ese momento los esfuerzos para atender a este grupo prioritario se encontraban dispersos entre la competencia del MBS (sector público) y el INNFA (sector privado), pese a que ambos funcionaban al mismo tiempo con recursos públicos.

La Convención de los Derechos de la Niñez y de la

Adolescencia firmada en 1989, y ratificada por el estado ecuatoriano a través de la Secretaría de Desarrollo Infantil Integral (2017), obliga al mismo a “brindar una atención integral, con el propósito de garantizar los derechos de la niñez y adolescencia, por lo que se vuelve imprescindible insistir, nuevamente, en la articulación intersectorial de los programas financiados y/o administrados por el Estado, que hasta ese momento, continúa siendo débil y dispersa” [4]

Así mismo, la Fig. 1 muestra el número de infantes beneficiados durante los años 1998 y 2017. Este gráfico evidencia nítidamente un incremento de la cobertura en los programas de inclusión social, únicamente de niños y niñas de 1 a 3 años a nivel nacional (a pesar de las transformaciones institucionales). El punto más alto se encuentra en el año 2014, con una cobertura de 344.446 infantes, posteriormente hay un descenso de 11.558 al año 2015, al 2016 de 10.701 y al 2017 una declinación de 22.797 niños.

Tabla I  
TRANSFORMACIÓN INSTITUCIONAL CONCERNIENTE AL CUIDADO Y DESARROLLO INFANTIL DE NIÑOS Y NIÑAS MENORES DE 5 AÑOS EN ECUADOR

Década 60-70	Neoliberal			Post Neoliberal	
	Década 70-80	Década 80	89	2008	2012
Los servicios estaban dirigidos a los niños huérfanos y cuyos padres trabajan fuera de casa.	A inicios de la década de los 80, el patronato Nacional de la Infancia se transforma en el Instituto Nacional de la Niñez y la Familia INNFA, institución que mantuvo su estatus de institución privada.	El Ministerio de Bienestar Social asume el tema del desarrollo infantil y realiza la coordinación interinstitucional entre el INNFA y el Ministerio de Educación y Cultura. El INNFA por su parte implementa la modalidad de Centros de Desarrollo Infantil (CDI) y Creciendo con Nuestros Hijos (CNH).	En 1989 se aprueba la convención de los derechos de la niñez y adolescencia de las Naciones Unidas y obliga al estado ecuatoriano a brindar una atención integral.	A través de la Constitución, el Plan Nacional del Buen Vivir y la política pública se concreta una mayor participación del estado.	

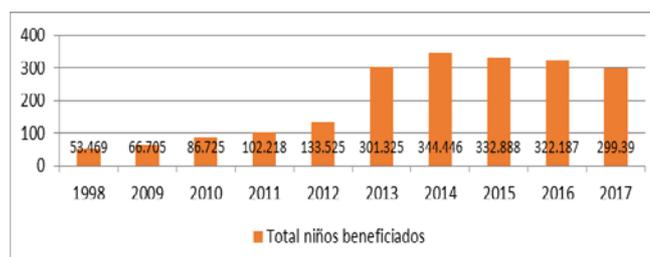


Fig. 1. Niños beneficiados desde 1998-2017 en todos los programas de inclusión social infantil en Ecuador.

#### IV. CONCLUSIONES

Es necesario aclarar que los datos analizados en la investigación fueron otorgados por El Ministerio de Inclusión Económica y Social [4], institución encargada del tema inclusivo de menores de 5 años. La investigación concluye que en la constitución de 1978 y 1998 de corte neoliberal, los derechos de los grupos llamados vulnerables estaban direccionados únicamente a la inserción social, es decir, los programas del estado dirigido a este grupo estaban destinados únicamente al cuidado personal, mientras que en la constitución del 2008 existe una ampliación de derechos hacia estos grupos con la aparición del término inclusión social, que hace alusión a un sistema adaptado a las necesidades de las personas [2]. Así mismo, se pudo determinar que la transformación institucional desde la década de los 70 hasta el año 2012, refleja la fragmentación institucional, lo público (MBS) y lo privado (INNFA), cada uno con sus respectivos programas, hasta el año 2008; mientras que los años posteriores el estado realiza una coordinación institucional a través del MIES. De la conjetura institucional, se desprende el problema de la carencia de cifras en cuanto a la cobertura de programas inclusivos anterior al año 2009, en los años considerados como período neoliberal dentro de la investigación (1995-2006). Las cifras demuestran una reducida intervención del estado en cuanto a la inclusión de grupos vulnerables. A partir de año 2008, los datos revelan que existe una mayor intervención del estado en cuanto a inclusión social de los niños y al desarrollo de los mismos, esto se debe a dos factores esencialmente, el primero en cuanto a la declaratoria del presidente de establecer como prioridad nacional el desarrollo infantil (año 2012); y la segunda a la focalización de programas y la coordinación estatal, representada en el MIES. La injerencia estatal, se evidencia en cifras posterior a la declaratoria del primer mandatario, las mismas muestran un incremento significativo de 167.80 menores para el año siguiente (2013), alcanzando su pico en el año 2014 (344.446 niños beneficiados), el descenso en los años posteriores (2015, 2016 y 2017) podría deberse a la baja de los precios del petróleo (Banco Mundial, 2017); para sustentar el contenido de este cambio, Garretón alude a re direccionar los servicios (educación, salud, previsión y otros servicios públicos) e instituciones que fueron privatizados en la época neoliberal en favor de la ciudadanía. Finalmente, a pesar de que no se tienen cifras específicas de niños en situación de pobreza y con necesidades especiales, se concluye que dentro del período neoliberal existe una menor intervención estatal en inclusión infantil, reflejada en datos del número de niños en los programas de los años 1995 hasta 2009, mientras que en el período post neoliberal el número de niños beneficiados aumenta gradualmente.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Garretón, "El neoliberalismo corregido y progresismo limitado," 1st ed, Ed. Santiago de Chile, Chl.: CLACSO, Oct. 2012.
- [2] Á. Parrilla, "Acerca del origen y sentido de la educación inclusiva.," Revista de Educación, no 327, pp. 11-29, En. 2002.
- [3] CLACSO, Manual de metodología, Buenos Aires: CLACSO, 2005.
- [4] Subsecretaría de Desarrollo Infantil Integral, "Breve Reseña Histórica de los programas para la Primera Infancia," MIES, Quito, 2017.

# Evaluación cuantitativa de patrones de aprendizaje presencial y en línea, de un curso de CAD 2D, utilizando ANOVA

Hernán Jácome Paneluisa, Wellington Valdivieso López, Alexander Baldeón Andrade, Walter Fuertes Diaz  
Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.  
hjacom@espe.edu.ec, wevaldivieso@espe.edu.ec, aobaldeon@espe.edu.ec, wmfuentes@espe.edu.ec

**Resumen**—El Este estudio se enfoca en una evaluación cuantitativa del aprendizaje de herramientas de diseño asistido por computador en dos dimensiones (CAD-2D), tanto en un curso presencial como en línea. Para lograrlo, se crearon dos grupos para las modalidades del curso formados al azar para poder tener grupos equiparables asegurando evaluaciones basadas en la modalidad, bajo las mismas condiciones, mismos contenidos, tiempos y evaluaciones. En el primer grupo se impartieron clases presenciales. En el segundo grupo se dieron clases en línea mediante Moodle como un entorno educativo constructivista. Para el análisis y comparación de ambas modalidades se utilizó el método de Análisis de Varianza (ANOVA) el cual permite construir modelos estadísticos a partir del análisis de puntajes obtenidos en las modalidades y así aceptar o rechazar la hipótesis. Los resultados obtenidos evidencian que el aprendizaje de dibujo asistido por el computador (CAD) tiene diferencias representativas en la modalidad presencial y en línea. Este estudio concluye que el aprendizaje de herramientas de dibujo o diseño (CAD) en la modalidad en línea es deficiente comparada con la modalidad presencial.

**Palabras Claves**—Modalidad en línea, Moodle, ANOVA, estudio.

**Abstract**—This study focuses on a quantitative evaluation of the learning of Computer-Aided Design tools in two dimensions (CAD-2D), both in a classroom and an online course. To achieve this, two groups has been created for the modalities of the course formed at random to be able to have comparable groups ensuring evaluations based on the modality, under the same conditions, same contents, times and evaluations. In the first group face-to-face classes were given. In the second group, classes were given online using Moodle as an online constructivist educational environment. For the analysis and comparison of both modalities, the Analysis of Variance (ANOVA) method has been used, which allows the construction of statistical models based on the analysis of scores obtained in the modalities, thus accepting or rejecting the hypothesis. The obtained results demonstrate that the learning of drawing supported in the computer has representative differences in the modality at distance and in person. This study concludes that the learning of drawing or design tools supported by the computer in the distance modality is deficient compared to the classroom modality.

**Keywords**—Modalities online, Moodle, ANOVA, study.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el proceso de enseñanza/aprendizaje se apoya en medios tecnológicos que continuamente cambian y que a su vez provocan la forma en que el conocimiento puede ser brindado tanto en la modalidad presencial como a distancia. De acuerdo con Terry Anderson & Fathi Elloumi (2004) el apoyo mediado de un tutor o instructor en la

actualidad debe sin duda hacer uso de las herramientas enfocadas al logro del aprendizaje significativo. La enseñanza presencial ha cambiado en la actualidad ya que hace uso de aulas virtuales foros evaluaciones en línea correos chats herramientas wiki y otras. Por su parte, el aprendizaje en línea hace uso de las mismas herramientas. Sin embargo, no existen clases formales presenciales donde el alumno interactúe con el tutor, dado que esta se da de forma virtual en las aulas creadas para ello (María del Carmen Nolasco, 2013).

En el entorno virtual de aprendizaje y cursos en línea existen ventajas y desventajas de la aplicación de la enseñanza presencial y en línea.

Dada esta interrogante, nuestra investigación pretende encontrar patrones de desempeño en el aprendizaje de herramientas de diseño asistidas por computador (CAD) tanto en un aula implementada en una plataforma de aprendizaje en línea como por clases presenciales en horario, temáticas y evaluaciones similares.

Diferentes escenarios de estudio describen como aptitudes iniciales del diseño a la libertad creativa para usar los comandos y poder reconocer el entorno de trabajo y así poder plasmar y crear en el ambiente de dibujo los modelos espaciales del programa utilizando los términos adecuados.

Dada esta perspectiva, Terry Anderson & Fathi Elloumi (2004) definen como la pregunta principal a plantearse ¿en qué ambiente de trabajo las herramientas de diseño tienen una mejor asimilación? Este estudio pretende responder esta pregunta con el diseño de patrones de desempeño divididos en diez categorías y una evaluación de un caso real final utilizando el método ANOVA estadístico, que permite determinar de acuerdo al valor del factor F obtenido, si una hipótesis puede o no será aceptada y la forma de mejorar los parámetros.

Este trabajo de investigación permitió demostrar que la modalidad presencial es propicia y adecuada para el aprendizaje de herramientas Cad en el modelado de dos dimensiones para lo cual se hizo uso de clases presenciales y un aula virtual de aprendizaje. El método estadístico utilizado en la evaluación de resultados fue ANOVA.

Este estudio está organizado de la siguiente manera: La sección 2 describe las teorías que apalancan en este estudio. La sección 3 presenta el diseño e implementación de los patrones de desempeño en las diez clases. La sección 4 muestra los resultados que cuantifican las tendencias de las evaluaciones de cada lección y el resultado de los patrones de desempeño obtenidos. La sección 5 sintetiza el estado del arte de nuestro estudio. El manuscrito finaliza con

las conclusiones y líneas de trabajo futuro.

## II. METODOLOGÍA

### A. Modelo Anova

Esta técnica se utiliza para análisis de datos experimentales ya que permite calcular la variabilidad de un sistema de medición debido a que posee la ventaja de cuantificar la variación de la interacción entre los operadores y las partes. Este método está basado en estadísticas ya que se utiliza para analizar los efectos de los diferentes factores que intervienen en el diseño de los experimentos. En nuestro caso permite contrastar más de dos medidas como son las notas de diferentes pruebas realizadas en varias clases, es muy flexible al permitir construir modelos estadísticos para realizar el análisis de puntajes obtenidos en las modalidades presencial y online. Es evidente que las calificaciones utilizadas para nuestro estudio han permitido que el margen de error sea muy reducido, a través del análisis de los promedios de cada una de las pruebas, en el experimento realizado se utilizó el Anova de un factor ya que se ha comparado las evaluaciones alcanzados en las dos modalidades.

Este método permite determinar la hipótesis planteada acerca del efecto de los tratamientos de los puntajes obtenidos en cada evaluación para poder aceptar o rechazar la misma, se puede determinar si se acepta o rechaza la hipótesis nula, si F es inferior al valor crítico para el nivel de probabilidad fijado,  $\alpha = 0,005$  se acepta caso contrario se rechaza.

### B. Moodle

Software encaminado a la ayuda de los docentes en la creación de cursos en línea y entornos virtuales de aprendizaje llamados entorno de aprendizaje virtual.

### C. AutoCAD

Es una herramienta de diseño y dibujo apoyado en el computador que permite la creación de dibujos mediante el uso de una interface basada en sistemas de coordenadas.

## III. MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación, en la Tabla I se presenta la ponderación obtenida en el curso de Autocad en la modalidad presencial y en línea.

TABLA I  
PONDERACIÓN DEL CURSO DE CAD MODALIDAD PRESENCIAL Y EN LÍNEA

PONDERACIONES	VALOR
Cuestionario: Evaluación Lección 1-1..10(Real)	4 c/u
TOTAL LECCIONES	40
TOTAL LECCIONES /60	60
Tarea: Examen AutoCAD(Real)	100
EXAMEN /40	40
Total del Curso(Real)	100

En la tabla anterior se puede observar los diferentes parámetros de evaluación aplicados con los valores correspondientes. Seguidamente se presenta en la Tabla II la muestra con los límites inferiores y superiores, la

frecuencia y el porcentaje acumulado con las notas alcanzadas en la modalidad presencial de los diferentes instrumentos de evaluación aplicados.

Se puede apreciar cinco intervalos cada uno con un límite inferior y superior de la muestra.

TABLA II  
MUESTRA Y FRECUENCIA DE LAS NOTAS ALCANZADAS EN LA MODALIDAD PRESENCIAL SOBRE 100 PUNTOS

K	li	Ls
1	53,5	61,1107761
2	61,1107761	68,7215522
3	68,7215522	76,3323283
4	76,3323283	83,9431045
5	83,9431045	91,5538806

li	Frecuencia	% acumulado	Li	Frecuencia	% acumulado
53,5	1	4,35%	76,332328	11	47,83%
61,11077	4	21,74%	68,721552	5	69,57%
68,72155	5	43,48%	61,110776	4	86,96%
76,33232	11	91,30%	53,5	1	91,30%
83,94310	1	95,65%	83,943104	1	95,65%
445	1	100,00%	45	1	100,00%
y mayor...	1	100,00%	y mayor...	1	100,00%

Se puede apreciar en la tabla que las notas alcanzadas en los diferentes instrumentos de evaluación, destacan promedios superiores a 76,3 puntos sobre 100, un número de 11 estudiantes. A continuación, la Fig. 1 se presenta el histograma de las evaluaciones en las 10 lecciones.

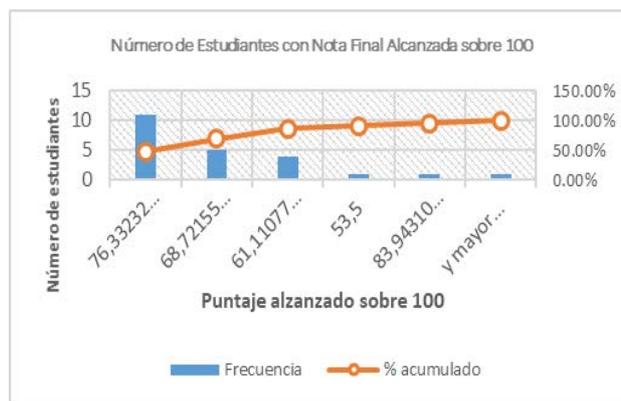


Fig. 1. Histograma de las evaluaciones de las 10 lecciones presenciales.

Se puede apreciar en la figura que existen un 47,83% de estudiantes que obtuvieron notas entre 76,3 a 83,94 que equivalen a 12 estudiantes, 5 estudiantes obtuvieron notas entre 68,72 a 76,3 que representa un porcentaje de 21,74%, por lo que 17 estudiantes representan un 69,57% obtuvieron un promedio aceptable en las diez lecciones. Seguidamente en la Tabla III se presenta la muestra y frecuencia de los puntajes obtenidos en la modalidad online por los estudiantes.

Se puede apreciar que existen un 62,50% de estudiantes que obtuvieron notas entre 61,65 a 72,98 que equivalen a 16 estudiantes, 2 estudiantes obtuvieron notas entre 84,72 a 95,3 que representa un porcentaje de 8,33%,

por lo que 18 estudiantes representan un 70,83% obtuvieron un muy buen promedio en las diez lecciones. Seguidamente en la Tabla IV se presenta el resumen del método Anova de las 10 lecciones online aplicada a los estudiantes.

TABLA III  
MUESTRA Y FRECUENCIA CON LAS NOTAS ALCANZADAS EN LA MODALIDAD ONLINE SOBRE 100 PUNTOS

K	li	Ls
1	39	50,32889006
2	50,32889006	61,65778012
3	61,65778012	72,98667018
4	72,98667018	84,31556024
5	84,31556024	95,6444503

li	Frecuencia	% acumulado	li	Frecuencia	% acumulado
			61,65778012	2	15,62,50%
39	1	4,17%	50,32889006	3	75,00%
50,32889006	3	16,67%	84,31556024	4	83,33%
61,65778012	15	79,17%	y mayor...	2	91,67%
72,98667018	1	83,33%			
84,31556024	2	91,67%	39	1	95,83%
y mayor...	2	100,00%	72,98667018		
			8	1	100,00%



Fig. 2. Histograma de las evaluaciones de las 10 lecciones Online

TABLA IV  
RESUMEN DEL MÉTODO ANOVA PARA LAS 10 LECCIONES ONLINE

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F
FACTOR	8,370833333	9	0,93	0,95
ERROR	225,2916667	230	0,98	

A través de la tabla anterior se puede aplicar la siguiente:  
*Hipótesis:* Se supone que el promedio de las calificaciones obtenidas en las 10 lecciones aplicadas a los 24 estudiantes debe ser el mismo.  $F(9, 230, 0.05) = 1.88$ .  
*Decisión:* No se rechaza  $H_0$ , por lo tanto, el promedio de las calificaciones de las 10 lecciones aplicadas a los 24 estudiantes es casi igual con un nivel de aceptación adecuada. A continuación, se presenta el resumen del método Anova para las 10 lecciones aplicadas a los

estudiantes en la modalidad presencial.

TABLA V  
RESUMEN DEL MÉTODO ANOVA PARA LAS 10 LECCIONES PRESENCIALES

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F
FACTOR	48,76521739	9	5,42	5,55
ERROR	214,6956522	220	0,98	

A través de la tabla anterior se puede aplicar lo siguiente:  
*Hipótesis:*  $H_0$ , Se supone que el promedio de las calificaciones obtenidas en las diez lecciones aplicadas a los 23 estudiantes debe ser el mismo.  $F(9, 220, 0.05) = 1.88$ .  
*Decisión:* Se rechaza  $H_0$ , por lo tanto, el promedio de las calificaciones de las 10 lecciones aplicadas a los 24 estudiantes varía con un nivel considerable de diferencia.  $F=5,55 > 1.88$  por lo que se rechaza la hipótesis. Se puede señalar que en las evaluaciones presenciales existe un mejor control por parte del docente considerando la tabla de frecuencias.

#### IV. DISCUSIÓN

Diseñamos un generador de frecuencias ópticas basado en moduladores de fase electro-ópticos, totalmente integrado, que incluye internamente un láser semilla monomodo. Fabricamos el PIC en una plataforma estándar, el mismo que contiene tres anillos, y tiene la capacidad de generar peines a tasas de repetición de 6.73 GHz, 7.5 y 10 GHz. El espectro óptico obtenido es de 11.5 nm (@ -10 dB. Este parámetro es equiparable a resultados del estado del arte actual obtenidos con dispositivos OFCG con anillo de fibra óptica. Observamos un incremento de líneas espectrales y eualización del espectro cuando varía la polarización de los EOPM. Por tanto, se concluye que los moduladores electro-ópticos influyen en la planitud del peine y en el ancho de banda. También demostramos la generación de peines de frecuencias ópticas usando un láser anillo integrado con interferómetro Mach Zehnder, operando en régimen mode locked pasivo, fabricado en una plataforma de integración genérica, en una ronda MPW, compartiendo costos con otros usuarios. Conseguimos un peine óptico con líneas espaciadas 10.16 GHz y un ancho de banda de 8.7 nm @ -10 dB. No es necesario el uso de una señal RF externa ni un láser semilla, lo cual es ventajoso respecto a OFCG con moduladores en cascada. Concluimos que el uso de bloques estandarizados en el presente diseño y fabricación permitirá el desarrollo de un set de dispositivos que pueden ser utilizados en otras rondas de manufactura; implementando circuitos más complejos, como transmisores multi-longitud de onda para aplicaciones DWDM.

Los resultados obtenidos en este proyecto de investigación demuestran diferencias sustantivas en los patrones de rendimiento en ambas modalidades, en referencia a las diez lecciones el rendimiento es superior en la modalidad presencial, la adaptación del aula virtual fue adecuada de acuerdo a las encuestas realizadas a los usuarios en general al final del curso cabe destacar varios aspectos que se tomaron en cuenta de acuerdo al manejo de información que se pudo brindar y que serviría como preámbulo para implementar una mejora del aula o

implementar herramientas en otras dimensiones, más algo a destacar fue la verificación de los archivos enviados por los alumnos que correspondían a las evaluaciones; presentaron un candado de tiempo que coincidió en muchos de los exámenes finales recibidos lo cual es inviolable y demuestra lo frágil que es evaluar en esta modalidad y se procedió a calificar con notas de cero por copia situación que genera desconfianza a la modalidad en línea.

## V. TRABAJOS RELACIONADOS

Nuestro trabajo de investigación constato la escasa cantidad de trabajos relacionados a la enseñanza de herramientas cad en dos y tres dimensiones lo revisado para nuestro estudio son los siguientes trabajos:

Cidoncha, Martínez y Palacios (2006) Proponen que la aplicación de las nuevas tecnologías en la enseñanza del diseño gráfico por ordenador deben sustentar su aplicación en modelos probados en la enseñanza presencial y trasladarlos en herramientas de acuerdo a ambientes constructivistas que permitan que la libertad de crear y diseñar vayan encaminados a tender puentes entre la concepción en la actualidad de la asignatura de cad proponiendo entorno de acuerdo al estado del arte de las Tics, haciendo uso de dos caminos tecnológicos ,el primero usando el potencial de Internet en la comunicación y por otro usar el modelado de solidos

García, Trujillo, Díaz y Ojeda (2009) Detallan un estudio comparativo de los resultados de aprendizaje en un curso de AutoCAD básico, entre estudiantes que recibieron el curso en línea o presencial, definen la hipótesis  $X_0 =$  La enseñanza del AutoCAD Básico en la modalidad presencial produce mejores resultados de aprendizaje que la enseñanza en línea, y su hipótesis alterna la siguiente:  $X_1 =$  La enseñanza del AutoCAD Básico en la modalidad en línea Produce mejores resultados de aprendizaje que la enseñanza presencial. Hipótesis que difieren a nuestro estudio, pues solo cuantifican los resultados de evaluaciones más nuestra investigación utiliza el modelo estadístico ANOVA para determinar cómo llegar obtener los mismos resultados de aprendizaje aprovechando el recurso tecnológico.

Chica, García, Granados, Hoyos y Zamora (2011) Proponen un Modelo de enseñanza de sistemas CAD en ambientes de diseño y desarrollo de productos, basados en tres métodos de enseñanza aprendizaje la primera es la enseñanza directa de las herramientas, la segunda el manejo de casos particulares donde se necesite utilizar el grupo de herramientas para completarlos o solucionarlos y el tercero el manejo de casos complejos reales donde la solución provenga de la creatividad y conocimiento del diseñador.

Nuestro estudio hace uso de la estratificación de las herramientas en diez grupos por lo cual el curso se la dividió en esta cantidad además que al final de cada lección se evaluó en las dos modalidades el aprendizaje, y la evaluación final fue el diseño de un pieza mecánica y un plano casos reales para la aplicación del conocimiento luego como se mostró se evaluó los resultados de ambas modalidades y se utilizó el método Anova para su cuantificación, lo cual mostró las falencias y fortalezas que existen en las dos modalidades.

## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación obtuvo resultados que demuestran que la modalidad presencial es propicia y adecuada para el aprendizaje de herramientas Cad en dos dimensiones para lo cual se hizo uso de clases presenciales y un aula virtual de aprendizaje en la plataforma Moodle. Para la evaluación de resultados se usó el método estadístico ANOVA a fin de determinar cómo llegar a obtener los mismos resultados en las dos modalidades y se utilizó los mismos contenidos, instructor y evaluaciones. Los resultados obtenidos muestran que es necesario un agente activo que refuerce los contenidos dado que las herramientas como video chat foro y otras herramientas no equiparan al seguimiento que refuerza el uso de elementos en el diseño asistido por computador. Se propone como trabajo futuro la aplicación de los mismos patrones en el aprendizaje de herramientas cad para 3 dimensiones para contrastar la tendencia obtenida en este estudio o difiere en su aplicación.

## REFERENCIAS

- [1] M Rena, P. Keith, "Lessons from Cyberspace Classroom," Conference on Distance Teaching and Learning, Alameda, CA, USA, 2001.
- [2] M. Cidoncha, M. Lomas, J. Martínez, "Aplicación de las nuevas tecnologías (tic's) en la enseñanza del diseño gráfico por ordenador," REU, no 28, pp. 35-44, 2006.
- [3] S. Oseguera, T. Hidalgo, E. Arenas, "Conductismo & Constructivismo. Comparativo entre la modalidad presencial y online (e-learning) para desarrollar competencias.Puebla.Mexico.
- [4] R. García, J. Trujillo, J. Camacho, M. Ramírez, "Estudio comparativo de los resultados de aprendizaje en un curso de AutoCAD básico, entre estudiantes que recibieron el curso en línea o presencial,"CPU-e, vol 9, Dic. 2009.
- [5] M. Salcedo, "Entorno virtual de aprendizaje y cursos en línea: los profesores como factor central," UNAM, vol 14, no 11, Nov. 2011.

# Desafíos de la educación cultural y artística en los niveles de educación obligatoria de Ecuador

Elías Chandi, Alexei Calispa, María del Carmen Vinueza  
Departamento de Ciencias Humanas y Sociales, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.  
cechandy@espe.edu.ec, avcalispa@espe.edu.ec, mcvinueza1@espe.edu.ec

**Resumen**—Como resultado de un proceso de mejoramiento, el Ministerio de Educación de Ecuador en 2016 implementa un ajuste curricular en el área de Educación General Básica (EGB) y el Bachillerato General Unificado (BGU), en el que la educación cultural y artística (ECA) es concebida como un área que integra varias asignaturas, aspectos en los que se circunscribe el presente reporte, cuyo propósito es analizar los desafíos de la propuesta curricular de ECA, para motivar la participación efectiva de los actores. El estudio se concibe desde un enfoque cualitativo y cuantitativo, documental, descriptivo y hermenéutico, identificando los componentes del currículo del área, y en base al análisis, señalar los requerimientos que de hecho deben acompañar para que se lleve a cabo conforme ha sido ideado. La contribución del área de ECA al perfil de salida del BGU es un desafío sujeto a la predisposición y habilidad del docente para elaborar y desarrollar proyectos educativos que integren la formación del saber ser, aplicando las TIC. En conclusión, para corroborar o descartar la debilidad de los factores y actores inmersos en el ajuste curricular es prioritario realizar un diagnóstico del área motivo del estudio para hacer factible el logro de objetivos que en apariencia son difíciles de alcanzar.

**Palabras Claves**—perfil, currículo, competencias artísticas y culturales.

**Abstract**—As a result of a process of improvement, the Ecuadorian Ministry of Education in 2016 implements an adjustment at the curriculum in the area of Basic General Education (BGE) and the Unified General Baccalaureate (UGB), in which the cultural and artistic education (CAE) is conceived as an area that integrates several subjects, issues on which circumscribes the present report. Its purpose is to analyze the challenges of the curriculum proposal of the CAE in order to encourage the effective participation of the actors. The study is conceived from a qualitative and quantitative approach, hermeneutic, descriptive and documentary, identifying the components of the curriculum in the area. And on the basis of the analysis, point out the requirements that must accompany the curriculum to be carried out in accordance to what has been devised. The contribution of the area of CAE to the UGB out coming profile is a challenge subject to the willingness and ability of the teacher to prepare and develop educational projects that integrate the “how to be” development by using the ICT. In conclusion, to confirm or rule out the weakness of the factors and actors involved in the curricular adjustment is a priority to perform a diagnosis of the area of study to make feasible the achievement of objectives which are apparently difficult to reach.

**Keywords**— profile, curriculum, artistic and cultural skills.

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación se enfoca en las reformas educativas de la EGB de 1996 y 2016 en el Ecuador, específicamente de las áreas de cultura estética y ECA, como fueron identificadas.

El Ministerio de Educación, mediante acuerdo ministerial

1419, de fecha 01-09-1997, incorpora en los planes y programas de los diez años de educación básica de la reforma curricular, el área de cultura estética, integrada por tres lenguajes que facilitarían las diversas formas de expresión y comunicación artística.

En atención al mandato de la constitución de la República del Ecuador de 2008, lo establecido en la Ley Orgánica de Educación Intercultural y su Reglamento, el Ministerio de Educación abordó un proceso de actualización y fortalecimiento curricular de la EGB, dando cabida a una nueva propuesta que entró en vigencia en el 2009 mediante acuerdo Ministerial 0611-09, excepto Educación Física que se implementaría en el 2012 y ECA que fue modificada en 2016, como un ajuste curricular para EGB y el BGU. En este Currículo, la ECA es concebida como área de conocimiento que promueve experiencias y aprendizajes básicos para todos los ciudadanos respecto de la cultura y el arte contemporáneos, con expresiones culturales locales y ancestrales, fomentando el regocijo y el respeto por la diversidad de costumbres y formas de expresión [1].

Con el antecedente señalado, es oportuno revisar principios y definiciones conceptuales de currículo, cultura y educación artística. Para POSNER (1998), “un currículo no es más que la concreción específica de una teoría pedagógica para volverla efectiva y asegurar el aprendizaje y el desarrollo del grupo particular de alumnos para la cultura, época y comunidad de la que hacen parte”, es el mediador entre la teoría y la realidad en el aula que necesita ser comprobado en su contenido, en su factibilidad de desarrollar procesos de construcción de conceptos por parte de profesores y estudiantes.

La cultura es el resultado de la construcción de la acción social, que posibilita la estructuración de un sentido colectivo de su ser y estar en el mundo, de cohesionar, unir, identificar, interpretar y modificar la acción social, de entender y solucionar los problemas, de conocer y predecir las conductas sociales de los otros, de saber qué pueden esperar los demás de nosotros [2].

La educación artística “es una estrategia necesaria para el desarrollo de la sensibilidad, la creatividad y la visión estética de la vida que, junto con la dimensión ética, contribuye a la formación de ciudadanos cultos, tolerantes y solidarios” [3]. En la cotidianidad del siglo XXI el desafío es manejar el desarrollo del pensamiento crítico, como cuestiones fundamentales para comprender la complejidad del mundo en que vivimos [4].

Sobre esta temática, el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España en 2012, define la competencia cultural y artística como el acto de “conocer, comprender, apreciar y valorar críticamente diferentes manifestaciones culturales y artísticas”, de pensar de manera divergente y convergente,

con iniciativa, imaginación y creatividad.

La competencia cultural y artística “permite aprender a apreciar y respetar las diferentes manifestaciones culturales y artísticas de otros pueblos y raíces del mundo entero. [5].

En el caso que nos ocupa, se torna imperativo realizar un diagnóstico sobre la aplicación del ajuste curricular de la EGB y el BGU en lo concerniente al área de ECA, abordando los diferentes componentes y actores del sistema educativo.

El objetivo de esta investigación es: analizar los desafíos de la propuesta curricular de ECA, mediante la reflexión de lo señalado en el perfil de salida del bachiller y requerimientos para alcanzar competencias artísticas culturales, motivando la participación efectiva de los actores.

El estudio se justifica porque: si bien el currículo 2016 del área de ECA, implementado por el Ministerio de Educación en la EGB y BGU, está a tono con las necesidades de la educación del siglo XXI, no es menos cierto que amerita una reflexión sobre la real posibilidad de llevar a cabo este innovador y prometedor reto educativo, por tanto, avistar, las necesidades para alcanzar lo esperado.

## II. METODOLOGÍA

Se concibió el proyecto de investigación desde un enfoque cualitativo y cuantitativo, documental y descriptivo, identificando los componentes del currículo del área de ECA para cada nivel y en base al análisis, señalar y describir los requerimientos que de hecho deben acompañar para que la aplicación se lleve a cabo conforme ha sido ideada, de manera que a lo largo de la EGB y el BGU, se logre el desarrollo de las competencias culturales y artísticas.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta Los desafíos del área de ECA, como en toda reforma implementada, no obstante, de las intenciones y acciones de los estamentos del sistema educativo de la EGB y BGU, demanda de la preparación y predisposición de directivos y docentes, de allí que se prioriza la comprensión de la organización y secuenciación para dimensionar los cambios que en la praxis enfrentan los docentes, se despliegue con la identidad.

El currículo en la EGB está organizado por los subniveles: preparatoria, elemental, media y superior; y en el BGU, en primero y segundo años, en los que tiene lugar el currículo del área de ECA.

A diferencia de la reforma curricular para la educación básica de 1996, que contempló hasta el décimo año, en el ajuste curricular de 2016, se integra a la EGB y BGU, mediante el perfil de salida, en base a la justicia, la innovación y la solidaridad como valores fundamentales, definidos en un conjunto de capacidades y responsabilidades que los estudiantes han de ir desarrollando; de este modo, se articularían los elementos curriculares, se unificarían esfuerzos y aprovecharían recursos y metodologías, para lograr la formación esperada.

El currículo ajustado a 2016, está formado por siete áreas de conocimiento para la EGB y ocho para el BGU, con sus asignaturas correspondientes. En lo que concierne al área de ECA, se mantiene con el mismo nombre como asignatura en

los dos niveles de educación. El área de conocimiento de ECA organiza los aprendizajes en bloques curriculares que responden a criterios epistemológicos, didácticos y pedagógicos propios, desde el primer año de EGB hasta el BGU, constituyéndose en una división longitudinal de los estudios obligatorios. Los aprendizajes se ordenan en torno a los objetivos formulados en cada subnivel, expresados en términos de capacidades que se pretenden alcanzar sobre los que se articulan los elementos del currículo, que se desarrollará con la carga horaria de 2 horas semanales en todos los subniveles, excepto del subnivel de preparatoria en la EGB que tiene 3 horas.

Ante el currículo obligatorio, las instituciones educativas deben acercarlo a la realidad de su entorno a través del Proyecto Educativo Institucional (PEI) y su correspondiente Proyecto Curricular Institucional (PCI), y los docentes, consensuar los contenidos y la gestión de aula atendiendo los intereses y necesidades estudiantiles. Aquí aparece la primera necesidad de acompañamiento docente para elaborar y desarrollar proyectos de aula. También se torna indispensable reflexionar sobre el tiempo asignado en cada subnivel, de forma que se empodere la formación para la vida.

La reforma curricular de ECA plantea 12 objetivos integradores de los subniveles, enunciados de manera secuencial hacia el logro del perfil de salida del BGU debidamente sistematizados.

El área de ECA es presentada como una propuesta abierta y flexible, que orienta, pero no limita, los procesos de enseñanza y aprendizaje, definiéndola mediante los enunciados: centrada en la vida cultural y artística contemporánea; basada en el trabajo que integre distintos aspectos y disciplinas de las artes y la cultura; vinculada a aprendizajes de otras áreas, a las que puede contribuir a través del diseño y desarrollo de proyectos específicos; toma en cuenta la cultura del entorno próximo; caracterizada por la acción y la participación; pendiente de las capacidades expresivas y los saberes que los estudiantes adquieren fuera de la escuela en base a experiencias vinculadas a la cultura; facilitadora de espacios para la expresión, la creatividad y el desarrollo emocional; generadora de espacios de inclusión que contribuyen al desarrollo armónico e integral de los estudiantes; capaz de revalorizar los saberes culturales y artísticos ancestrales, a través de los cuales reconoce y respeta la diversidad cultural del patrimonio, contribuyendo a su conservación y renovación.

En la anterior definición del área de ECA, se marca la pauta del trabajo por proyectos de manera inexorable, permitiendo a los estudiantes: comunicar emociones e ideas mediante el uso de distintos lenguajes artísticos; interesarse y participar activamente de la vida cultural y artística de su entorno, reconociendo la riqueza que supone vivir en una sociedad intercultural y plurinacional; desarrollar el pensamiento crítico y reflexivo mediante la apreciación y el análisis de producciones culturales y artísticas de distintos géneros y culturas; disfrutar e integrar las actividades culturales y artísticas contemporáneas en su vida personal y laboral; valorar el patrimonio cultural propio y universal, incentivando, al mismo tiempo, nuevas creaciones; percibir, analizar, experimentar e investigar las posibilidades de los distintos lenguajes artísticos, con una actitud de curiosidad

permanente; idear soluciones originales e imaginativas para problemas complejos de su vida personal y laboral; desarrollar una actitud de tolerancia y resiliencia, así como habilidades emocionales y personales que les permitan comprenderse y comprender al otro, así como, aceptar y respetar la diversidad. Por tanto, propicia el desarrollo de habilidades cognitivas y afectivas que fortalecen el desarrollo personal.

La contribución al perfil de salida del bachillerato como declaratoria responde a la necesidad de equilibrar la formación humanista con la técnica, no obstante, el impulso, la distribución de la carga horaria, la formación y capacitación docente son mínimas.

La reforma educativa asume a la ECA como un área diversa y amplia, que integra las disciplinas o lenguajes de: artes visuales, música, teatro, fotografía, cine, danza y otras modalidades artísticas vinculadas a lo audiovisual, para que los estudiantes estén en posibilidad de “disfrutar, apreciar y comprender los productos del arte y la cultura, así como de expresarse a través de los recursos de los distintos lenguajes artísticos; y, sobre todo aprender a vivir” [6, p. 55]. Para el logro de lo propuesto, atendiendo criterios curriculares de organización, secuenciación e integración de contenidos se definen bloques curriculares estructurados en las dimensiones de: personal y afectiva-emocional; social y relacional; simbólica y cognitiva, con el fin de facilitar a los docentes, la comprensión y elaboración de proyectos. Transversalmente la propuesta considera cuatro ejes que ayudan a definir las destrezas con criterios de desempeño: (1) observar, (2) explorar y expresar, (3) indagar e investigar, y (4) convivir y participar.

Se plantean ocho objetivos por lograr al finalizar la escolarización obligatoria, que parecen difíciles de llevar a cabo o hasta utópicos; sin embargo, no se puede desconocer la dimensión a la que conduce la inserción de la formación artística y participación cultural ante las exigencias de la sociedad del siglo XXI. El desafío es gigante para pasar de una práctica disciplinar a una holística, los docentes requieren ser capacitados en el diseño y ejecución de proyectos, adecuación de espacios y equipamiento en tecnologías; no obstante, en el supuesto de disponer con lo señalado, la carga horaria es otro limitante; en tal virtud, en el plano realista, no es posible alcanzar un perfil como el ideado bajo las condiciones curriculares vigentes.

De los ocho objetivos generales del área de ECA, cinco de ellos están redactados en función de crear producciones artísticas propias o colectivas; sin embargo, en el perfil de salida del bachillerato no coincide con los objetivos generales porque se plantea que los estudiantes sepan apreciar el patrimonio cultural, disfruten y participen activamente de la vida cultural y artística, desarrollen su pensamiento crítico; entre otros aspectos.

En el mapa de contenidos conceptuales y específicamente en el bloque 3, afín con el entorno: espacio, tiempo y objetos, existe la repetición de los mismos, tanto en el décimo año de EGB como en el último año del BGU; pero, no contempla los concernientes al arte y cultura ecuatoriana, con el propósito de valorar nuestra identidad, mediante el análisis de las distintas producciones culturales y artísticas. Los contenidos conceptuales por ejes transversales numéricamente se detallan en la Tabla 1:

TABLA I  
CONTENIDOS CONCEPTUALES POR EJES TRANSVERSALES

CONTENIDOS CONCEPTUALES POR EJES TRANSVERSALES					
SUBNIVELES DE EDUCACION	OBSERVAR	EXPLORAR E INVESTIGAR	INDAGAR E INVESTIGAR	CONVIVIR Y PARTICIPAR	TOTAL
EGB PREPARATORIA	3	9	3	6	21
EGB ELEMENTAL	3	15	8	5	31
EGB MEDIA	3	9	7	4	23
EGB SUPERIOR	5	10	10	9	34
EGB BACHILLERATO	4	13	8	7	32
TOTAL	18	56	36	31	141

La propuesta curricular fundamentada en el modelo pedagógico del socio-constructivismo, da énfasis al eje transversal “Explorar y expresar” en todos los niveles de EGB y BGU, considerando 56 contenidos conceptuales con el propósito de permitir a los estudiantes la consecución de proyectos mediante el empleo de los diferentes lenguajes artísticos. El eje transversal “Indagar e investigar”, pretende cultivar una actitud investigativa permanente en los alumnos cuando se trate de apreciar el patrimonio cultural tangible e intangible y valorar los productos culturales y artísticos, a través de 36 contenidos conceptuales. El eje transversal “Convivir y participar”, mediante 31 contenidos conceptuales, propicia el trabajo en equipo, la colaboración de los estudiantes durante el desarrollo de los proyectos de índole colectivo y de esta manera fortalecer las relaciones intrapersonales e interpersonales. Finalmente, el eje transversal “Observar”, abordando 18 contenidos conceptuales debería destinar un porcentaje de contenidos conceptuales similar a los ejes transversales “Indagar e investigar” y “Convivir y participar”, puesto que la creación de productos artísticos necesita más tiempo para la observación de la naturaleza exterior y su relación con el mundo interior y desde ahí continuar con la metodología artística, que conlleve a cumplir el objetivo mencionado.

En los contenidos conceptuales se observa que el eje – explorar y expresar- es el más representativo; sin embargo, cabe señalar que si el 62.50% de los objetivos generales del área de ECA están concebidos con el propósito de crear productos artísticos, individuales y/o colectivos, que para fortalecerlos, se deberían impartir contenidos conceptuales sobre procesos de creación artística en todos los niveles de educación obligatoria, lo cual fortalecería el desarrollo de proyectos artísticos y culturales.

El currículo en análisis, también presenta la contribución del área de ECA, a los objetivos generales del área, por cada subnivel, lo cual debe ser aprovechado por los docentes a la hora de diseñar sus proyectos. En el proceso de concreción del currículo, basados en criterios de evaluación, se proponen matrices de destrezas con criterios de desempeño para cada bloque curricular en el subnivel correspondiente, categorizados como básicos imprescindibles y básicos deseables. Para los investigadores, conviene utilizar el léxico universal de las competencias, esto es, conocimiento, habilidades y destrezas.

#### IV. CONCLUSIONES

El diseño curricular sustentado en la organización y secuenciación del currículo de la EGB, lineamientos metodológicos y destrezas con criterios de desempeño e indicadores, orientados por los elementos del perfil de salida del bachillerato a los que contribuye, constituye un avance importante en el mejoramiento de la educación, empero, a la hora de llevar a la praxis el currículo del área de ECA, no es suficiente. Varios de los objetivos generales del área de ECA parecen utópicos o difíciles de lograr; no obstante, se valora la dimensión que conduce a la formación artística y cultural para enfrentar los desafíos de la sociedad cambiante del siglo XXI. La integración de lenguajes, artes o asignaturas, genera la necesidad de proporcionar textos guías oficiales, como base para la elaboración de proyectos educativos de ECA, porque los docentes especialistas se constituyen en generalistas. El pasar de la enseñanza por asignaturas a proyectos que integren varias artes, significa que los docentes especialistas se formen o capaciten en el diseño de proyectos, hecho que debe ser complementado con equipamiento tecnológico y otros recursos que den cabida a la auténtica aplicación de las TIC en todo el proceso de enseñanza aprendizaje. Los procesos de creación artística se producen cuando los contenidos conceptuales están organizados adecuadamente, situación que no se evidencia en la propuesta curricular; más bien deberían estar orientados al desarrollo de lenguajes expresivos artísticos y culturales. Es imperativo el diagnóstico del área de ECA, tanto para valorar logros alcanzados, como para implementar los elementos que permitan al estudiante apreciar el patrimonio cultural, disfrutar y participar activamente de la vida cultural y artística, desarrollar su pensamiento crítico; entre otros aspectos.

#### REFERENCIAS

- [1] P. Arias, "LA CULTURA. Estrategias conceptuales para entender la identidad, la diversidad, la alteridad y la diferencia," 1st ed, Ed. Quito, Ec: Abya-Yala, 2002.
- [2] OEI - Fundación Santillana, 2009. [En línea]. Available: [http://www.oei.es/historico/publicaciones/detalle\\_publicacion.php?id=6](http://www.oei.es/historico/publicaciones/detalle_publicacion.php?id=6).
- [3] CFE Resolución CFE N° 111/10, 2010.
- [4] C. S. Romero, "Aplicación de estrategias didácticas en contextos desfavorecidos," UNED, 1st ed, Madrid, ES, 2013.

# Evaluación de inhibidores de hidratos en sistemas a presión atmosférica y alta presión

Marvin Ricaurte<sup>a</sup>, Oswaldo Castillo<sup>b</sup>, Alfredo Vilorio<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Escuela de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Yachay Tech, Urcuquí, Ecuador

<sup>b</sup> Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

mricaurte@yachaytech.edu.ec, olcastillom@gmail.com, dviloria@yachaytech.edu.ec

**Resumen**—En este trabajo se realizó un estudio experimental de los procesos de formación y disociación de hidratos en sistemas a presión atmosférica y a alta presión. Se evaluó el potencial de compuestos naturales (provenientes de fuentes no comestibles), como inhibidores para prevenir problemas de aseguramiento de flujo por la formación de hidratos en operaciones de producción y procesamiento de gas natural. En las pruebas a presión atmosférica se empleó tetrahidrofurano (THF) como molécula huésped. Se diseñó y ensambló un equipo a alta presión para evaluar el comportamiento de los hidratos de gas a altas presiones y bajas temperaturas, empleando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>).

**Palabras Claves**—Alta presión, inhibidores, hidratos, compuestos naturales, presión atmosférica.

**Abstract**—In this work, processes of hydrate formation and dissociation at atmospheric pressure and high pressure conditions were experimentally studied. The potential of some natural compounds (from non-edible sources) was evaluated as thermodynamic inhibitors to prevent flow assurance problems due to hydrates formation in natural gas production and processing operations. In atmospheric pressure tests, tetrahydrofuran (THF) was used as guest molecules. A high pressure equipment was designed and commissioned to evaluate the behavior of gas hydrates at high pressure and low temperatures, using carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and methane (CH<sub>4</sub>).

**Keywords**—Atmospheric pressure, high pressure, hydrates inhibitors, natural compounds.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el estudio de hidratos ha tenido un aumento exponencial sobre todo en los últimos años, donde se ha considerado como punto importante el problema asociado a la presencia de estos sólidos en la producción de hidrocarburos. La formación de hidratos representa un gran reto tecnológico para el aseguramiento de flujo y trae consigo alto impacto económico, debido a daños ocasionados en las líneas de flujo, equipos, válvulas y accesorios afectando directamente la producción, la seguridad laboral y el ambiente. En este sentido se hace necesario desarrollar nuevas tecnologías y técnicas de control, basadas en la mitigación de los efectos negativos ocasionados por los hidratos [1]. Las técnicas empleadas para la prevención o inhibición de los hidratos consisten en: aislamiento térmico del sistema, calentamiento de líneas y equipos y uso productos químicos denominados inhibidores; siendo esta última técnica la más utilizada en la industria del gas natural y en la explotación de petróleo [2].

Los inhibidores de hidratos pueden clasificarse dependiendo de su mecanismo de acción en termodinámicos y cinéticos. Los inhibidores termodinámicos, son aditivos

que desplazan la cristalización de hidratos a condiciones más críticas, es decir, temperaturas de formación más bajas o presiones más altas. Este tipo de inhibidores actúan disminuyendo el potencial químico del agua de diversas maneras: (i) rompiendo los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua, (ii) compitiendo con los hidrocarburos por la disponibilidad de estas moléculas, o (iii) formando nuevos puentes de hidrógeno con el átomo de oxígeno del agua [1]. Los ejemplos más representativos de inhibidores termodinámicos son el metanol (MeOH) y el monoetilenglicol (MEG). Por su parte, los inhibidores cinéticos interfieren disminuyendo la velocidad a la cual los hidratos se forman más no previniendo su formación. Estos compuestos generan una barrera estérica que impide o retarda el crecimiento de la estructura cristalina. También, actúan evitando la agregación de los cristales de hidratos, es decir, impiden la aglomeración de microcristales de hidratos y el subsiguiente crecimiento de éstos [2].

Entre los inhibidores de hidratos, los más comúnmente utilizados son los termodinámicos, dada su efectividad y simplicidad de aplicación. Sin embargo, en la actualidad su uso está siendo cuestionado, debido principalmente a su toxicidad, que pueden traer consigo gran impacto a la salud, daños al ambiente, además de los altos costos operativos asociados a las altas dosis que se utilizan de inhibidores termodinámicos, disposición y recuperación de desechos [1].

En este trabajo se presenta la evaluación de potenciales inhibidores de hidratos en sistemas a presión atmosférica y a alta presión, con el fin de identificar compuestos naturales polidroxilados (provenientes de fuentes no comestibles) que sirvan como materia prima en la formulación de inhibidores de hidratos, aplicables en las operaciones de producción y procesamiento de hidrocarburos, bajo los conceptos de Química Verde y la valorización de desechos agroindustriales, convirtiéndolos en productos de valor agregado.

## II. METODOLOGÍA

### A. Sistema a presión atmosférica

El equipo a presión atmosférica, está compuesto principalmente por 2 celdas cilíndricas de doble chaqueta de material de vidrio (Fig. 1). Las celdas poseen una capacidad de 250 mL, y se encuentran conectadas en paralelo a un baño térmico para el control de la temperatura. A su vez, estas celdas se encuentran colocadas sobre planchas de agitación, a fin de homogeneizar la solución en estudio mediante agitadores magnéticos. Durante los experimentos se realizan mediciones de temperatura empleando

termómetros de mercurio y termocuplas de hierro-constantan (error:  $\pm 0,1$  K). Todo el sistema está conectado a una interfaz de adquisición de datos, la cual registra en un computador las mediciones de temperatura a cada segundo.

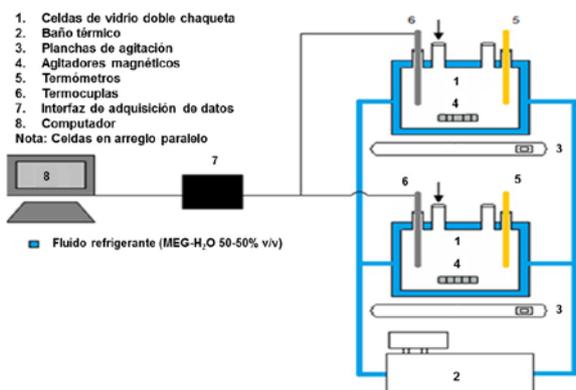


Fig. 1. Esquema experimental del equipo a presión atmosférica.

Para llevar a cabo la evaluación de los compuestos propuestos como potenciales inhibidores de hidratos, se ajusta el baño térmico a la temperatura inicial ( $T_0$ ), y se agregan 50 g de la solución a evaluar a cada una de las celdas, se colocan agitadores magnéticos, se insertan la termocupla y el termómetro a cada celda y se inicia la agitación (300 rpm). Posteriormente, el sistema se enfría fijando la temperatura objetivo ( $T_{obj}$ ) en el baño térmico. Se deja evolucionar el proceso de formación de hidratos hasta que las temperaturas en las celdas se estabilizan a  $T_{obj}$ . Finalmente, se vuelve a ajustar la temperatura del baño térmico a  $T_0$  y al ser alcanzada esta temperatura se detiene el registro de datos. Cada una de las pruebas se realizan por duplicado y los resultados obtenidos se muestran como el promedio de las dos evaluaciones.

El poder inhibidor de un aditivo evaluado en el sistema a presión atmosférica, se define en (1) en términos de la depresión térmica ( $\Delta T$ ) entre la temperatura de formación de hidratos ( $T_{form}$ ) a la concentración del aditivo, con respecto a una temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ). Se considera  $T_{ref}$  como la temperatura de formación de hidratos sin aditivos, la cual para el THF es 277,6 K [3].

$$\Delta T = T_{ref} - T_{form} \quad (1)$$

El THF es un éter cíclico soluble en agua, capaz de formar hidratos de estructura tipo sII, a presión atmosférica [3].

### B. Sistema a alta presión

El montaje experimental a alta presión (Fig. 2) consiste principalmente en un reactor Parr de 300 mL de capacidad, sumergido directamente en una cubeta de Plexiglass. La cubeta está conectada a un baño térmico por medio de mangueras para la circulación del fluido refrigerante. El reactor está equipado con agitación mecánica que permite la homogeneización de las soluciones en estudio, un manómetro diferencial y una termocupla para monitorear la presión y la temperatura al interior del reactor, y una serie de válvulas que permiten: (a) alimentar el reactor con el gas de trabajo, (b) conexión del manómetro digital y (c) despresurización del sistema.

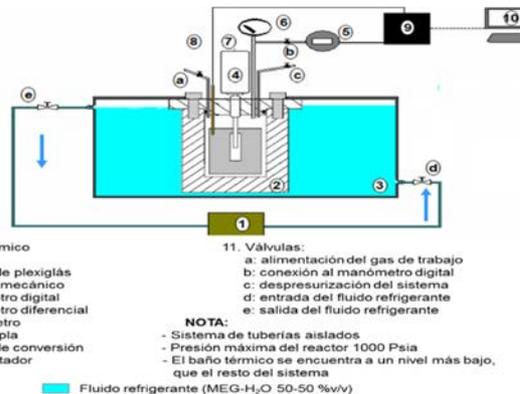


Fig. 2. Esquema del equipo a alta presión.

La selección de la capacidad del reactor se fundamentó en el hecho de maximizar la conversión de agua en hidratos durante el proceso de cristalización de estos sólidos, ya que al ser un proceso exotérmico, se podrían obtener variaciones apreciables en el perfil de temperatura durante los experimentos que reflejen los picos exotérmicos observados. Asimismo, el propósito de sumergir el reactor dentro de la cubeta es incrementar el área de contacto entre el reactor y el fluido refrigerante y de esta forma aumentar la transferencia de calor, garantizando que todo el sistema se encuentre a la misma temperatura. Es importante destacar que la conceptualización, el montaje y puesta a punto del equipo se realizó como parte de los objetivos de la investigación.

El procedimiento llevado a cabo para la evaluación de inhibidores de hidratos en el sistema a alta presión consiste principalmente en: (i) cargar el reactor con la solución y el gas de estudio (hasta la presión deseada,  $P_0$ ) fuera de la cubeta, (ii) sumergir el reactor dentro del fluido refrigerante, (iii) realizar las conexiones necesarias al reactor (manómetro digital, termopar y agitador), (iv) encender el circuito de refrigeración a la temperatura deseada ( $T_0$ ), (v) encender la agitación a una velocidad de 300 rpm y ajustar la temperatura del baño a la temperatura de estudio ( $T_{obj}$ ), (vi) dejar evolucionar el sistema hasta la estabilización de la presión y la temperatura, (vii) incrementar nuevamente la temperatura hasta el valor inicial  $T_0$ . Durante todo el proceso se realiza el registro de presión y temperatura del sistema.

La selección de las condiciones iniciales ( $P_0$ ,  $T_0$ ) depende del tipo de gas empleado ( $\text{CO}_2$  o  $\text{CH}_4$ ); mientras que  $T_{obj}$  se debe establecer dependiendo del tipo y la concentración del inhibidor a estudiar. El poder inhibidor de un aditivo evaluado en el sistema a alta presión, se define a partir de la capacidad de dicho aditivo de desplazar la curva de estabilidad de los hidratos, hacia condiciones de formación más severas, es decir, disminución de la temperatura o incremento de la presión [2]. A partir de los datos experimentales se construyen diagramas presión-temperatura, que permiten identificar las distintas etapas del proceso de formación y disociación de hidratos [4]. El punto de equilibrio trifásico hidrato-líquido-vapor (HLV), se determina experimentalmente a partir del cambio de pendiente de la curva de disociación de hidratos (Punto rojo – Fig. 3), de acuerdo a la metodología propuesta por Zang y Liang [5] (las coordenadas del punto se denotan  $T_{eq}$  y  $P_{eq}$ ).

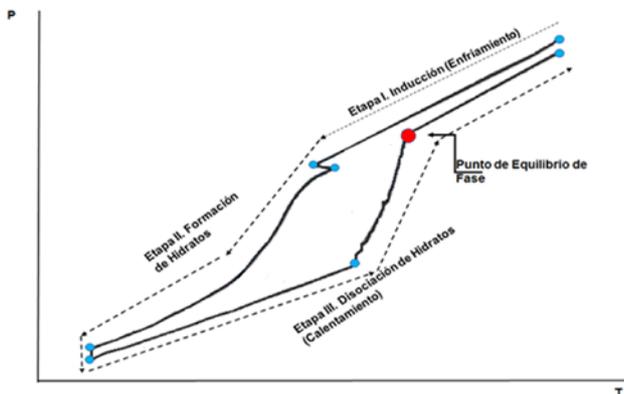


Fig. 3. Diagrama P-T del proceso de formación y disociación de hidratos [5].

Para una presión dada, la depresión térmica se calcula empleando (1), tomando como referencia la temperatura de formación de hidratos del gas puro (sin inhibidor), determinada mediante la correlación de Adisasmito [6].

### C. Características y preparación de las muestras evaluadas.

Se evaluaron, tanto inhibidores comerciales (MeOH y MEG) como muestras propias (identificadas como A y B), basadas en compuestos polihidroxilados de origen natural. Estos compuestos abarcan grupos tales como polisacáridos, polifenoles y antraquinonas, entre otros. Las soluciones fueron preparadas dependiendo de la concentración deseada de aditivo ([C]), en proporción másica (%m/m). Los inhibidores de hidratos comerciales se probaron con la finalidad de validar el montaje experimental y la metodología propuesta.

## III. RESULTADOS

### A. Evaluación de aditivos como potenciales inhibidores de hidratos a presión atmosférica

La evaluación de los compuestos polihidroxilados se realizó a distintas concentraciones. En la Fig. 4 se muestra la depresión térmica obtenida para cada uno de los compuestos durante la formación de hidratos de THF.

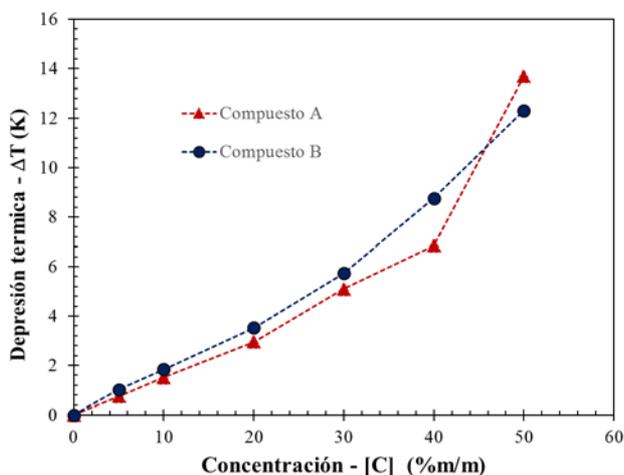


Fig. 4. Depresión térmica en la formación de hidratos de THF en presencia de compuestos polihidroxilados.

Se puede observar que el poder inhibidor de los compuestos A y B aumenta de forma proporcional a la

concentración de los aditivos. La tendencia general muestra que el compuesto B tiene mayor poder inhibidor. Sólo en el caso de la concentración de 50% m/m, el aditivo A supera el poder inhibidor del aditivo B. La relación observada entre la concentración de los aditivos y la depresión térmica permite inferir que la acción de los compuestos estudiados es de tipo termodinámica, ya que ambos compuestos tienden a disminuir la temperatura de formación de hidratos debido a la interacción que tienen con el agua [1].

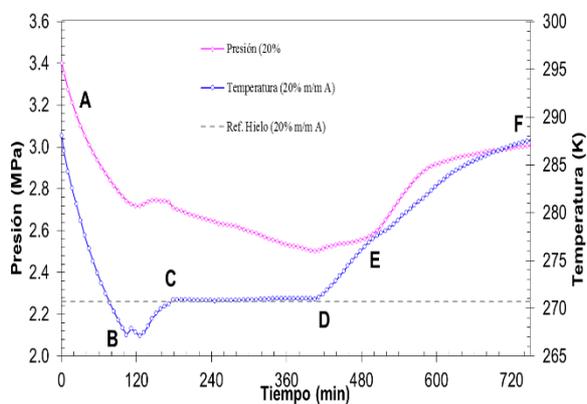
### B. Evaluación de aditivos como potenciales inhibidores de hidratos a alta presión

Tomando como referencia el comportamiento presentado por el compuesto A como inhibidor de hidratos en el sistema a presión atmosférica, se evaluó el comportamiento de dicho compuesto en el sistema a alta presión, empleando  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  como moléculas formadoras de hidratos y a distintas concentraciones de A. En la Fig. 5 se muestra el proceso de formación de hidratos de  $\text{CO}_2$  y con 20% m/m del compuesto A.

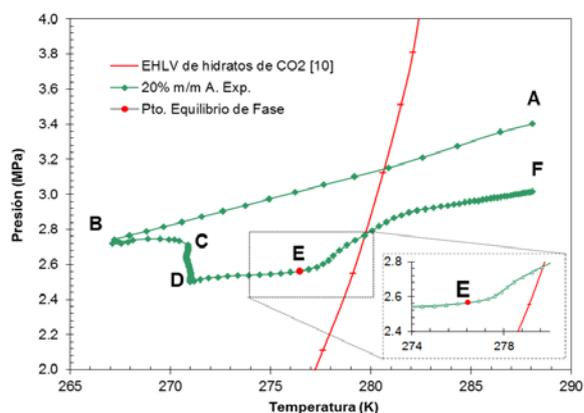
Como se observa, el experimento inicia fuera de la zona de formación de hidratos de  $\text{CO}_2$  (punto A). La temperatura disminuye de forma gradual hasta que ocurre un cambio exotérmico (punto B) debido a la formación de sólidos dentro del reactor, lo cual ocurre a temperaturas menores a la temperatura de formación de hielo. Para estos casos, no se puede reconocer que tipo de sólido se está formando (hielo, hidratos o una combinación de ambos). La estrategia empleada para disipar la duda, fue aumentar la temperatura del sistema hasta alcanzar una temperatura superior a la temperatura de cristalización de hielo (punto C), con la finalidad de disociar el hielo que se pudo haber formado y de esta manera asegurar que en el sistema sólo existan hidratos. Inmediatamente después del punto C, se produce una disminución significativa de la presión, producto del consumo de gas (segmento CD), aun cuando la temperatura del sistema es superior a la temperatura de formación de hielo. Esto indica consumo de gas producto del encapsulamiento de las moléculas de  $\text{CO}_2$  durante el proceso de formación de hidratos [1,4]. La formación de hielo en el sistema no es una limitación, al contrario, es una manera de inducir la formación de hidratos, ya que los cristales de hielo formados actúan como centro de nucleación en el proceso de formación de los hidratos [4].

Durante la disociación (segmento DEF), el cambio de pendiente ocurre en el punto E, y de acuerdo a la metodología propuesta, dicho punto corresponde al equilibrio HLV ( $T_{eq} = 276,4 \text{ K}$ ;  $P_{eq} = 2,6 \text{ MPa}$ ) para las condiciones evaluadas.

Como se observa en la Fig. 5b, ocurre un desplazamiento del equilibrio con respecto a la curva de estabilidad del hidrato de  $\text{CO}_2$  puro, evidenciando que el compuesto A posee un poder inhibidor igual a  $\Delta T = 2,8 \text{ K}$  a 2,6 MPa. Resultados similares fueron obtenidos al evaluar el compuesto A empleando  $\text{CH}_4$ . En la Tabla I se resumen los resultados obtenidos en la evaluación del compuesto A en el sistema a alta presión empleando  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .



(a)



(b)

Fig. 5. Proceso de formación/disociación de hidratos de CO<sub>2</sub> con 20% m/m del compuesto A: (a) Comportamiento en función del tiempo, (b) Diagrama P-T.

TABLA I

PODER INHIBIDOR DEL COMPUESTO A EN LA FORMACIÓN DE HIDRATOS DE CO<sub>2</sub> Y CH<sub>4</sub>

Aditivo	Gas	[C] (% m/m)	Peq (MPa)	Teq (K)	ΔT (K)
A	CO <sub>2</sub>	15	2,6	277,4	1,9
		20	2,6	276,5	2,8
	CH <sub>4</sub>	15	3,5	274,2	1,9
		20	4,0	274,8	2,8

El poder inhibitor del compuesto A en el sistema a alta presión, viene dado por la capacidad de dicho compuesto de desplazar la curva de equilibrio HLV y se cuantifica por la depresión de la temperatura de formación de hidratos. Este parámetro presentó valores máximos de 2,8 K en ambos sistemas (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) a concentraciones de 20 % m/m. Es decir, el compuesto A posee propiedades que permiten formular un inhibidor termodinámico de hidratos. Esta afirmación se realiza al observar que a medida que se incrementa su concentración, aumenta en el valor de ΔT [1,2]. A fin de ampliar este estudio se recomienda evaluar concentraciones adicionales de A. El compuesto B no fue evaluado en el sistema a alta presión debido a limitaciones en la disponibilidad de las muestras.

#### IV. CONCLUSIONES

Los compuestos polihidroxiados identificados como A y B, presentaron potencial como inhibidores termodinámicos de hidratos, con una disminución en la temperatura de

formación de hidratos de THF proporcional a su concentración. El equipo a alta presión ensamblado como parte de este estudio, permite evaluar los procesos de formación y disociación de hidratos de gas, reproduciendo el comportamiento característico de este tipo de estructuras cristalinas, asociado a cambios significativos de presión y temperatura. El poder inhibitor del compuesto A evaluado en el sistema a alta presión demostró que a partir de este compuesto es posible la formulación de un inhibidor termodinámico de hidratos, basado en materia prima natural. Estudios posteriores de factibilidad técnica y económica son necesarios para determinar la viabilidad de esta propuesta.

#### REFERENCIAS

- [1] Sloan E., (2003). "Fundamental principles and applications of natural gas hydrates". Nature, 426, 353-363.
- [2] Kelland M., (2006). "History of the development of low dosage hydrate inhibitors. Energy&Fuels. 20 (3), 825-847.
- [3] Devarakonda S., Groysman, A., Myerson A., (1999). "THF-water hydrate crystallization": an experimental investigation". J. Crystal Growth 204, 525-538.
- [4] Ricaurte M.; Dicharry C.; Renaud X.; Torré J., (2014). "Combination of surfactants and organic compounds for boosting CO<sub>2</sub> separation from natural gas by clathrate hydrate formation". Fuel 122, 206-217.
- [5] Zang X.; Liang D., (2017). "Phase equilibrium data for semiclathrate hydrate of synthesized binary CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub> gas mixture in tetra-n-butylammonium bromide aqueous solution". J. Chem. Eng. Data 62, 851-856.
- [6] Adisasmito S.; Frank R.; Sloan D., (1991). "Hydrates of carbon dioxide and methane mixtures". J. Chem. Eng. Data 36, 68-71.

# Algas marinas: una biomasa subutilizada como fuente de precursores petroquímicos

Jessenia López, Eduardo Vhymeister, Román Rodríguez.

Departamento de Energía Mecánica/Ingeniería Petroquímica/Escuela Politécnica del Ejército-Latacunga, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador

estefa.jess@gmail.com, eduardo.vhymeister@gmail.com, rrodriguez@espe.edu.ec

**Resumen**—Se determinaron las mejores condiciones para la extracción de alginato de sodio a partir del alga parda (*Padina durvillaei*) y su transformación hidrotérmica a ácido láctico, la cual fue analizada mediante superficie de respuesta Box-Behnken. Las variables evaluadas para la extracción del alginato de sodio a partir del alga fueron: temperatura, tiempo de reacción y concentración alcalina, donde la variable de respuesta fue el rendimiento de alginato. La producción de ácido láctico a partir de alginato y alga se estudió considerando las variables: temperatura, tiempo de reacción y masa de catalizador. La identificación de los grupos funcionales del alginato y la evaluación de la razón ácido manurónico/ácido gulurónico (M/G) se realizó con Espectroscopia Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR). El peso molecular del alginato se determinó con viscosimetría capilar y el comportamiento térmico con Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA). El ácido láctico fue cuantificado directamente en el producto final de la reacción por Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Movilidad Iónica (GC-IMS). De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la biomasa marina se puede extraer diversos compuestos orgánicos de alto valor agregado, debido a la despolimerización de su estructura en el proceso hidrotermal.

**Palabras Claves**—Algas pardas, alginato de sodio, ácido láctico, superficie de respuesta.

**Abstract**—The best conditions were determined for the extraction of sodium alginate from brown algae (*Padina durvillaei*) and its hydrothermal transformation to lactic acid, which was analyzed by the Box-Behnken response surface. The variables evaluated for the extraction of sodium alginate from the algae were: temperature, reaction time and alkaline concentration, where the response variable was alginate yield. The production of lactic acid from alginate and algae was studied considering the variables: temperature, reaction time and catalyst mass. The identification of the alginate functional groups and the evaluation of the ratio mannuronic acid / guluronic acid (M / G) was performed with Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The molecular weight of the alginate was determined with capillary viscosimetry and the thermal behavior with Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA). The lactic acid was quantified directly in the final product of the reaction by Gas Chromatography coupled to Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS). According to the results obtained from marine biomass, it is possible to extract various organic compounds with high added value, due to the depolymerization of their structure in the hydrothermal process.

**Keywords**—Brown seaweed, sodium alginate, lactic acid, surface response methodology.

## I. INTRODUCCIÓN

Las algas pardas contienen en su estructura un carbohidrato natural hetero-lineal conformado por bloques

de ácido manurónico (M) y ácido gulurónico (G) denominado alginato, el cual representa hasta un 30% del peso del alga [1], [2]. El alginato debido a su capacidad de formar geles, biocompatibilidad, hidrofiliidad es utilizado en la industria química, alimenticia, textil, farmacéutica e incluso en aplicaciones biomédicas [3]-[5]. En la actualidad este polisacárido se extrae en diversas partes del mundo como Inglaterra, Japón, Estados Unidos, México, Chile, etc; pero no en Ecuador, a pesar de contar con una gran cantidad de algas pardas en sus costas lo que abriría una gran oportunidad industrial en la explotación de este recurso [6], [7].

El alginato puede ser transformado químicamente en otras moléculas orgánicas, siendo el tratamiento hidrotérmico para obtener ácidos orgánicos (láctico, acético, ácido fórmico, ácido málico, etc) un método versátil y sostenible con el medio ambiente [8], [9].

El ácido láctico ha estado en el centro de atención de muchos investigadores debido a su amplia aplicabilidad en diversos campos: en la industria química, farmacéutica y alimenticia como acidulante, conservante, solubilizador, controlador de pH, entre otros y en la industria petroquímica como precursor de ácido poliláctico [10], [11].

El hidrotatamiento del alginato utiliza catalizadores basados en óxidos metálicos y/o en soluciones alcalinas en reactores tipo bach, para obtener 13 % de rendimiento de ácido láctico [12].

La presente investigación demuestra que la aplicación de tratamiento hidrotérmico generado por microondas permite extraer el alginato y transformarlo a ácido láctico, e inclusive, puede provocar dicha transformación directamente a partir del alga, sin extraer previamente el polisacárido.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Alga

Las algas recolectadas en la zona de Machalilla-Ecuador (1° 29' 3.99" S; 80° 46' 43.91" W), fueron lavadas con agua destilada, secadas a 50°C durante 24 horas en un horno convectivo (Boeco Isotherm, OFA, USA), molidas en un procesador de alimentos (Miniprocador, UMCO, USA) durante 10 min, tamizadas con un mesh 40 (Tamizadora analítica AS 200 basic, Retsch, USA) y almacenadas en bolsas de polipropileno oscuras hasta su tratamiento. La identificación de la especie se realizó mediante ficología [13].

### B. Extracción del alginato

1 g de algas fueron acidificadas con HCl 2 M durante 24h y luego lavadas con agua destilada. La biomasa resultante se

colocó dentro de un reactor, se agregó 30 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y se digirió utilizando un sistema de microondas (Topwave, Analytik Jena, Alemania), variando la temperatura (90, 100 y 110 °C), el tiempo de reacción (60, 90 y 120 min), la concentración de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (2.0, 2.5 y 3.0 %). El producto líquido de la digestión se centrifugó a 6000 rpm por 15 minutos se separó el sobrenadante y se añadió 60 mL de etanol al 96% para precipitar el alginato que finalmente fue secado a 50 °C, triturado y almacenado para su posterior análisis [14].

### C. Producción de ácido láctico

La conversión hidrotérmica de alginato de sodio y del alga parda se realizó en un reactor del sistema de microondas, variando la temperatura (180, 200 y 220 °C), masa de CaO (0, 0.4 y 0.6 g) y tiempo de reacción (30, 60 y 90 min). Después de la reacción el reactor se colocó en un baño de agua fría durante 20 min. Antes de analizar las muestras se disminuyó el pH a 1.5, se centrifugó y se filtró.

### D. Diseño experimental

El diseño Box- Behnken fue utilizado para optimizar la extracción de alginato de sodio y la producción de ácido láctico. La interacción de las variables fue expresada en (1) de segundo orden.

$$Y = B_0 + \sum B_i \cdot x_i + \sum B_{ii} \cdot x_{ii} + \sum B_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + e \quad (1)$$

donde,  $Y$  es el rendimiento,  $x_i$  y  $x_j$  son las variables de estudio,  $B_0$ ,  $B_i$ ,  $B_j$ ,  $B_{ij}$  son los coeficientes de la regresión.

### E. Caracterización del alginato de sodio.

Se determinó la razón M/G del alginato de sodio mediante el análisis de espectroscopia infrarroja vibracional con transformada de Fourier (FTIR), considerando las bandas a 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  [15].

La viscosidad intrínseca se calculó mediante las gráficas de Huggs y Kramer, y el peso molecular mediante (2).

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha \quad (2)$$

donde,  $[\eta]$  es la viscosidad intrínseca,  $M$  es la masa molar promedio,  $K$  es 0.073  $\text{cm}^3/\text{g}$ . y  $\alpha$  es 0.92 constantes específicas polímero/ solvente [16].

La temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión de las muestras de alginato se analizaron mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC 1, Mettler Toledo, Suiza), en una cápsula de aluminio a una velocidad de calentamiento de 10°C/min en el rango de 25°C a 550°C a 90 mL/min de nitrógeno.

En el análisis termogravimétrico (TGA Pyris 1, Perkin Elmer, USA) las muestras de alginato se calentaron desde 25°C hasta los 50 °C con un flujo de nitrógeno de 20 mL/min, luego de 0.5 minutos se calentó hasta 900 °C con un flujo de nitrógeno de 20 mL/min; finalmente, se mantuvo a temperatura isotérmica durante 3 minutos en una tasa de calentamiento de 10 °C/min.

### F. Identificación y cuantificación del ácido láctico

Para cuantificar el ácido láctico presentes en las muestras se utilizó cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de movilidad iónica (GC-IM, Flavour Spec, G.A.S, Alemania). La preparación del ácido láctico estándar

y las muestras, se colocaron individualmente 50 uL en un vial de vidrio de espacio de cabeza de 20 mL, sellado herméticamente por una tapa magnética de politetrafluoretilén. Antes del análisis GC-IMS, las muestras se introdujeron automáticamente en la incubadora durante 5 minutos a 55°C bajo agitación constante de 500 rpm. Se introdujo una muestra de espacio de cabeza de 100  $\mu\text{L}$  a través de un inyector splitless (75°C). El GC fue operado con nitrógeno a un flujo constante de 25  $\text{mL min}^{-1}$ , utilizando una columna capilar de sílice fundida de 15 m x 0.25 mm ID con una fase estacionaria SE-54 no polarizada y no unida (5% de difenilo, 94% dimetilo y 1% de vinilpolisiloxano), a una temperatura constante de 75°C ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ). Se aplicaron una intensidad de campo eléctrico IMS de 400 V/cm y un flujo de gas de 100  $\text{mL min}^{-1}$  y se operó a 75°C.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Extracción y caracterización de alginato de sodio

En la Fig. 1 se muestra el efecto de la temperatura y la concentración alcalina sobre el rendimiento del polisacárido. Según el análisis de la superficie de respuesta al aumentar la concentración alcalina y la temperatura los rendimientos de alginato disminuyen, esto se debe que a temperaturas elevadas provocaría la conversión del alginato de sodio en otros ácidos como: el acético, fórmico, málico, entre otros, por lo que no se recomienda trabajar con temperaturas mayores a 92°C. Del mismo modo la concentración no debe superar el 3% pues satura los compuestos que se desea extraer.

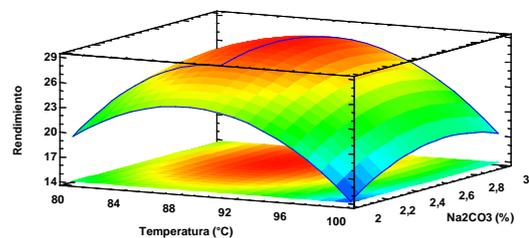


Fig. 1. Superficie de respuesta y gráficas de contorno de las variables frente a la extracción de alginato de sodio.

Mediante del análisis experimental se sugiere la siguiente combinación de los factores para la extracción del alginato: temperatura 88 °C, concentración  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2.6% y tiempo de reacción de 99 min permitiendo obtener un rendimiento máximo del  $29.94 \pm 0.40$  %.

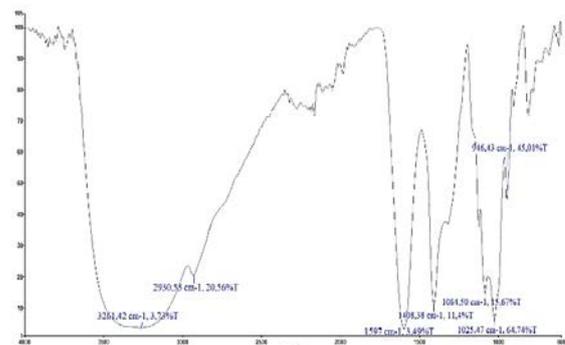


Fig. 2. Espectro infrarrojo del alginato de sodio.

El espectro IR del extracto se muestra en la Fig. 2 presentando las bandas de absorción típicas de alginato de sodio. Se estableció la primera señal del enlace O-H a  $3261.42\text{ cm}^{-1}$ , seguido por estiramiento C-H a  $2930.53\text{ cm}^{-1}$ , el tercer y cuarto pico a  $1597.23\text{ cm}^{-1}$  y a  $1408.38\text{ cm}^{-1}$  corresponden al estiramiento simétrica y asimétrica del grupo O-C-O respectivamente, el quinto pico a  $1084.50\text{ cm}^{-1}$  que se asigna de las vibraciones del estiramiento C-O, la sexta banda a  $1025.47\text{ cm}^{-1}$  al estirado C-C y se atribuye a la presencia del ácido manurónico, y finalmente la séptima a  $946.43\text{ cm}^{-1}$  al estiramiento del C-C-H.

El valor de la razón M/G del alginato óptimo fue de 1.46 lo que sugieren que el extracto formaría geles suaves y elásticos [17]. Además, el peso molecular del extracto fue  $1254\text{ g/mol}$  clasificándolo como alginato de bajo peso molecular [18].

En los análisis térmicos se determinó la temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión del alginato de sodio que fue de  $105.53^\circ\text{C}$  y  $250.22^\circ\text{C}$  respectivamente [19] y el porcentaje de cenizas que fue del 37.14% de masa a  $695.41^\circ\text{C}$  [20].

### B. Producción de ácido láctico

La variación en los rendimientos del ácido láctico a partir de la reacción del alginato sobre el catalizador en diferentes tiempos de reacción se muestra en la Fig. 3 a), la cantidad de catalizador influye en la producción del ácido y en la disminución del tiempo de reacción; mientras tanto la temperatura favorece la despolimerización del alginato y el catalizador de CaO acelera la reacción al proporcionar bases de Bronsted en el medio acuoso.

En la Fig. 3 b) se muestran la superficie de respuesta de producción de ácido láctico a partir del alga parda, la región de análisis se encuentra muy apartado a la optimización. Sin embargo, la exploración adicional para mejorar el proceso está garantizada al aumentar la temperatura, tiempo de reacción y la concentración del catalizador.

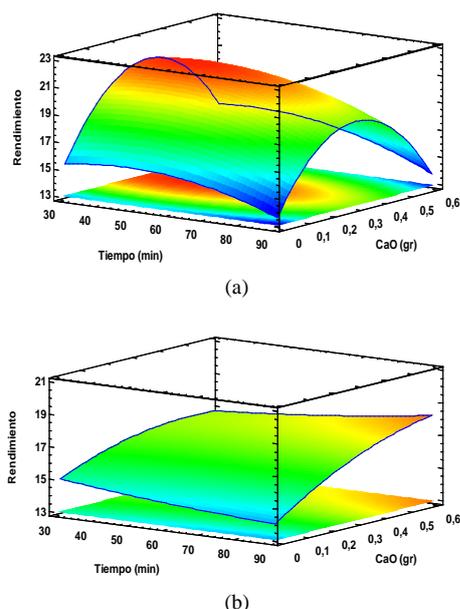


Fig. 3. Superficie de respuesta y gráficas de contorno de la producción de ácido láctico.

Además, el análisis del diseño Box- Bekhen sugiere la combinación de las variables para la producción de ácido

láctico a partir del alginato de sodio a la temperatura de  $202^\circ\text{C}$ , tiempo de reacción 41 min y la masa del CaO 0.3 g para producir un máximo rendimiento de  $23.69\% \pm 0.26$ , mientras que en la transformación de alga parda a ácido láctico el análisis es poco apreciable; sin embargo, muestra una área de análisis a temperaturas mayores de  $220^\circ\text{C}$ , tiempo de reacción 90 min y masa del CaO de 0.6 g para producir un rendimiento de ácido superior al  $\leq 19.06\% \pm 0.30$ .

## IV. CONCLUSIONES

El alginato de sodio representa una materia prima prometedora para la producción de ácido láctico. A medida que aumenta la temperatura, tiempo de reacción, y el catalizador CaO favorecen la descomposición hidrotermal de alginato a diversos compuestos orgánicos. Además, en esta investigación demuestra que es posible la conversión directa del alga parda a ácido láctico. Esto sin duda será útil para posteriores estudios en la conversión de las algas pardas en distintos catalizadores. Se espera que sea posible una producción más selectiva de productos químicos orgánicos valiosos al aplicar diversos catalizadores selectivos.

## REFERENCIAS

- [1] Gacesa, P. (1988). Alginates. Polímeros de carbohidratos. 8, 161-182.
- [2] Fawzy, M., Gomaa, M., Hifney, A., & Abdel-Gawad, K. M. (2016). Optimization of alginate alkaline extraction technology from *Sargassum latifolium* and its potential antioxidant and emulsifying properties. (1), 1-10.
- [3] Luna, M., & Villegas, A. (2008). *Instalación de una planta productora de ácido algínico y derivados en ensenada*. UNAM, Tesis profesional, Facultad de economía.
- [4] Ayarza, J. (2014). Los alginatos: 2000 usos de las algas marinas. *Revista de Química PUPC*, 28(2), 1-2.
- [5] Lee, Y. K., Monney, & David. (2012). Alginato: propiedades y aplicaciones biomédicas. 37(1), 106-126.
- [6] García, M. L., Napa, E. J., & Mendez, N. K. (2014). Caracterización Bromatológica de Macroalgas Marinas de la división "Rodafitas, Clorofitas y Feofitas" en la Zona Intermareal Rocosa del Puerto de Manta. 1-2.
- [7] Hernández, G., McHugh, D. J., Arvizu, D., & Rodríguez, E. (1999). Extracción a escala piloto de alginato de *Macrocystis pyrifera*. 1. Efecto de los tratamientos previos a la extracción en el rendimiento y la calidad del alginato. *Journal of Applied Phycology*, 10(6), 507-513.
- [8] Jeon, W. B. (2016). Catalytic conversion of macroalgae-derived alginate to useful chemicals. 20(4).
- [9] Niemela, K., & Siostrom, E. (1985). Degradation alkaline of the alginates to carboxylic acids. (144), 241- 249.
- [10] García, C., Arrázola, G., & Durango, A. (2010). Producción de ácido láctico por vía tecnológica. 15(2), 9- 26.
- [11] Pacheco, G., Flores, N., & Rodríguez, R. (2004). Bioplásticos. 18(2), 27- 36.
- [12] Wonjin, J., Chungyeon, B., Geonu, P., Jeong, E., & Hee, C. (2016). Catalytic Conversion of Macroalgae-derived Alginate to Useful. *Springer*.
- [13] AlgaeBase. (2011). *algaebase.org*. Recuperado el 06 de Junio de 2017, de <http://www.algaebase.org>
- [14] Vauchel, P., Kaas, R., Arhaliass, A., Baron, R., & Legrand, J. (September de 2008). A New Process for Extracting Alginates from *Laminaria digitata* : Reactive Extrusion. *Food and Bioprocess Technology*, 1(3), 297-300.
- [15] Sartori, C., Finch, D., & Ralph, B. (2008). Determinación del contenido de catión de películas delgadas de alginato por espectroscopía FTIR. 38(1), 43- 51.
- [16] Martinsen, A., Skjvik-br, G., Smidsrod, O., & Paoletti, S. (1991). Comparison of different methods for determination of molecular weight distribution of alginates. *Carbohydrate Polymers* (15), 171-193
- [17] Sellimi, S., Ayed, B., Maaleej, H., Montero, V., Riaudo, M., Dahia, M., & Nasri, M. (2015). Structural, physicochemical and antioxidant

properties of sodium alginate isolated from a Tunisian brown seaweed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 72(1), 1358-1367.

- [18] Ayarza, J. (2015). *Extracción y caracterización de alginato de sodio procedente del alga parda Macrocystis sp.* Lima: Arsam.
- [19] Mruthyunjaya, S., Ramaraj, B., & Siddramaiah. (2010). Sodium Alginate and Poly(ethylene glycol) Blends: Thermal and orphological Behaviors. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistr*, 47(1), 877-881.
- [20] Tripathi, R., & Mishra, B. (2012). Development and Evaluation of Sodium Alginate–Polyacrylamide Graft–Co-polymer-Based Stomach Targeted Hydrogels of Famotidine. *AAPS PharmSciTech*, 13(4), 1091-1102.

# Síntesis de un polímero biodegradable, como alternativa a los polímeros sintéticos

Johana Troya, Roman Rodríguez, Daniela Calvache

Departamento de Energía y Mecánica, Ingeniería Petroquímica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.  
johastr@hotmail.com, rnrodriguez@espe.edu.ec, danita\_tefa@hotmail.es

**Resumen**—El presente estudio aporta información sobre la síntesis de un polímero biodegradable como una alternativa a los polímeros sintéticos, los cuales tardan en degradarse varios años y son de origen petroquímico. El ácido poliláctico (PLA), se obtuvo a partir de ácido láctico, mediante los métodos: Policondensación con catalizador y Policondensación sin catalizador, de lo cual se comprueba que mediante la formulación de ambos métodos es factible la síntesis de PLA. Para el método de policondensación con catalizador las variables que fueron estudiadas y las condiciones del método son: concentración de catalizador (6% en peso de Zn), temperatura (180 °C), tiempo de reacción (8 horas); mientras que las variables y las mejores condiciones obtenidas para el método de policondensación sin catalizador son: temperatura (180 °C), tiempo de reacción (20 horas). De los experimentos realizados se calcula el rendimiento obtenido en la síntesis de PLA con catalizador, el cual es de 67,53%, mientras que el rendimiento para el método libre de catalizador es 68,83%. El PLA que se sintetizó por cada uno de los métodos es analizado por medio de tres métodos de análisis: espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), Termogravimetría (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

**Palabras Claves**—Ácido láctico, ácido poliláctico, biodegradación, biopolímero.

**Abstract**—The present study provides information on the synthesis of a biodegradable polymer as an alternative to synthetic polymers, which take several years to degrade and are of petrochemical origin. Polylactic acid (PLA), was obtained from lactic acid, by the methods: Polycondensation with catalyst and Polycondensation without catalyst, from which it verifies that by the formulation of both methods the synthesis of PLA is feasible. For the method of polycondensation with catalyst the variables that were studied and the conditions of the method are: catalyst concentration (6% by weight of Zn), temperature (180 °C), reaction time (8 hours); while the variables and the best conditions obtained for the polycondensation method without catalyst are: temperature (180 °C), reaction time (20 hours). From the experiments carried out, the yield obtained in the synthesis of PLA with catalyst is calculated, which is 67.53%, while the yield for the free catalyst method is 68.83%. The PLA that was synthesized by each of the methods is analyzed by means of three analysis methods: infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR), Thermogravimetry (TGA) and Differential Scanning Calorimetry (DSC).

**Keywords**—Lactic acid, polylactic acid, biodegradation, biopolymer.

## I. INTRODUCCIÓN

La riqueza de un país, en primera instancia, depende de la capacidad de este para producir y comercializar bienes y servicios, la transformación de la matriz productiva se ve direccionada al respeto de los derechos tanto de la naturaleza como de la justicia intergeneracional [1].

En la actualidad, se necesita la implementación de industrias nuevas o mejoradas, que tengan como objeto reducir el impacto ambiental al momento de la elaboración de productos finales y que a su vez estas industrias se encuentren diversificadas, con la finalidad de satisfacer las necesidades de los seres vivos y alcanzar la reducción del impacto ambiental [2].

El daño del uso indiscriminado de los recursos derivados del petróleo se ha podido evidenciar de mejor manera en los últimos años, no solo en el aspecto de que este es un recurso natural no renovable, sino también en el impacto ambiental que ha generado tanto en aire, agua y suelo, razón por la cual se busca promover el avance tecnológico tanto de biorefinerías como de la química verde [3], [4].

Los polímeros naturales generan mejor contribución al término de biodegradabilidad; mientras que los polímeros sintéticos que aportan a esta propiedad se han incrementado notoriamente, analizando propiedades que permiten mejorar la degradación al momento de convertirse en residuos [5].

El PLA es una macromolécula, la cual se encuentra formada por moléculas de ácido láctico, presenta variadas características que lo hacen interesante, como poseer propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) y la ventaja que este es un material que es biodegradable, el cual llega a desintegrarse con mucha facilidad en agua y óxido de carbono, presenta además una llamativa aplicación dentro de su utilización en las impresiones 3D [6].

La síntesis de PLA es una opción al momento de la elaboración de polímeros que son biodegradables. Es empleado para la elaboración de empaques de productos secos como almendras, pistachos, maní, además, es de mucha utilidad en la elaboración de materiales de sutura reabsorbible usado en diferentes tipos de cirugías como oftalmológicas u ortopédicas, se aplica además para microencapsular y nanoencapsular medicamentos de liberación lenta como la insulina u antiinflamatorios, entre otras aplicaciones [7], [8].

Se han observado varias mejoras dentro de la industria petroquímica del plástico, la cual posee alrededor de 100 años de existencia, mientras que la síntesis de PLA posee alrededor de 10 años de fabricación y aún se encuentra en progreso de mejora, lo cual hace del PLA un producto de interés [9].

Este trabajo de investigación propone el estudio de la síntesis de un material biodegradable, como sustituto de los polímeros tradicionales sintéticos, con el objeto de brindar un aporte a posibles soluciones del impacto ambiental, que es causado por el uso de los derivados del petróleo, y así impulsar futuras investigaciones las cuales centren la atención al progreso de materiales amigables con el medio

ambiente, aptos para aplicaciones petroquímicas, permitiendo el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, fomentando el bienestar actual y futuro de los recursos e impulsando la química verde.

## II. MÉTODO

### A. Materiales

Se empleó Ácido Láctico (85%, CAS 50-21-5), Zinc metálico usado para la policondensación con catalizador y Ácido Poliláctico (CAS 26100-51-6) que se aprovechó como estándar de comparación para los respectivos análisis de caracterización.

### B. Procedimiento

El equipo que se empleó para la síntesis de PLA fue el Rotary Vacuum Evaporator - Boeco, modelo RVO 400 SD, en el cual se añade 40 mL de ácido láctico, trabajando a la agitación de 100 RPM y 100 mBar de presión, para posteriormente ser sometido a un proceso de calentamiento.

En la etapa de calentamiento, se incrementa la temperatura 15 °C en periodos de tiempo de 5 minutos, pudiendo observar que a la temperatura de 90 °C ocurre el proceso de destilación, dicho periodo de calentamiento permanece con las condiciones de presión y agitación ya mencionadas con anterioridad durante el periodo de polimerización.

Para la polimerización con catalizador, se alcanzó las temperaturas de 150, 165 y 180 °C, en tiempos de polimerización de 40,25 y 10 horas, respectivamente. Estas temperaturas se fijaron con la ayuda del termograma realizado al ácido láctico, el cual se detalla más adelante en la Fig. 1, mientras que los tiempos establecidos se determinaron experimentalmente.

Para la polimerización libre de catalizador, se alcanzó las temperaturas de 150, 165 y 180 °C, en tiempos de 50,48 y 30 horas, respectivamente.

La policondensación con catalizador, se efectúa con zinc metálico, en una concentración de 6% en peso, el cual se adiciona una vez que se alcanza las temperaturas propuestas con anterioridad.

El PLA que se sintetizó se pesó oportunamente para determinar el rendimiento del mismo, aplicando la ecuación 1 dada por [10], expresado como porcentaje en peso/peso:

$$\text{Rendimiento de PLA(\%)} = \frac{\text{peso del material obtenido}}{\text{peso inicial de la muestra}} \cdot 100 \quad (1)$$

### C. Caracterización

Tanto para la policondensación con catalizador como para la policondensación sin catalizador, con el objeto de presentar resultados claros y confiables, es necesario emplear técnicas de análisis para identificar los polímeros formados científicamente, razón por la cual se realizan los siguientes análisis:

### D. Espectroscopia FT-IR ATR

Todos los espectros que se realizaron fueron analizados dentro de la región de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  mediante espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier, el cual cuenta de un dispositivo ATR con cristal de diamante.

Por medio de este análisis se procede a la comparación de

todas las muestras tomadas, para la posterior selección del polímero que presente mayor similitud respecto a los números de onda de los picos representativos del PLA de referencia, dicho análisis se lo emplea tanto para la policondensación con catalizador como sin catalizador.

### E. Termogravimetría (TGA)

Se empleó el equipo Pyris 1 TGA para la realización de los análisis térmicos, colocando muestras de 3 y 4 mg aproximadamente, dicho proceso fue llevado a cabo por calentamiento dinámico, el cual se analizó en un rango de temperatura de 0 a 500 °C, a la velocidad de 10 °C/min, bajo atmósfera inerte de nitrógeno.

Como resultado se tiene los termogramas, en donde se observa la gráfica porcentual de masa respecto la temperatura de calentamiento, detallándose las zonas de degradación de los polímeros formados para compararlos con la referencia de PLA.

### F. Calorímetro Diferencial de Barrido

Los termogramas DSC se lo realizaron con ayuda del calorímetro diferencial de barrido DSC 1 STAR® System, siguiendo el procedimiento que recomienda el fabricante, en donde se utilizó como referencia una cápsula de aluminio (40  $\mu\text{l}$ ) vacía sellada, el calentamiento de la muestra fue realizado a una velocidad de 10 °C / min, en el rango de temperatura de 0 °C a 900 °C, empleando un flujo de nitrógeno de 90 ml/min. Mediante estos análisis es posible determinar el punto de fusión de las muestras obtenidas para ambos métodos, para posteriormente comparar dichas muestras con la referencia de PLA.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para establecer los rangos de temperatura a los cuales se va a desarrollar los experimentos, es necesario en primera instancia realizar un termograma del ácido láctico que se emplea para la formación de PLA. Dicho termograma se presenta en la Fig. 1, en donde se aprecia que existe una pérdida de peso de ácido láctico entre las temperaturas de 149.28-220.45°C, además, se identifica la degradación total del mismo por encima de 250 °C.

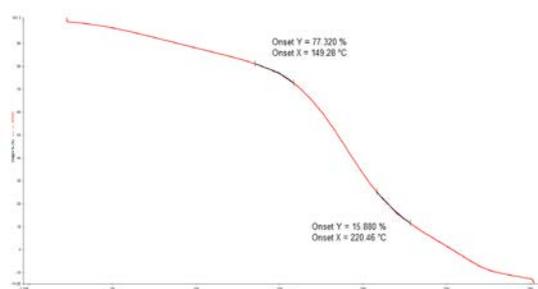


Fig. 1. Termograma del ácido láctico.

### A. Análisis espectroscópico FT-IR ATR

La comparación de los análisis FTIR de los polímeros sintetizados en el laboratorio con el PLA de referencia, señalan que:

Mediante el método de policondensación con catalizador de zinc se obtiene PLA a la temperatura de 180°C a las 8 horas de polimerización,

Para el método de policondensación sin catalizador se

obtiene el polímero biodegradable a la temperatura de 180 °C a las 20 horas de polimerización.

Los picos característicos de los grupos funcionales O-H, C-H, C=O, CH<sub>3</sub>, C-C, C-O de la estructura del PLA se ubican en las longitudes de onda de 3506,65 - 2997,97 - 1750,33 - 1452,45 - 1182,90 - 1085,04 cm<sup>-1</sup> respectivamente. Con la ayuda de los espectros FTIR de los polímeros obtenidos y la referencia de PLA, se identifica el polímero que presenta mayor coincidencia respecto a la referencia, es cual fue el obtenido mediante policondensación sin catalizador. En la Fig. 2 se evidencia el cambio que sufre la molécula de ácido láctico para dar la formación de ácido poliláctico.

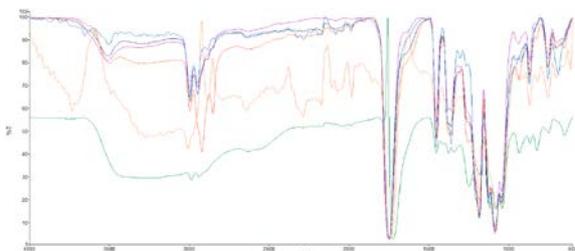


Fig. 2. Espectros FTIR.

### B. Análisis Termogravimétrico (TGA)

Al analizar el PLA de referencia junto a los PLA sintetizados se identifican tres zonas que se muestran en la Fig. 3:

En la primera zona: existe pérdida de peso del polímero lo cual se da como resultado de las pérdidas de humedad, la volatilidad o por la presencia de compuestos que presentan pesos moleculares promedio.

En la segunda zona se aprecia la degradación térmica que ocurre en el polímero.

La descomposición de PLA ocurre en la tercera zona, en el rango de temperaturas entre 300 a 400 °C, lo cual corrobora con los picos salientes reportados por el DSC.

Se distingue además que, el PLA obtenido por policondensación sin catalizador presenta una curva más cercana a la curva de referencia, lo cual indica que mencionado polímero es más estable térmicamente.

Por lo cual el PLA formado sin la adición de catalizador, al igual que en el análisis FTIR, presenta mayor similitud respecto al biopolímero que se elaboró con el uso de catalizador de zinc metálico.

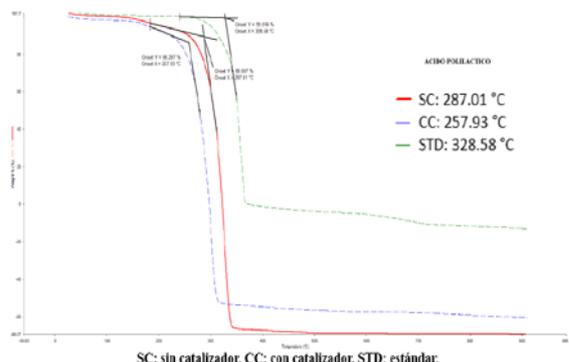


Fig. 3. Diagrama TGA.

### C. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Los picos que se observan en la Fig. 4 se encuentran en el rango de temperatura de 300 a 400 °C, estos representan los puntos de fusión, los cuales son exotérmicos. Analizando cada una de las temperaturas de fusión de cada uno de los biopolímeros, se aprecia que los picos presentan variación en la amplitud de sus curvas, lo cual se interpreta como la diferencia de pesos moleculares de cada una de las muestras. Los termogramas DSC además reportan que a partir de la temperatura de 300 °C comienza la descomposición del PLA, lo cual también coincide con los termogramas realizados en el TGA.

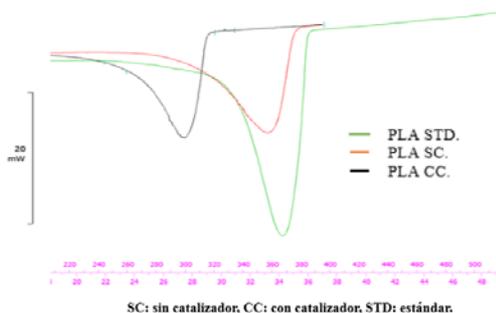


Fig. 4. Diagrama DSC.

Al comparar ambos polímeros sintetizados con la referencia de PLA, se indica que, el polímero que presenta mayor coincidencia con el estándar es el sintetizado mediante el método de policondensación sin catalizador, lo cual corrobora con los análisis FTIR y TGA.

### D. Rendimiento.

De los experimentos realizados se calcula el rendimiento obtenido en la síntesis de PLA con catalizador, el cual es de 67,53%, mientras que el rendimiento para el método libre de catalizador es 68,83%.

## IV. CONCLUSIONES

Debido a que no se requieren condiciones críticas de presión y temperatura, la producción industrial de PLA es factible utilizando el método de policondensación con catalizador y policondensación sin catalizador. Mediante el método de policondensación sin catalizador se logra obtener un PLA con mayores semejanzas al PLA de referencia, lo que se evidenció mediante los análisis FTIR, DSC y TGA.

## REFERENCIAS

- [1] Sánchez, L. W. L. (2015). Análisis de las políticas públicas sobre el cambio climático en el Ecuador.
- [2] Orea, D. G., & Villarino, M. T. G. (2013). Evaluación de impacto ambiental: Mundi-Prensa Libros.
- [3] Diab, T., Biliaderis, C. G., Gerasopoulos, D., & Sfakiotakis, E. (2001). Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(10), 988-1000.
- [4] Veloz, J., De La Torre, R., Ruiz Mendieta, J., & Rivera Procel, S. (2009). Proyecto para reciclar el almidón de la yuca para la fabricación de fundas plásticas orgánicas.
- [5] Zapata, D., Pujol, R., & Coda, F. (2012). Polímeros biodegradables: una alternativa de futuro a la sostenibilidad de medio ambiente. *Técnica Industrial*, 297, 76-80.
- [6] de la Torre-Cantero, J., Saorín, J. L., Meier, C., Melián-Díaz, D., & Drago-Díaz Alemán, M. (2015). Creación de réplicas de patrimonio escultórico mediante reconstrucción 3D e impresoras 3D de bajo coste para uso en entornos educativos. *Arte, individuo y Sociedad*, 27(3).

- [7] Del Angel Lopez, d. (2009). Estudio y sintesis en la produccion de ácido polilactico.
- [8] Serna, L., & Albán, F. (2011). Ácido poliláctico (PLA): Propiedades y aplicaciones. Ingeniería y competitividad, 5(1), 16-26.
- [9] Guanoluisa, C., & Ismael, R. (2015). Obtención de Acido Poli Láctico a partir de lactosuero para la fabricación de empaque primarios. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- [10] Arce, m. Á. V. Rendimiento y calidad de alginato del alga café eualaria fistulosa (postel y ruprecht) mj wynne de las islas aleutianas, Alaska.

# Determinación de propiedades térmicas de aceites esenciales

Estefania Calvachea, Roman Rodriguez, Johana Troyaa

Energía y Mecánica/Petroquímica/ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
calvachestefy@gmail.com, mrodriguez@espe.edu.ec, johastr@hotmail.com

**Resumen**—Se determinaron las propiedades térmicas en 14 aceites esenciales: energía de activación, frecuencia de colisiones, calor específico, entalpía de vaporización, temperatura de ebullición, temperatura de evaporación y tipo de reacción, utilizando termogravimetría, calorimetría diferencial de barrido y considerando las variables: velocidad de calentamiento y flujo de temperatura. La propuesta de clasificación de aceites esenciales se expresa en función de la volatilidad (Energía de activación y entalpía de evaporación) para tres grupos: alta, media y baja.

**Palabras Claves**—Aceites esenciales, volatilidad, termogravimetría, calorimetría diferencial de barrido.

**Abstract**—The thermal properties were determined in 14 essential oils: activation energy, frequency of collisions, specific heat, enthalpy of vaporization, boiling temperature, evaporation temperature and type of reaction, using thermogravimetry and differential scanning calorimetry and considering the variables: speed of heating, and temperature flow. The proposed classification of essential oils is expressed in terms of volatility (activation energy and enthalpy of evaporation) for three groups: high, medium and low.

**Keywords**—Essential oils, volatility, thermogravimetry, differential scanning calorimetry.

## I. INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales (AEs) son sustancias químicas volátiles que se encuentran constituidas por varias moléculas orgánicas como hidrocarburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y fenoles [1]. Los AEs pasan fácilmente de estado líquido a estado gaseoso a temperatura ambiente, teniendo puntos de ebullición entre 150 a 300 °C [2]. Las composiciones de los aceites esenciales abarcan dos grandes grupos, el primero, que se encuentra constituido por compuestos no terpenoides (sustancias aromáticas, sustancias que poseen azufre y nitrógeno); y el segundo grupo, formado por compuestos terpénicos: monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15) y diterpenos (C20). Las características físicas, térmicas y aromáticas de los aceites esenciales dependen de los diferentes grupos funcionales que forman parte de su composición [3].

El análisis térmico proporciona características únicas que son necesarias para la diferenciación entre productos, ya que permiten establecer una relación entre la temperatura y las propiedades físicas del material. El resultado de las medidas térmicas se presenta en curvas específicas llamadas termogramas, en donde se pueden visualizar picos, discontinuidades, cambios de pendientes, etc, lo que permite relacionar los eventos térmicos con una determinada propiedad de la muestra bajo análisis [4].

Existen dos técnicas térmicas: la termogravimetría (TGA), basada en el cambio de peso en función de la

temperatura; y la calorimetría diferencial de barrido (DSC), la cual se basa en la medida de la transferencia de calor en función de la temperatura [5].

Por medio del TGA se pueden realizar algunos análisis, si se trata de pérdida de masa se encuentran: reacciones químicas (descomposición y separación del agua de cristalización, combustión, reducción de óxidos metálicos), y transformaciones físicas (evaporación, sublimación, desorción, desecación); por el contrario si existe una ganancia de masa se estudia: reacciones químicas (reacción con componentes gaseosos del gas de purga, como O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> con formación de compuestos no volátiles o poco volátiles) y transformaciones físicas (adsorción de productos gaseosos en las muestras, como carbón activo) [6]. Por otro lado, la técnica DSC involucra la medición de flujo de calor y temperatura, para determinar propiedades como: cristalización, fusión, evaporación y reacciones químicas (oxidación, hidrólisis)[7].

El comportamiento de las sustancias frente a la acción de calor y temperatura se pueden estudiar a través de propiedades térmicas; ya que permiten determinar características específicas de las mismas [8]. La formación de nuevas sustancias requiere condiciones específicas que faciliten la transformación de las mismas; si en dichos requerimientos están involucrados procesos de reordenamiento y redistribución de los átomos se ha efectuado una reacción química. Para conocer como ocurre dicho proceso se estudia el modo y mecanismo, cambios físicos y energéticos, y la velocidad con que se forman los nuevos productos [9].

La mayoría de métodos usados para determinar los parámetros cinéticos utilizan la ecuación (1), propuesta por [10]:

$$-\frac{dw}{dt} = A \cdot \exp\left(\frac{-\Delta Ea}{RT}\right) \cdot w^n \quad (1)$$

donde  $w$  es el peso fraccional de la muestra residual,  $\frac{-dw}{dt}$  es velocidad de descomposición-evaporación,  $T$  es la temperatura absoluta,  $A$  es el factor pre-exponencial,  $\Delta Ea$  es energía de activación,  $n$  el orden de la reacción y  $t$  es el tiempo. Si la reacción es de orden cero la ecuación (1) puede ser escrita como [11, 12]:

$$-\frac{dw}{dt} = A \cdot \exp\left(\frac{-\Delta Ea}{RT}\right) \quad (2)$$

La ecuación propuesta por Arrhenius.

Combinando la ecuación (2), con la ecuación de la teoría de Arrhenius [10], se obtiene la ecuación en forma logarítmica (3):

$$-\frac{dw}{dt} = \frac{dw/dt}{w_i - w_f} = k; \ln(k) = \ln(A) + \frac{-\Delta E_a}{RT} \quad (3)$$

donde  $k$  es la constante de velocidad y  $\frac{dw/dt}{w_i - w_f}$  es la relación

entre la velocidad de descomposición- evaporación y la diferencia del peso inicial ( $w_i$ ) con el peso final ( $w_f$ ) de la muestra. La ecuación (3) implica que para procesos de evaporación de orden cero, la gráfica de la velocidad de descomposición- vaporización provee la energía de activación y el factor pre-exponencial para dicho proceso.

El estudio del comportamiento térmico de aceites esenciales es limitado y requiere profundización y mayor alcance. No se ha realizado de manera clara, sino que se han realizado por separado, es decir investigaciones preliminares han utilizado solamente una técnica calorimétrica o metodologías empíricas basándose en algunas suposiciones; pero en esta investigación se emplea dos técnicas calorimétricas que permitieron plantear una clasificación de estas sustancias.

## II. MÉTODO

### A. Materiales

Se obtuvieron 14 AEs (Isabrubotanik S.A.) que abarcan especies leñosas, cítricas, herbales, florales, mentoladas, entre otras.

### B. TGA

Se utilizó un TGA Pyris 1 (Perkin Elmer – USA). Las muestras se analizaron entre 40°C a 900°C, a una velocidad de calentamiento dinámico de 10 °C/min, bajo atmósfera inerte de nitrógeno (N<sub>2</sub>) con flujo de 100 mL/min. Se utilizaron crisoles de platino, con una cantidad referencial de 7.5 mg de muestra.

### C. DSC

Se utilizó un DSC 1 (Mettler Toledo – Suiza). Las muestras se calentaron a una velocidad de 10 °C/min, desde 40°C a 600°C, bajo flujo de atmósfera inerte de N<sub>2</sub> a 50 mL/min. Se utilizaron crisoles de aluminio, con una cantidad referencial de 10 mg de muestra.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. TGA análisis

Los resultados pueden ser visualizados de dos formas: la primera, cuando la curva está representada por la masa o porcentaje en masa versus la temperatura, denominada curva termogravimétrica (TG); y la segunda, la tasa de pérdida de masa con respecto a la temperatura, denominada derivada termogravimétrica (DTG) [13]. La Fig. 1 muestra el detalle de las dos curvas, donde se aprecia un valor Onset X inicial de 81,64 °C en la curva TG, y el valor de 156,02 °C del pico de la primera derivada Peak X en la curva DTG.

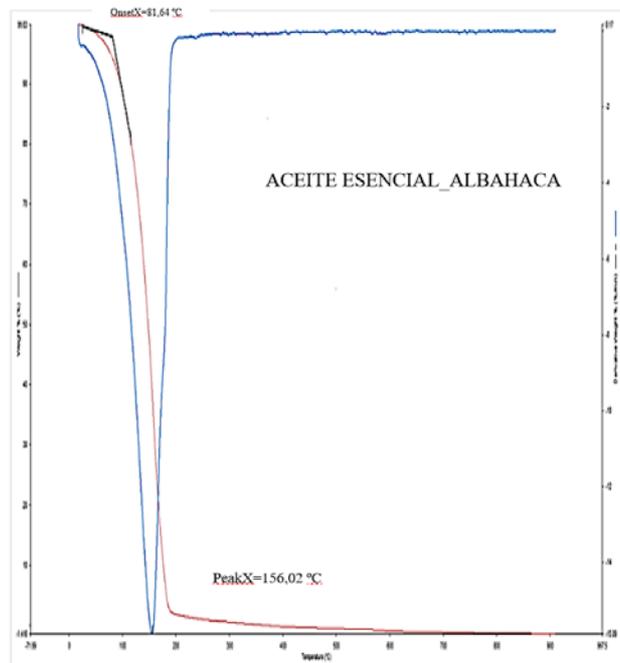


Fig. 1. Termograma TG (curva roja) y DTG (curva azul) del aceite esencial de albahaca.

Con los valores Onset de cada aceite esencial se prepara una gráfica  $\frac{1}{T} \ln \left( \frac{dw/dt}{w_i - w_f} \right)$  como se evidencia en la Fig. 2,

lo que permite determinar la  $E_a$  y el factor  $A$ . El análisis realizado anteriormente se aplica para los 42 aceites esenciales restantes.

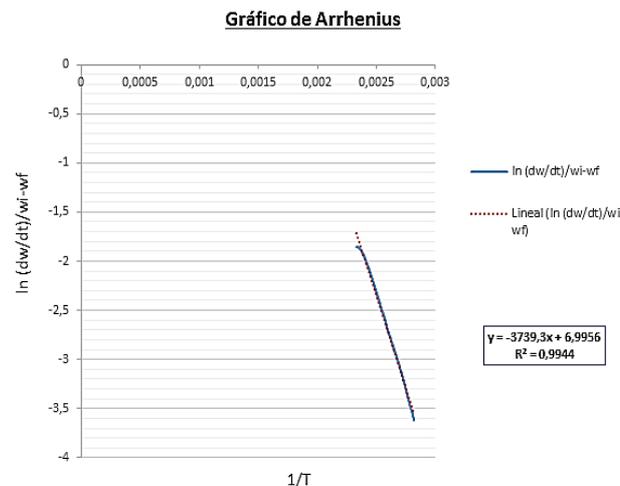


Fig. 2. Gráfico de Arrhenius para el aceite esencial de albahaca

### B. DSC análisis

Las propiedades determinadas a través del termograma proporcionado por el DSC fueron: temperatura de evaporación, calor específico a la temperatura de evaporación, entalpía de vaporización ( $H_{-vap}$ ), temperatura de ebullición y tipo de reacción química. En la Fig. 3, se muestra un termograma DSC típico.

En la Fig. 3 se visualiza un típico termograma DSC, que permite determinar la entalpía de vaporización, temperatura de ebullición, temperatura de evaporación, calor específico, y tipo de reacción.

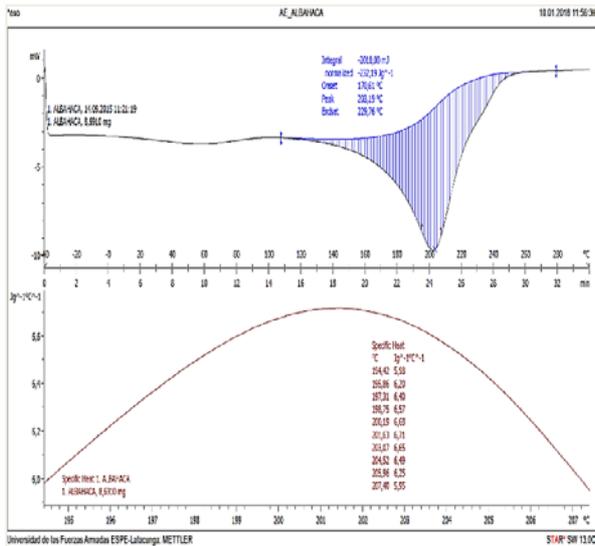


Fig. 3. Termograma DSC del aceite esencial de albahaca.

### C. Clasificación de los Aceites Esenciales.

Un factor importante de los aceites esenciales es la volatilidad, propiedad que identifica la velocidad con la que se evapora cuando se expone al aire. Las propiedades térmicas determinadas a través del TGA y DSC son útiles para identificar que aceite esencial se evapora con mayor rapidez y la cantidad de energía requerida para llevar a cabo dicho proceso. Por lo tanto, a partir de la energía de activación y entalpía de vaporización se realizó la clasificación, la cual se reporta en la tabla 1.

TABLA I  
CLASIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES A PARTIR DE EA Y H-VAP

Tipo de volatilidad	Propiedades Térmicas
	Ea y H-vap
<b>Volatilidad alta</b>	Manzanilla, pachullí, palo de rosa y sándalo.
<b>Volatilidad media</b>	Albahaca, cúrcuma, eucalipto, hierba buena y muña
<b>Volatilidad baja</b>	Árbol de té, bergamota, cardamomo, lima, tomillo

En la Tabla I se aprecia los aceites esenciales que constituyen cada grupo de volatilidad en función de energía de activación y entalpía de vaporización.

## IV. CONCLUSIONES

La propuesta de clasificación de aceites esenciales en función de la volatilidad se definió para tres grupos: baja, media y alta, considerando los valores de 39,553-58,985 kJ/mol; 29,968-38,786 kJ/mol; y 5,327-28,523 kJ/mol para EA y 5,795: -67,449 kJ/mol; -69,255: -111,24 kJ/mol; y 111,78:150,663 kJ/mol para H-vap, respectivamente.

## REFERENCIAS

[1] Zekaria, D., Los aceites esenciales: una alternativa a los antimicrobianos. Laboratorios Calier, 2006.  
 [2] Cadavid, M. and G. de Jesus, Aceites esenciales: una alternativa de diversificación para el eje cafetero. 2010, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.

[3] Van Ginkel, A., Apuntes del máster diplomatura de posgrado de la uab Plantas medicinales y fitoterapia. Módulo 2. Cultivo de plantas medicinales. Tech. Prod, 2003.  
 [4] Manals-Cutiño, E., M. Penedo-Medina, and G. Giralt-Ortega, Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales. Tecnología Química, 2011. 31(2): p. 180-190.  
 [5] Martínez, L.R., Calorimetría y análisis térmico. Laboratorio de Termofísica, 2006. 1: p. 111.  
 [6] Widmann, G., Información TA: Interpretación de curvas TGA. User Com, 2001. 1: p. 1-20.  
 [7] Márquez, A.J., et al., Aplicación de la calorimetría diferencial de barrido (CDB) en la caracterización del aceite de oliva virgen. Grasas y aceites, 2003. 54: p. 403-409.  
 [8] Cengel, Y.A., et al., Termodinámica. 2003.  
 [9] Levenspiel, O., Ingeniería de las reacciones químicas. 2002: Reverté.  
 [10] Hazra, A., et al., Characterization of some essential oils and their key components: thermoanalytical techniques. Journal of thermal analysis and calorimetry, 2004. 75(1): p. 317-330.  
 [11] Hazra, A., D. Dollimore, and K. Alexander, Thermal analysis of the evaporation of compounds used in aromatherapy using thermogravimetry. Thermochimica Acta, 2002. 392: p. 221-229.  
 [12] Martins, P., et al. Thermal characterization of orange, lemongrass, and basil essential oils. in International Conference on Chemical and Process Engineering. 2011.  
 [13] Wagner, M., Thermal analysis in practice e Mettler Toledo collected applications. Schwerzenbach, Switzerland: Mettler Toledo AG. 2009, Analytical.

# Desarrollo de bioplásticos a partir de tortas residuales y gomas naturales

Javier Sayavedra-Delgado, Roman Rodríguez-Maecker

Departamento de Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador  
jjsayavedra@espe.edu.ec, mrodriguez@espe.edu.ec.

**Resumen**—El objetivo de este estudio fue la generación de biopolímeros extraídos de tortas residuales para la elaboración de películas biodegradables. La harina que se obtiene de estas tortas desengrasadas puede usarse como una fuente viable y de bajo costo en la formación de películas biodegradables. Se usaron a su vez, gomas naturales que favorezcan y mejoren las propiedades de las películas tanto físicas como mecánicas. Las películas resultantes fueron evaluadas en propiedades físicas (permeabilidad al vapor de agua, espesor), se evaluó el efecto de la concentración de las gomas guar, tragacanto y xantana en dos niveles 0,05 y 0,08g, en las propiedades de barrera que ofrecen las películas para este estudio se enfocó en la permeabilidad al vapor de agua. Se utilizó películas sin ningún tipo de goma como películas de control para ver el efecto de las gomas en las propiedades. La solubilidad de las películas se encontró entre 5,32% y 33%, el contenido de humedad entre 9 y 18%.

**Palabras Claves**—Biopolímeros, biodegradación, tortas residuales.

**Abstract**—The objective of this study was the generation of biopolymers extracted from residual cakes for the production of films. The flour obtained from these degreased cakes can be used as a viable and inexpensive source in the formation of biodegradable films. It is used in its place, natural gums that favor and improve the properties of both physical and mechanical films. The resulting films were evaluated in physical properties (water vapor permeability, thickness), the effect of the concentration of guar, tragacanth and xanthan gums at two levels 0.05 and 0.08 g, on the barrier properties was evaluated the films offered for this study focused on water vapor permeability. Films without any gum have been used as control films for the effect of gums on the properties. The solubility of the films was between 5.32% and 33%, the moisture content between 9 and 18%.

**Keywords**—Biopolymers, biodegradation, residual cake

## I. INTRODUCCIÓN

A partir del surgimiento del plástico y de su industrialización, un gran porcentaje de los mismos se transformaron en residuos contaminantes. Los polímeros provenientes de los derivados del crudo de petróleo se han vuelto indispensables en el diario vivir, como materiales comunes de envasado, debido a sus características como ligereza, resistencia, transparencia y maleabilidad. En la actualidad, la comodidad característica de la sociedad ha generado un consumo excesivo de productos desechables, elaborados de plásticos, por lo que año tras año se generan alrededor de 500 billones y un trillón de bolsas plásticas, de las cuales apenas el 1% es reciclado. El 75,20% de hogares ecuatorianos utilizan fundas plásticas desechables para realizar sus compras diarias y el 22,38% son hogares que toman consciencia y utilizan bolsas ecológicas que son hechas de material reutilizable o tela.[1]

Se pretende buscar una alternativa para aplicaciones específicas de vida corta como envasado de alimentos.[2] Varios de los procesos que se han desarrollado a la fecha en base a la Química Verde están presentes aproximadamente en todas las áreas de la química, como por ejemplo la orgánica, inorgánica, bioquímica, polimérica, ambiental, toxicológica, física, etc. La química verde no es una disciplina científica separada, sino que realiza la responsabilidad interdisciplinaria de las ciencias, basándose en la responsabilidad química, ecológica y social. [3]

La torta que es un subproducto de la industria del aceite posee un alto contenido proteico. Las proteínas son biomoléculas poco solubles o insolubles en agua, formadas por cadenas lineales de aminoácidos que se pliegan adquiriendo una estructura tridimensional que amplía la gama de propiedades funcionales, el más importante es la unión a nivel intermolecular. Las proteínas son distintas y dependiendo su origen pueden variar en peso molecular, arreglo espacial, cargas eléctricas, flexibilidades y estabilidad térmica. [4]

Los biopolímeros procedentes de recursos renovables es una nueva alternativa a la utilización de empaques.[5] La síntesis de nuevos materiales poliméricos a partir de recursos renovables naturales se ha convertido en un área de rápido crecimiento, ya que estos materiales podrían reemplazar total o parcialmente los plásticos desfavorables para el medio ambiente y la energía derivados de productos químicos del petróleo.[6] Sin embargo, las aplicaciones de polímeros renovables están significativamente detrás de los polímeros derivados del petróleo, en parte debido al costo relativamente alto y limitaciones en los recursos de monómeros, por lo tanto, polímeros derivados.

Las gomas naturales son gomas provenientes de plantas, químicamente son polímeros hidrofílicos de carbohidratos de alto gran peso molecular. Tienen la capacidad de absorber agua he hincharse, debido a que pueden solubilizarse y dispersarse en agua, hasta obtener una solución viscosa. [7]

Los plásticos biodegradables son aquellos en los cuales la degradación es el resultado de la acción de macroorganismos naturales como bacterias, hongos y algas. el compostaje es un proceso administrado que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables que luego dará como resultado la producción de dióxido de carbono, agua, minerales y humus o compost.[8]

Este proyecto busca desarrollar películas de origen orgánico empleando biopolímeros obtenidos de las tortas residuales de las semillas oleaginosas que son un subproducto de la extracción de aceites vegetales. También se pueden añadir gomas naturales como reforzamiento de las

películas, lo que mejora sus propiedades físicas y mecánicas como fuerza de tensión, permeabilidad, etc.

## II. MÉTODO

Se empleó tortas residuales de la extracción de aceite de semillas empleadas industrialmente, las mismas que fueron secadas, trituradas, tamizadas y desengradas. Se realizó un análisis de contenido de proteína mediante el método AOAC 991.20.[9] La proteína fue calculada multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor de conversión 6,25.[9][10]

### A. Extracción de la proteína de las tortas residuales

Se realizó la extracción de proteína de la torta desengrasada por método álcali. Se mezcló las tortas de ajonjolí, soya y sachá inchi en agua destilada en vasos de precipitación, en razón de 1:10, 1:15 y 1:10, respectivamente. Luego con la ayuda de un pH metro (Modelo BT 7, BOECO, Alemania) se ajustó el pH de las soluciones a 11, 9 y 12 para ajonjolí, soya y sachá inchi, usando una solución 2 M de NaOH y se agitó continuamente mediante un agitador magnético con placa calefactora (Modelo MSH 420, BOECO, Alemania) donde se deja solubilizar la proteína por alrededor de una hora y posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 2 minutos. Se filtró el sobrenadante y se ajustó hasta el punto isoeléctrico pH 4,5 para las tres tortas con la ayuda de una solución 2 M de HCl. Luego se centrifugó a 4000 rpm por 15 minutos. El precipitado se suspendió en agua destilada y se ajustó a pH 7 y se almacenó a 4 °C durante una noche. Transcurrida la noche la solución se descartó y se secó al vacío.[11]

### B. Preparación de las películas.

El método de formación de películas empleado es el de "casting" o moldeo, donde en la colada o solución se disuelve o dispersa el polímero, se recubre sobre un sustrato de soporte, y luego el agua o el disolvente se elimina por secado para crear una capa sólida sobre el soporte. La capa de colada resultante se puede separar del sustrato de soporte para producir una película independiente.[12]

Para la preparación se utilizó la proteína extraída de cada torta. Se trabaja con 9% (p/v) en relación a 100 mL de solución formadora. La cantidad utilizada de glicerol como plastificante es de 10% con respecto a la cantidad de proteína. El pH de formación fue de 12 para ajonjolí, sachá inchi y 10 para soya. La solución se calentó a baño maría hasta 90 °C. la solución filmogénica se filtró y se colocó en moldes para su secado a 35°C.[13]

Para las películas con goma natural se realiza el mismo procedimiento, con la adición de 0,05 y 0,08g de las gomas en la colada.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La concentración óptima de la formación de películas se estableció mediante el análisis de la permeabilidad al vapor de agua, debido que es una propiedad más crítica pues en los envases de alimento, se debe buscar la disminución de la transferencia de humedad entre la atmósfera y el alimento [14].

En la Fig. 1, se puede apreciar que la combinación que

posee menor permeabilidad al vapor de agua es la AG005 (Proteína de ajonjolí con 0,05 g de goma guar), la interacción de la goma guar con la proteína de ajonjolí permite que el arreglo intermolecular actúe de mejor manera contra el vapor de agua. Por el contrario, la goma tragacanto favorece al paso del vapor de agua. Con referente a la película de control este valor de AG005, es bajo por lo que se infiere que la goma favorece la disminución de la permeabilidad del vapor de agua. Los resultados establecen las relaciones entre los datos obtenidos, el problema de investigación, el método y el soporte teórico de la revisión de la literatura.

### Películas biodegradables

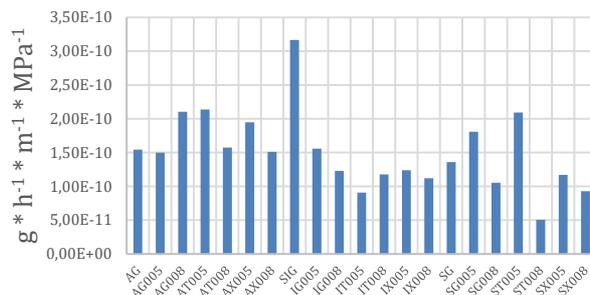


Fig. 1. Grafica de permeabilidad al vapor de agua.

### A. Ensayo mecánico

El ensayo de tracción se desarrolló por triplicado, asimismo se realizó solo de la película que presentó mejor propiedad de barrera en este caso se evaluó la permeabilidad al vapor de agua.

En la Fig. 2, se puede divisar el comportamiento de la película en función de la fuerza aplicada, esta curva se divide en 3 secciones que son: sección 1, corresponde a las deformaciones elásticas como su nombre lo dice elásticas es decir, que si se retira la carga aplicada la probeta regresaría a su forma inicial, además es la sección donde rige el módulo de elasticidad o de Young; la sección 2 es de cedencia, donde se produce una deformación brusca de la probeta manteniéndose la carga aplicada, esto se produce por debido a impurezas presentes en la probeta que obstaculizan el deslizamiento característico de la deformación elástica; sección 3 deformación plástica, donde si se retira la carga aplicada la probeta no recupera su forma original sino parcial evidencia cierta deformación.[15]

El valor obtenido de módulo de elasticidad fue de 11,418, el esfuerzo máximo alcanzado de 7,74 MPa y el porcentaje de elongación antes de la rotura fue de 50%.

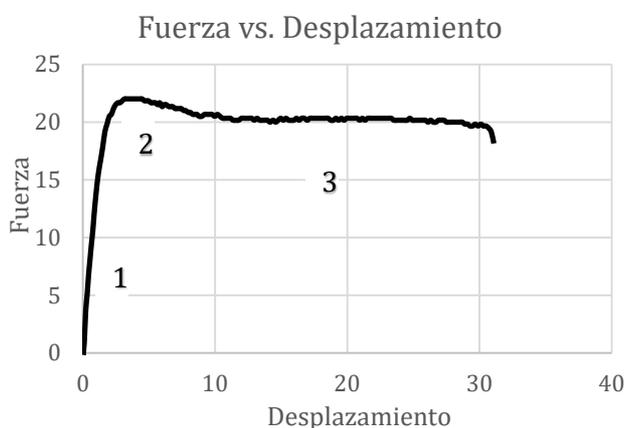


Fig. 2. Grafica de resistencia a la tracción

### B. Análisis termogravimétrico

En la Fig. 3, se muestran curvas de comparación entre la película proteicas de soya con su película de control (sin goma natural). Como se especificó en la metodología antes de realizar todos los ensayos las películas fueron colocadas en una atmosfera de 55-60% de humedad relativa durante 48 horas. Dicho esto, se justifica la perdida inicial de todas las películas se atribuye a la perdida de humedad y deshidratación hasta 130 °C.

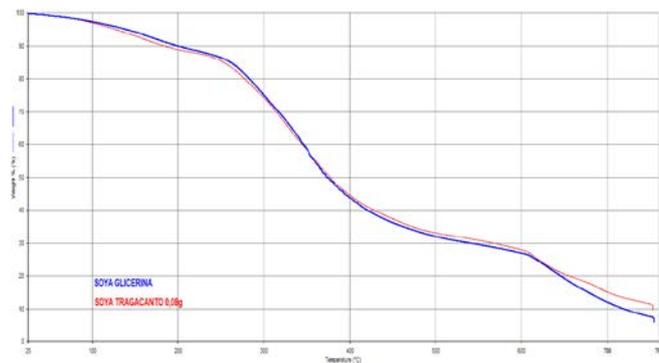


Fig. 3. Termograma de la película soya – tragacanto.

La Tabla I presenta una comparación del comportamiento de las películas estableciendo rangos de temperatura definidos por literatura, donde se infiere los procesos ocurridos en el ensayo para películas biodegradables.

TABLA I  
RESUMEN DEL ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO DE PELÍCULAS ÓPTIMAS

Δ T (°C)	% Peso perdido		Proceso
	ST008	SG	
25-170	7,3	8,676	Perdida de humedad y deshidratación.
220-340	26,507	26,268	Perdida de plastificante y aditivos (gomas naturales).
340-600	33,406	35,417	Descomposición de polisacáridos y aminoácidos presentes en la proteína.
610-750	<b>15,415</b>	<b>18,539</b>	<b>Incineración de todo el material combustible.</b>
% Residuo	9,714	6,095	Contenido de cenizas

ST008: Proteína de soya con 0,08g de goma tragacanto  
SG: Proteína de soya con glicerina(control)

Este análisis realizó con el fin de obtener información sobre la estructura de las películas y las interacciones entre las proteínas de ajonjolí, sachá inchi y soya y las gommas guar, tragacanto y xantana. El análisis FTIR se realizó para la materia prima, es decir, las proteínas, junto con las películas de control y las películas que presentan menor permeabilidad al vapor de agua.

Las posiciones de los picos de absorción característicos primarios facilitan la comparación de los picos de absorción de los bioplásticos de control y los bioplásticos compuestos. Esto se utilizó como confirmación de los cambios estructurales de la proteína extraída antes y después del procesamiento, así como para resaltar las interacciones entre las proteínas y gommas naturales. La curva de absorción infrarroja de la proteína de sachá inchi y soya contienen picos de absorción de vibración de estiramiento N-H y O-H que ocurren a 3271 y 3280  $\text{cm}^{-1}$ , respectivamente.[13]

Mientras que las vibraciones de estiramiento C-H de los grupos CH<sub>3</sub> y CH<sub>2</sub> ocurrieron a 2932  $\text{cm}^{-1}$  para ambas proteínas. A 1634  $\text{cm}^{-1}$  de proteína de sachá inchi y 1635  $\text{cm}^{-1}$  en proteína de soya, se observaron picos de absorción de la flexión de H-N-H, y vibraciones de estiramiento C=O en las bandas amida I', mientras que a 1526, 1236 para la proteína de sachá inchi y 1523 y 1236 para la proteína de soya, se distinguen los picos de flexión y absorción de NH en bandas de amida II y vibraciones de estiramiento CN en la banda de amida III. A 1072 y 1067  $\text{cm}^{-1}$ , se produjo el pico de absorción de vibraciones del enlace glicosídico C-O-C que es parte de la estructura de la proteína.[16]

Al realizar la comparación de la materia prima, bioplástico de control y la bioplástico junto con la goma se observó variaciones en 2 posiciones como se aprecia en la Fig. 4, el pico de absorción 2932  $\text{cm}^{-1}$ , ocurre un aumento a 2959  $\text{cm}^{-1}$  esto puede deberse al cambio de estructura molecular por la desnaturalización de la proteína por efecto del calentamiento. El segundo cambio se da en la variación de 1072 a 1106  $\text{cm}^{-1}$ , que es atribuible a la disociación de las proteínas, con el cambio de estructura del enlace C-C de la estructura de anillo y del enlace glicosídico C-O.

## IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló bioplásticos a base de biopolímeros obtenidos de tortas residuales de la industria de aceite y gommas naturales mediante el método de casting o moldeo, que resultaron maleables, sin olor, el color se asocia a la fuente de proteína, las condiciones de formación de bioplástico se escogieron de estudios realizados a partir de proteína donde se obtuvieron las mejores condiciones para la formación de bioplásticos como pH, temperatura y agitación. El bioplástico más viable no cambia su estructura de manera notable con respecto al espectro de la proteína y de la bioplástico de control. Estos resultados demostraron que las proteínas extraídas de la torta de Soya y Sachá Inchi tienen gran potencial como material formador de bioplásticos biodegradables/comestibles con propiedades adecuadas para su uso como envases y/o embalaje.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento al Laboratorio de Petroquímica de la Universidad da las Fuerzas Armadas-ESPE, por su

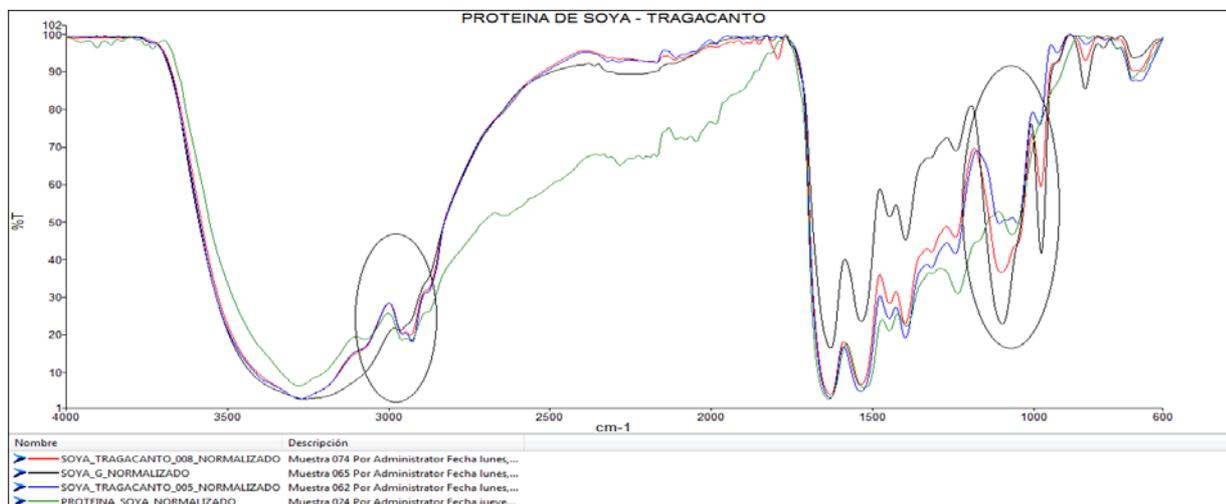


Fig. 4. Espectro FTIR de la bioplástico de proteína de soya con goma tragacanto en el intervalo de 4000-600 cm<sup>-1</sup>.

colaboración que fue de vital importancia para el desarrollo de la presente investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Sánchez, "Estadísticas sobre las bolsas plásticas," 2010. [Online]. Available: <https://www.veoverde.com/2010/03/estadisticas-sobre-las-bolsas-plasticas/>.
- [2] T. Janjarasskul and J. M. Krochta, "Edible Packaging Materials," *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 415–448, 2010.
- [3] A. Ivanković, A. Dronjić, A. M. Bevanda, and S. Talić, "Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice Review of 12 Principles of Green Chemistry in Practice," no. July, 2017.
- [4] N. Gontard, C. Duchez, J. Cuq, and S. Guilbert, "Edible Composite Films of Wheat Gluten and Lipids - Water-Vapor Permeability and Other Physical-Properties," *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 29, no. 1, pp. 39–50, 1994.
- [5] B. Saberi, S. Chockchaisawasdee, J. B. Golding, C. J. Scarlett, and C. E. Stathopoulos, "Physical and mechanical properties of a new edible film made of pea starch and guar gum as affected by glycols, sugars and polyols," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 104, pp. 345–359, 2017.
- [6] J. D. Badia, O. Gil-Castell, and A. Ribes-Greus, "Long-term properties and end-of-life of polymers from renewable resources," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 137, pp. 35–57, 2017.
- [7] S. Goswami and S. Naik, "Natural gums and its pharmaceutical application," *J. Sci. Innov. Res. JSIR*, vol. 3, no. 31, pp. 112–121, 2014.
- [8] ASTM D6400, "Standart Specification for Compostable Plastics," in *American Society for Testing and Materials*, vol. i, 2004, pp. 4–6.
- [9] J. M. Lynch and D. M. Barbano, "Kjeldahl nitrogen analysis as a reference method for protein determination in dairy products.," *J. AOAC Int.*, vol. 82, no. 6, pp. 1389–98, 1999.
- [10] "AOAC Official Method 998.06," 2002.
- [11] L. Sharma and C. Singh, "Composite Film Developed From Blends of Sesame Protein Isolate and Gum Rosin and Their Properties Thereof," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 16, no. 2, pp. 101–113, 2016.
- [12] S. Sadhukhan, "Preparation and Characterization of Polymer Electrolyte," 2011.
- [13] C. Sui, W. Zhang, F. Ye, X. Liu, and G. Yu, "Preparation, physical, and mechanical properties of soy protein isolate/guar gum composite films prepared by solution casting," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 133, no. 18, pp. 1–9, 2016.
- [14] N. T. Nemet, V. M. Šošo, and V. L. Lazić, "Effect of glycerol content and pH value of film-forming solution on the functional properties of protein-based edible films," *Acta Period. Technol.*, vol. 41, pp. 57–67, 2010.
- [15] V. M. Azevedo et al., "Effect of replacement of corn starch by whey protein isolate in biodegradable film blends obtained by extrusion," *Carbohydr. Polym.*, vol. 157, pp. 971–980, 2017.
- [16] J. Piermaria, A. Bosch, A. Pinotti, O. Yantorno, M. A. Garcia, and A. G. Abraham, "Kefiran films plasticized with sugars and polyols: water vapor barrier and mechanical properties in relation to their microstructure analyzed by ATR/FT-IR spectroscopy," *Food Hydrocoll.*, vol. 25, no. 5, pp. 1261–1269, 2011.

# Producción de ácidos orgánicos y alginato de sodio a partir de tratamientos hidrotermales empleando agua de mar

Jonatan Gordón, Eduardo Vymheister, Roman Rodríguez

Departamento Energía y Mecánica/Ingeniería Petroquímica /Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L  
jonatan8890@hotmail.com, eavyhmeister@espe.edu.ec, mrodriguez@espe.edu.ec

**Resumen**—Se pretende añadir valor agregado a las algas pardas (Pheophyta/Padina) ecuatorianas empleándolas como recursos para la producción de ácidos orgánicos y alginato de sodio de manera que se evidencie una fuente alternativa de materia prima en la petroquímica. Basado en el trabajo de Mazumder se determinaron las condiciones para la extracción de alginato de sodio empleando agua de mar y concentración de catalizador ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) al 0%, 1.5% y 3%; el valor del mejor rendimiento fue de 27,34%. Así como también para la obtención de ácidos orgánicos (ácido láctico y acético) basado en el trabajo de Jeon, se empleó metodología de superficie de respuesta (MSR); para lo cual se empleó agua de mar para dos rutas: con alginato de sodio procedente de Sigma Aldrich y con algas pardas ecuatorianas pre-tratadas. El diseño experimental de Box Behken tiene como factores a la temperatura, tiempo de digestión, salinidad del agua y cantidad de catalizador (CaO). El mayor rendimiento obtenido en el estudio para ácido láctico y acético fue del 30,54% y 5,872% respectivamente. Los productos extraídos se analizaron mediante: Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (IFTR-ATR), Análisis Termogravimétrico (TGA) y el Escaneo Calorimétrico Diferencial (DSC), para el alginato de sodio; así como para los ácidos orgánicos, Espectrofotometría de Movilidad Iónica (GC-IMS).

**Palabras Claves**— Ácidos Orgánicos, Agua de Mar, Algas Pardas, Alginato de Sodio.

**Abstract**— It is intended to add added value to Ecuadorian brown algae (Pheophyta / Padina) by using them as resources for the production of organic acids and sodium alginate in order to demonstrate an alternative source of raw material in the petrochemical industry. Based on the work of Mazumder, the conditions for the extraction of sodium alginate using seawater and concentration of catalyst ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) at 0%, 1.5% and 3% were determined; the value of the best performance was 27.34%. As well as for obtaining organic acids (lactic and acetic acid) based on Jeon's work, surface response methodology (MSR) was used; for which seawater was used for two routes: with sodium alginate from Sigma Aldrich and with pre-treated brown seaweed from Ecuador. The experimental design of Box Behken has as factors the temperature, digestion time, water salinity and amount of catalyst (CaO). The highest yield obtained in the study for lactic acid and acetic acid was 30.54% and 5.872% respectively. The extracted products were analyzed by: Fourier transform infrared spectroscopy (IFTR-ATR), Thermogravimetric Analysis (TGA) and Differential Calorimetric Scanning (DSC), for sodium alginate; as well as for organic acids, Ion Mobility Spectrophotometry (GC-IMS).

**Keywords**— Organic Acids, Seawater, Brown Algae, Sodium Alginate.

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos marinos de gran interés a nivel industrial, de las cuales se extraen diferentes productos

empleados como fuente de materia prima para diversas industrias, son las algas (biomasa), ya que, dentro de los recursos renovables del mar, tienen una elevada importancia económica.

El proceso de conversión hidrotérmica de biomasa es barato, sostenible y respetuoso con el medio ambiente ya que emplea agua caliente y comprimida en lugar de disolventes orgánicos costosos y tóxicos, para la obtención de productos químicos en pocas horas. [1]

El agua de mar está constituida de un 96,5% de agua y el 3,5% de sustancias disueltas (iones). Siendo los más abundantes: Cloro, Sodio, Calcio, Potasio, Magnesio y Sulfato. Además, contiene concentraciones de ácidos grasos volátiles de 5 a 50  $\mu\text{g} / \text{l}$  dependiendo del tipo de agua (estuarina, costera, del océano abierto) [2]. Al emplear agua de mar (96,5% de constitución del agua total del planeta), se promueve el cuidado y preservación del agua dulce, que es la que normalmente se usa en este tipo de procesos.

Los polisacáridos presentes en la matriz celular de las algas pardas son alginato, laminarano y fucoidan, que representan del 40 al 80% de la biomasa de algas secas [3]. El alginato es un copolímero lineal, y consiste en unidades de los ácidos  $\beta$ -Dmanurónico (M) y  $\alpha$ -L-gulurónico (G), unidos por enlaces glicosídicos 1 $\rightarrow$ 4 y dispuestos de manera homopolimérica y heteropolimérica. [4]

Los ácidos orgánicos son compuestos oxigenados ampliamente utilizados en la actualidad en industrias como: la alimenticia, agrícola, acuícola y química. [5]

La producción de ácidos orgánicos a partir de productos de biomasa es de gran importancia en las industrias futuras considerando la inminente escasez de petróleo. [6]

## II. MÉTODO

### A. Recolección, tratamiento y transporte de las Algas Pardas

Suelen encontrarse en la zona intermareal rocosa y pueden ser recolectadas manualmente sin dificultad alguna, sin embargo, si se encuentra sumergida en sitios más profundos pueden ser atrapadas mediante un garfio o cualquier tipo de gancho pesado o un rastrillo sujetado a una cuerda [7]. Fueron recolectadas en las playas de la provincia de Manabí: Machalilla y Puerto Cayo; lavadas primero múltiples veces con agua corriente para la remoción de material no deseado y finalmente con agua destilada, se secan dentro de un horno convectivo (Estufa – BOECO Isotherm OFA) a 60 °C. Son trituradas y reducidas de tamaño de partícula a Mesh 10 y 20 usando un procesador de alimentos durante 2,5 min [8] y un tamizador analítico

RESTCH. Son almacenadas en bolsas plásticas selladas.

### B. Extracción de Alginato de Sodio

En torno a las condiciones óptimas de extracción determinadas por Mazumder [9]. (90 °C, 3% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 3h). Dejar reposar a temperatura ambiente durante 24h en formol al 2% un gramo de algas (Mesh 10), para despigmentarlas. Lavar con agua destilada las algas despigmentadas varias veces (más de 3), añadir ácido clorhídrico 1M (20 mL aproximadamente) para inducir el intercambio iónico Ca/H (transformando en ácido algínico las sales algínicas insolubles) y dejar reposar durante 24h. Con agua destilada, lavar las algas acidificadas a fondo. Digestar la biomasa con ayuda del sistema de la Fig. 1, añadiendo carbonato sódico (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a distintas concentraciones (0%, 1.5% y 3%) en solución acuosa con agua de mar - agua destilada a distintas proporciones (100:0, 75:25, 50:50, 0:100) durante 3h a 90°C. La relación de volumen de líquido vs la masa de alga seca debe ser de (50mL/g) [10]. El agua de mar empleada fue purificada mediante filtración, ultravioleta (UV) y Ozonización.

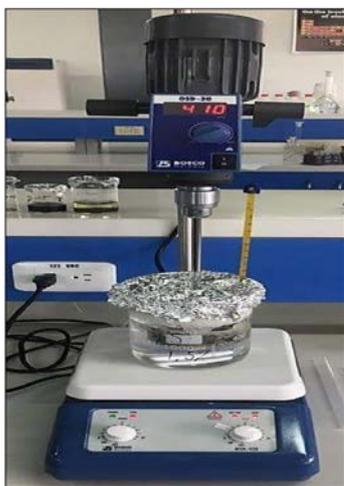


Fig. 1. Sistema de Extracción de Alginato de Sodio.

El agitador eléctrico a 400 – 410 rpm, agitó las algas con la solución de carbonato de sodio contenidos en un vaso de precipitación al cual se le suministra temperatura a través de baño María con la ayuda del agitador-calentador y un vaso de precipitación que contiene agua. Separar la fracción soluble posterior a la extracción alcalina, aplicando centrifugación durante 25 minutos a 4.000 rpm. Centrifugar el sobrenadante de la primera separación a las mismas condiciones, para obtener un líquido con la menor cantidad de sólidos posibles. Precipitar el sobrenadante de la segunda separación con etanol al 96%. Recoger la masa precipitada y disolver en agua destilada, para ser agitada durante 12 horas. La solución generada se precipita nuevamente usando una solución nueva de etanol al 96% [11]. La fracción precipitada se seca a 50°C hasta mantener un peso constante (durante 24 horas). Pesar el producto seco obtenido para obtener el rendimiento del proceso aplicando la siguiente expresión:

$$\%rendimiento = \frac{g \text{ producto extraído seco}}{g \text{ alga seca utilizada}} \cdot 100 \quad (1)$$

Se caracteriza a través de Espectrometría infrarrojo FT-

IR, Análisis Termogravimétrico— Perkin Elmer y Calorimetría Diferencial de Barrido DSC- Mettler Toledo.

### C. Producción de Ácidos Orgánicos

Las rutas para su obtención son: A partir del uso directo de alga parda pretratada tamizada y de alginato de sodio Sigma Aldrich con agua de mar a diferente salinidad (15; 23,25; 31,5 ppt) y con la presencia o no de un catalizador (CaO) (0g; 0,3g y 0,6g). Para ambas rutas se emplea el mismo diseño experimental y también el equipo digestor (Microondas analytikjena TOP WAVE) para conseguir las condiciones de temperatura requeridas (180; 200 y 220 °C) en tiempos determinados (0,5; 1; 1,5 h). Se agrega a los reactores del microondas 0,6 g de alga con un Mesh 20 como de alginato de sodio de Sigma Aldrich. El alga es previamente remojada en agua de mar durante 24h antes de ser sometida al proceso y paralelamente se preparan las diluciones del agua de mar con agua destilada para obtener los distintos puntos de salinidad, que son comprobados con la ayuda de un conductímetro (salinómetro). Adicionalmente según el diseño experimental agregar en los reactores el agua a su salinidad correspondiente en un volumen de 30 mL así como también la cantidad de catalizador. Centrifugar durante 20 min el producto obtenido y posteriormente filtrarlo y guardarlo en un ambiente oscuro y refrigerado (4°C) de preferencia para su posterior análisis y caracterización a través del GC-IMS FlavourSpec (Espectrofotometría de Movilidad Iónica).

Previo a su análisis, las muestras de polisacáridos en forma de polvo se secaron a 50°C en un tiempo de 3 horas en un horno convectivo (estufa). Como referencia se empleó el alginato de sodio adquirido de Sigma-Aldrich. Para analizar los ácidos orgánicos, las muestras serán reducidas a pH 1 y colocadas en viales. Se realizaron curvas de calibración las cuales se realizaron por duplicado a diferentes concentraciones de los ácidos láctico y acético (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%), se colocaron en viales en un volumen de 10 µL y se analizó.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En en la Tabla I en la extracción de polisacáridos (alginato de sodio) un factor decisivo es la presencia de carbonato de sodio, mientras exista mayor concentración de este el rendimiento de extracción aumenta proporcionalmente. Siendo al 3% y pura agua de mar la experimentación con el rendimiento más alto (27,34%).

TABLA I  
RENDIMIENTOS DE LAS EXPERIMENTACIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE ALGINATO DE SODIO

Experimento	Concentración Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Proporción Agua de Mar: Agua Destilada
1	0%	100 - 0
2	0%	75 - 25
3	0%	50 - 50
4	0%	0 - 100
5	1.5%	100 - 0
6	1.5%	75 - 25
7	1.5%	50 - 50
8	1.5%	0 - 100
9	3%	100 - 0
10	3%	75 - 25
11	3%	50 - 50
12	3%	0 - 100

En las Fig. 2, Fig. 3 y Fig. 4 se presentan: el espectro FTIR, los termogramas TGA y DSC respectivamente del experimento con mayor cantidad de rendimiento.

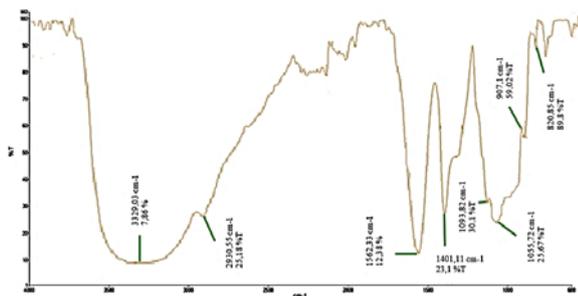


Fig. 2. Espectro FTIR para experimento con mayor rendimiento.

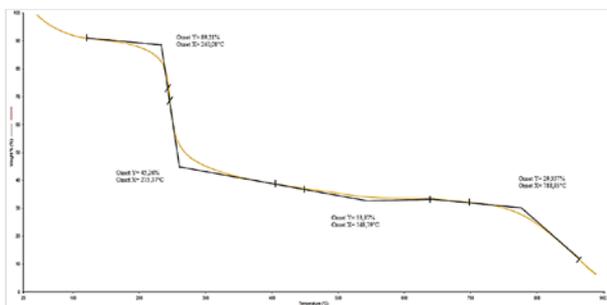


Fig. 3. Termograma TGA para experimento con mayor rendimiento.

Según Gómez-Ordoñez [12] existen de siete a ocho bandas características en el rango de 2000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  para el alginato. Según los trabajos realizados por Martins [13] el termograma del alginato presenta cinco etapas o zonas existe degradación térmica; correspondiendo a cada una los intervalos de temperatura 40 a 235°C; 235 a 290°C; 290 a 510°C; 510 a 785 y 785°C a 900°C; respectivamente. Soares, Swamy, Ramaraj, y Siddaramaiah [14] enuncian que para la curva DSC del alginato de sodio (Fig. 4) presentan dos picos característicos uno endotérmico cercano a 100°C y otro exotérmico entre 240 – 260°C.

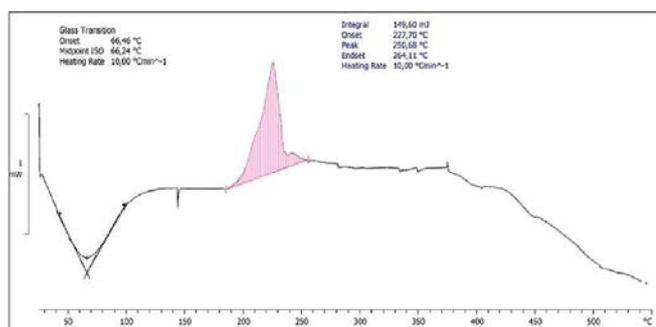


Fig. 4. Curva DSC para experimento con mayor rendimiento.

Para la producción de ácidos orgánicos se elaboraron las curvas de calibración para cada ácido orgánico (Fig. 5).

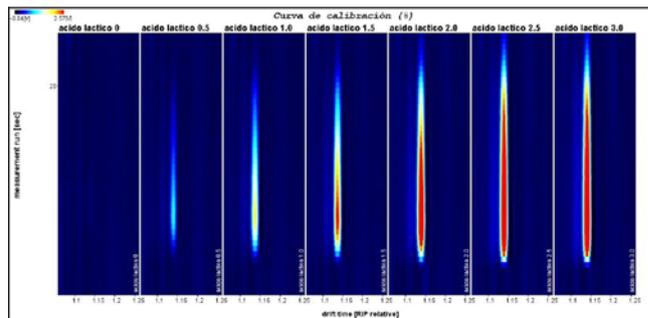


Fig. 5. Señales del equipo GC-IMS para el ácido láctico

Las gráficas de superficie nos ofrecen un análisis de la influencia de nuestros factores o variables hacia nuestra variable respuesta (rendimiento). Las Fig. 6 y Fig. 7 muestran los valores óptimos para cada ácido y ruta establecida.

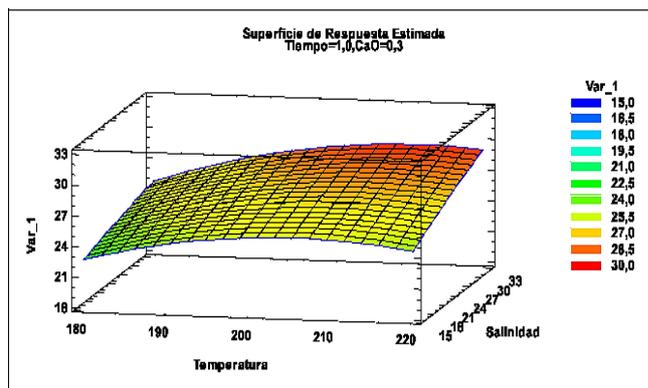


Fig. 6. Mejor Superficie de Respuesta para la obtención de ácido láctico (con Alginato).

El valor óptimo de rendimiento es 29,6475% a 215,162 °C, 1.3169 h, 31.5 ppt de Salinidad y 0.29736 g de CaO.

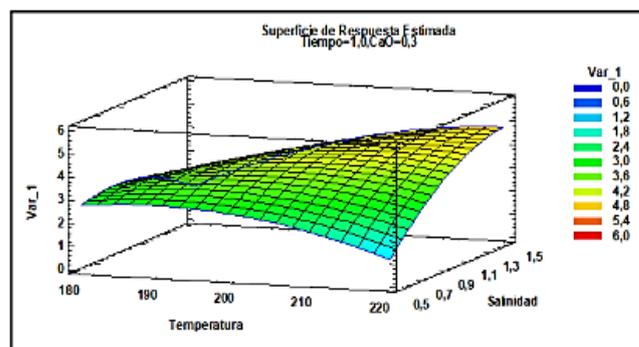


Fig. 7. Mejor Superficie de Respuesta para la obtención de ácido acético (con Alginato).

El valor óptimo de rendimiento es 4,975% a 220 °C, 1,5 h, 31,5 ppt de Salinidad y 0,298809 g de CaO.

#### IV. CONCLUSIONES

Sin la adición de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  no se llegará a obtener alginato de sodio. El desarrollar la extracción de alginato con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  en agua de mar obtenemos un rendimiento del 27,34%. Se puede reemplazar el agua dulce convencional por agua de mar para realizar la extracción de alginato de sodio.

Es posible la producción de ácidos orgánicos a partir de algas pardas marinas y alginato de sodio en agua de mar

empleando tratamiento hidrotermal (microondas). El mayor rendimiento obtenido en el estudio para ácido láctico y acético fue del 29,6475% y 4,975% respectivamente.

#### REFERENCIAS

- [1] Jeon, W., Ban, C., Park, G., Woo, H. C., & Kim, D. H. (2016). Hydrothermal conversion of macroalgae-derived alginate to lactic acid catalyzed by metal oxides. *Catalysis Science & Technology*, 6(4), 1146-1156.
- [2] Thurman, E. (1985). *Organic Geochemistry of Natural Waters. Developments in Biogeochemistry*. Martinus Nijhoff/Dr W: Junk Publishers, Boston, MA.
- [3] Sinurat, E., Peranginangin, R., & Saepudin, E. (2016). Purification and Characterization of Fucoidan from the Brown Seaweed *Sargassum binderi* Sonder. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 10(2), 79. doi: 10.15578/squalen.v10i2.133
- [4] León, J. L. A. (2015). Extracción y caracterización del alginato de sodio procedente del alga parda *Macrocystis* sp. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Mención: Química.)
- [5] Ng, W.-K., Koh, C.-B., Sudesh, K., & Siti-Zahrah, A. (2009). Organic acids potential replacement for antibiotic treatments of tilapia. *Global aquaculture advocate*.
- [6] Aida, T. M., Yamagata, T., Abe, C., Kawanami, H., Watanabe, M., & Smith, R. L. (2012). Production of organic acids from alginate in high temperature water. *The Journal of Supercritical Fluids*, 65, 39-44. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.supflu.2012.02.021>. Conan, "The Weight Spectra of some Short Low-Rate Convolutional Codes", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 32, pp. 1050-1053, September 1984.
- [7] Ozgun, S., Turan, F., Çinar, M. E., Bakir, K., Öztürk, B., Katağan, T., . . . Bakir, B. B. (2015). Biochemical composition of some brown algae from Iskenderun Bay, the northeastern Mediterranean coast of Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 21, 125-134.
- [8] Yaich, H., Garna, H., Bchir, B., Besbes, S., Paquot, M., Richel, A., . . . Attia, H. (2015). Chemical composition and functional properties of dietary fibre extracted by Englyst and Prosky methods from the alga *Ulva lactuca* collected in Tunisia. *Algal Research*, 9, 65-73.
- [9] Mazumder, A., Holdt, S. L., De Francisci, D., Alvarado-Morales, M., Mishra, H., & Angelidaki, I. (2016). Extraction of alginate from *Sargassum muticum*: process optimization and study of its functional activities. *Journal of Applied Phycology*, 28(6), 3625-3634.
- [10] Hernández-Carmona, G., McHugh, D. J., Arvizu-Higuera, D. L., & Rodríguez-montesinos, Y. E. (1998). Pilot plant scale extraction of alginate from *Macrocystis pyrifera*. 1. Effect of pre-extraction treatments on yield and quality of alginate. *Journal of Applied Phycology*, 10(6), 507-513.
- [11] Cacuango, R., & Javier, M. (2017). Extracción y caracterización de alginatos derivados de algas pardas, para la producción de ácido láctico (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería en Petroquímica).
- [12] Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1514-1520. doi: 10.1016/j.foodhyd.2011.02.
- [13] Martins, A. F., Bueno, P. V., Almeida, E. A., Rodrigues, F. H., Rubira, A. F., & Muniz, E. C. (2013). Characterization of N-trimethyl chitosan/alginate complexes and curcumin release. *International Journal of Biological Macromolecules*, 57, 174-184.

# Aplicación de la química verde para la obtención de bases lubricantes

Roman Nicolay Rodríguez Maecker, Jonathan André Alvarez Chacón

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga  
mrodriguez@espe.edu.ec, jonathanalvarezandre@gmail.com

**Resumen**—El presente estudio busca obtener una base lubricante mediante la reacción de esterificación de Fischer entre ácidos grasos provenientes de los aceites vegetales con aceite de fusel, empleando como catalizador el ácido sulfúrico y como desecante sílica gel con un tiempo de reacción de 2 horas. Se estableció un diseño experimental óptimo a partir de estudios previos, donde se determinaron las propiedades físico-químicas más relevantes, además se realizaron pruebas de tendencia a la corrosión y demostraron que no alteran la superficie del metal ni su color. El aceite de fusel fue tratado y deshidratado para obtener alcoholes para la reacción de esterificación. Las nueve bases lubricantes se caracterizaron mediante propiedades físico-químicas como densidad, viscosidad cinemática, índice de viscosidad, punto de escurrimiento y punto de inflamación; además se determinó la composición relativa en forma cualitativa y cuantitativa mediante la técnica de cromatografía de gases con espectrómetro de masas (GC/MS), mediante esta técnica se identificó un total de 7 ésteres de ácidos grasos con los alcoholes del aceite de fusel. Se aplicaron 3 principios de la química verde como la utilización de materias primas renovables, síntesis químicas menos riesgosas para el ser humano y la disminución del consumo energético.

**Palabras Claves**—Aceite de fusel, Aceite vegetal, Base lubricante, Esterificación, Química verde.

**Abstract**—The present study seeks to obtain a lubricant base by means of Fischer esterification reaction between fatty acids coming from vegetable oils with fusel oil, using as catalyst the sulfuric acid in a minimum quantity with a reaction time of 2 hours. An optimal experimental design was established from previous studies, where the most relevant physical-chemical properties were determined, and corrosion tendency tests were carried out and showed that they do not alter the surface of the metal nor its color. The fusel oil was treated and dehydrated to obtain alcohols for the esterification reaction. The nine lubricant bases were characterized by physical-chemical properties such as density, kinematic viscosity, viscosity index, point of runoff and flash point; In addition, the relative composition was determined qualitatively and quantitatively using the gas chromatography technique with mass spectrometer (GC / MS). Through this technique, a total of 7 fatty acid esters were identified with the alcohols of fusel oil. Three important principles of green chemistry were applied.

**Keywords**—Fusel oil, Vegetable oil, Lubricant base, Esterification, Green chemistry.

## I. INTRODUCCIÓN

Un lubricante se define como una sustancia que permite evitar el contacto entre dos superficies en movimiento, y disminuir el desgaste de las piezas metálicas. Los lubricantes son sustancias que están compuestas por una mezcla de aceites base y aditivos, por lo general entre 75-85% de aceite base y de aditivos entre un 15-25%, los cuales deben cumplir una serie de especificaciones para cada aplicación industrial. [3]

La reacción de esterificación del ácido oleico con fracciones del aceite de fusel reveló que se puede obtener un aceite lubricante biodegradable con una alta conversión de ésteres. Estudios previos sobre el aceite de fusel muestran que es una materia prima valiosa con varias aplicaciones industriales. [9,10] El aceite de fusel está compuesto por varios alcoholes importantes como el alcohol etílico, butílico y amílico; siendo el de mayor composición el alcohol isoamílico o iso pentanol, su aplicación primordial se enfatiza en la obtención de productos químicos con alto valor agregado como: solventes, agentes aromáticos, plastificantes y lubricantes biodegradables. [7]

Recientemente, los aceites y grasas vegetales se han empleado en procesos industriales favorables con el medio ambiente, para producir nuevos compuestos que no alteren ni afecten al ambiente y la salud del ser humano; se destacan innovadoras áreas como la química verde, la biotecnología, la energía y los recursos renovables. La esterificación es la reacción orgánica más utilizada en la formulación de algunas grasas modificadas y productos alternos provenientes del petróleo. [7]

La química verde forma parte de un desarrollo sustentable con el medio ambiente, maneja 12 principios fundamentales que buscan la generación de productos biodegradables, la disminución del consumo energético, la sustitución de los elementos derivados del petróleo por materias primas renovables de origen vegetal y la reutilización de desechos de las industrias para el desarrollo de diversos componentes. A través de estas líneas, se puede enfocar en el desarrollo de lubricantes ecológicos, biodegradables y no tóxicos para el ser humano y el medio ambiente. [1,8]

## II. METODOLOGÍA

### A. Materiales

El aceite de fusel utilizado para la investigación fue donado por la empresa ALCOPEA S.A.; los aceites vegetales empleados durante el proceso fueron: el aceite de palma, girasol y canola; debido a que poseen un alto contenido de ácido oleico y la considerable producción nacional. El catalizador empleado para la reacción de esterificación fue el ácido sulfúrico (Merck, pureza de 95-97%) y como desecante se utilizó sílica gel con indicador amarillo (SorbTech, pureza 98%).

Los materiales, equipos y reactivos utilizados para determinar las propiedades físico-químicas más importantes de las bases lubricantes se basaron exclusivamente en estudios previos similares. Se empleó alcohol isoamílico (Lobal Chemie, reactivo estándar para el GC/MS), KOH (Merck, pureza de 98%), metanol (Merck, pureza 99,8%), acetona (Sigma-Aldrich, pureza 99%) para disolver los

aceites vegetales y las bases lubricantes para el análisis en el equipo GC/MS, entre otros.

### B. Procedimiento

En base a la metodología, se establecieron tres fases; la primera fase trató sobre la deshidratación del aceite de fusel con una solución salina al 35% (m/v) y su posterior separación mediante decantación y el equipo rotavapor, la determinación de la densidad, el contenido de aceites vegetales y el aceite de fusel mediante la técnica de GC/MS y la obtención de los ácidos grasos libres mediante la reacción de hidrólisis. La segunda fase trató sobre la esterificación de los ácidos grasos libres con el aceite de fusel deshidratado incluyendo la filtración y purificación de las bases lubricantes mediante rotavapor. [9,10]

Finalmente, la tercera fase trató sobre la caracterización físico-química de las bases lubricantes acorde a las propiedades más importantes de las bases lubricantes, además se empleó la técnica de GC/MS para determinar el contenido de ésteres, y prueba de tendencia a la corrosión mediante la norma ASTM D130. Las condiciones de trabajo para el equipo rotavapor fueron 110°C y 350 mbar. [2]

La reacción de esterificación de los aceites vegetales y el aceite de fusel deshidratado, se llevó a cabo en un reactor de vidrio de referencia, el cual consiste en balón de vidrio de tres bocas, con capacidad de 1L; un termómetro de vidrio con una graduación de 0°C - 100°C, un refrigerante de bolas con sus respectivos tapones de vidrio, una plancha de calentamiento con agitación magnética marca Boeco y un imán pequeño.

Las condiciones óptimas para la reacción de esterificación se establecieron bajo estudios previos. [10] Las condiciones empleadas durante el proceso fueron: temperatura de reacción de 90°C, tiempo de reacción 120 minutos, a presión atmosférica, velocidad de agitación 70 rpm, relación molar 1:2 de aceite vegetal con respecto al aceite de fusel deshidratado, 50% en peso de desecante con respecto al ácido oleico y 1.25% en peso de catalizador con respecto al ácido oleico. [10] Para el estudio de la influencia del rendimiento de las condiciones de reacción de la esterificación, se seleccionó el diseño unifactorial totalmente aleatorizado de efectos fijos equilibrado, con tres repeticiones para cada tipo de aceite empleado. Se estableció la variable de respuesta al rendimiento de la esterificación del éster oleato de isoamilo, donde viene dada por (1) [2].

$$R = \frac{\text{Conocen del oleato de isoamilo (g / mL)}}{\text{Densidad del aceite (g / mL)}} \cdot 100 \quad (1)$$

donde  $R$  es el rendimiento del éster, la concentración del oleato de isoamilo se determinó mediante la composición relativa dada por el GC/MS y la densidad de los diferentes aceites vegetales en g/mL.

### C. Métodos Analíticos

En base a las propiedades físico químicas más importantes para las bases lubricantes, se determinaron varias propiedades como: la viscosidad cinemática a 40°C y 100°C (NTE INEN 810), el índice de viscosidad (ASTM D 2270), el punto de inflamación (NTE INEN 808) y el punto de escurrimiento (NTE INEN 1982). [6] Además, se determinó la densidad a 20°C mediante la técnica del

picnómetro y la prueba de calidad de las bases lubricantes acorde a la norma ASTM D130 mediante la tendencia a la corrosión de la lámina de cobre.

En cuanto al análisis cromatográfico para determinar el contenido de ésteres y alcoholes del aceite de fusel, se empleó un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC/MS), modelo Clarus 680 GC - Clarus SQ8T MS, de marca PerkinElmer. Se empleó una columna GC con una fase estacionaria de 5% de difenilo y 95% de dimetilpolisiloxano (ZB-5 30m x 0.25mm DI, película de 0,25 μm) y se utilizó como gas portador helio 5.0 (Linde).

Para determinar el contenido de alcohol isoamílico en el aceite de fusel deshidratado y sin deshidratar, se tomaron 1.8 mL de cada muestra y se preparó una curva de calibración con concentraciones de 0, 20, 40, 60 y 80 % de alcohol isoamílico en acetona, se ajustó el cromatógrafo de gases con las siguientes condiciones: el flujo del gas portador fue de 1.5 mL/min, se inyectó un 1μL y la temperatura del inyector fue de 250°C. [5] Se utilizó el siguiente programa de temperatura del horno GC: temperatura inicial de 40°C durante dos minutos, con rampa de 15°C/min hasta 80°C con un tiempo de espera de 2 minutos.

Para determinar el contenido de ácidos grasos y ésteres de los aceites vegetales y las bases lubricantes obtenidas, se tomaron 0.25 mL de aceite vegetal con 2 mL de hexano, luego de agitar se añadió 0.5 mL de metóxido de sodio 1M, luego de 15 minutos se tomaron 100μL en 1000μL de acetona; para el caso de las bases lubricantes se tomaron 100μL en 1000μL de acetona de cada muestra. Se ajustó el cromatógrafo de gases con las siguientes condiciones: el flujo del gas portador fue de 1.5mL/min, se inyectó un 1μL con Split (1:10) y la temperatura del inyector fue de 250°C. Se utilizó el siguiente programa de temperatura del horno GC: temperatura inicial de 120°C durante dos minutos, con rampa de 10°C/min hasta 300°C con un tiempo de espera de 4.5 minutos [4].

El equipo GC-MS se controló y se analizó los cromatogramas y los espectros de masas con el software Turbomass (versión 6.1.9.1963, Perkin Elmer, EE. UU.). La identificación de cada pico se realizó por medio de la base de datos interna NIST MS para cada caso.

## III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de las propiedades físico-químicas y las temperaturas de inicio de oxidación de las bases lubricantes obtenidas, se muestran en la Tabla I.

TABLA I  
PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS Y OOT DE LAS BASES LUBRICANTES

Propiedad	Lubricante de Canola	Lubricante de Girasol	Lubricante de Palma
Viscosidad Cinemática (cSt, 40°C)	5,87	6,78	6,18
Viscosidad Cinemática (cSt, 100°C)	2,28	2,30	2,35
Índice de Viscosidad	276	179	246
Punto de Escurrimiento (°C)	-21	-15	-18
Punto de Inflamación (°C)	200	196	187

Los límites referenciales de viscosidad cinemática basados en la norma NTE INEN 2029:2013, para una base lubricante liviana están comprendidos entre 2 a 6.1 mm<sup>2</sup>/s (cSt), por lo que las bases lubricantes obtenidas cumplen con la especificación de la viscosidad cinemática a 100°C, ubicándose como bases lubricantes livianas.

Los límites referenciales del índice de viscosidad basados en la norma NTE INEN 2029:2013, para una base lubricante liviana tiene como valor mínimo 92, sin restricción del valor máximo por lo que se puede obtener un valor superior a 150, ya que las bases lubricantes sintetizadas a partir de aceites vegetales poseen índices de viscosidad superiores a 100; esto quiere decir que muestra pequeños cambios en la viscosidad del aceite frente a altas temperaturas.

Los límites referenciales del punto de escurrimiento basados en la norma NTE INEN 2029:2013, para una base lubricante liviana tiene como rango máximo -12°C de temperatura y no posee un rango mínimo de referencia; por otra parte, todas las bases lubricantes obtenidas poseen una temperatura menor a -15°C, comprobándose que las bases cumplen con el requisito de la norma de una base lubricante liviana.

El punto de inflamación más alto determinado por la norma INEN, fue el base lubricante de la réplica 1 proveniente del aceite de canola, esto se debe a que los ésteres poseen un fuerte momento dipolar que provoca que se atraigan el uno al otro; por lo tanto, disminuyen la volatilidad y la presión de vapor de la mezcla. Los límites referenciales del punto de inflamación basados en la norma NTE INEN 2029:2013, para una base lubricante liviana comprenden como valor mínimo de temperatura 185°C y no posee un valor máximo de temperatura de referencia; por otra parte, todas las bases lubricantes obtenidas poseen una temperatura de inflamación mayor 185°C, comprobándose que las bases cumplen con el requisito de la norma NTE INEN 2029 de una base lubricante liviana.

La densidad de los aceites vegetales y del aceite de fusel medidos a 20°C, muestran una tendencia para los aceites vegetales comprendida entre 0.9134 a 0.9172 g/mL y para el aceite de fusel de 0.808 g/mL. La densidad de las bases lubricantes medidas a 20°C, muestran una tendencia con un valor similar de 0.86 g/mL en todos los casos y no presentan variabilidad significativa entre estas.

Los resultados de las pruebas de corrosión mediante la norma ASTM D130 empleando la lámina de cobre, demostraron que todas las bases lubricantes poseen una ligera tendencia a la corrosión, los resultados de las bases lubricantes de palma y girasol mostraron la categoría **1a** y la base lubricante de canola mostró una categoría **1b**; esto se debe a que poseen bajo índice de acidez, por lo tanto, no provocará ningún tipo de corrosión profunda en las piezas metálicas que se encuentren en contacto.

El contenido de alcoholes en el aceite de fusel se determinó mediante la técnica de GC/MS, donde se obtuvo que el alcohol isoamílico fue el componente de mayor composición en el aceite de fusel tratado y sin tratar, con un 89,5% y 28,8%, respectivamente. Se puede observar en la Fig. 1, el cromatograma del aceite de fusel deshidratado.

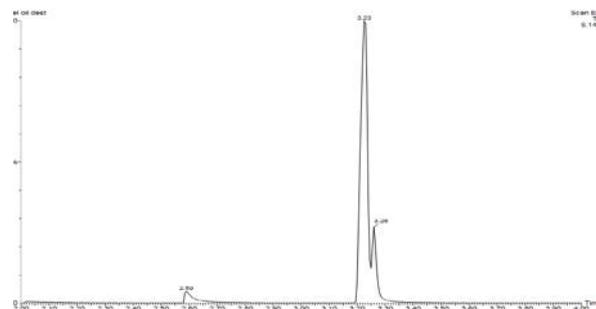


Fig. 1. Cromatograma del aceite de fusel deshidratado.

La Fig. 2, muestra los componentes identificados en el aceite de fusel deshidratado mediante sus tiempos de retención, resaltando que el alcohol isoamílico tiene un tiempo de retención de 3.23 min y por ende el pico de mayor altitud.

El contenido de ésteres y ácidos grasos de las bases lubricantes, se determinaron mediante el equipo GC/MS, donde se obtuvo que el oleato de isoamilo fue el componente de mayor composición en las bases lubricantes, con un tiempo de retención de 13.73 min, y el componente de mayor composición de los aceites vegetales fue el ácido oleico con un tiempo de retención de 10.94 min. La Fig. 2, muestra el cromatograma del aceite de palma y sus respectivas bases lubricantes reflejadas.

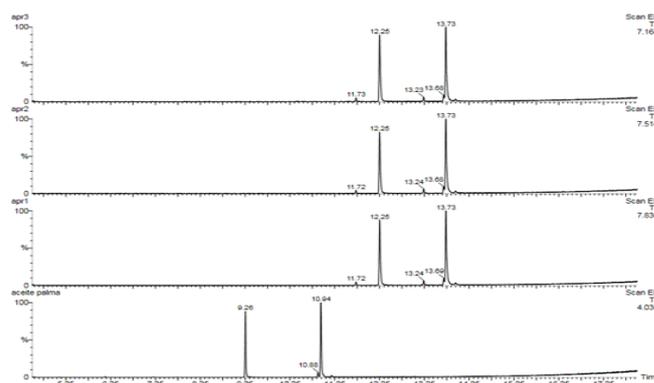


Fig. 2. Cromatogramas del aceite de palma y sus bases lubricantes.

En la Fig. 2, se puede evidenciar que los picos del aceite de palma (parte inferior) se ven reflejados en los ésteres de las bases lubricantes, denotándose que el pico con tiempo de retención de 10.94 min, correspondiente al ácido oleico; y se refleja en el éster oleato de isoamilo en el pico de mayor altura con un tiempo de retención de 13.73 min. Para el caso del aceite de palma, según el reporte cuantitativo del equipo cromatográfico, posee un 50.8% de composición relativa de oleato de isoamilo en las bases lubricantes y un 54.54% de ácido oleico.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados de los cromatogramas de las bases lubricantes muestran que el éster de mayor composición es el oleato de isoamilo en todos los casos, destacándose así la base lubricante del aceite de canola, el cual posee una composición superior al 62% de este compuesto con un rendimiento de 68%. Este estudio demostró que las bases lubricantes obtenidas a partir de la reacción de esterificación entre el aceite de fusel tratado y los aceites vegetales comerciales conlleva a producir en mayor proporción el

éster oleato de isoamilo, el cual posee un buen potencial para ser una base lubricante para motores a combustión interna, debido a que los resultados obtenidos de las propiedades físico-químicas se encuentran entre los límites de la norma NTE INEN 2029: “Bases Lubricantes para uso automotor”. En base al estudio realizado, se demostró que las bases lubricantes obtenidas a partir de los aceites vegetales modificadas químicamente son una alternativa sostenible y ecológica a los aceites minerales y encontrarán una posible aplicación práctica en el campo de la lubricación y el impulso de la química verde.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la empresa ALCOPESA S.A. por la donación del aceite de fusel que sirvió como materia prima para la obtención de las bases lubricantes. Se agradece también al Ph.D. Roman Rodríguez por la colaboración y aporte en el manejo de equipos de laboratorio y la tutela de la investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] Anastas, P. T., & Warner, J. C. (2000). Green Chemistry: Theory and Practice. In O. U. Press (Ed.), Green Chemistry (pp. 8-30). New York: Oxford University Press.
- [2] Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S., & Kalligeros, S. (2009). Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies*, 2(2), 362-376. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1996-1073/2/2/362>
- [3] Boyde, S. (2002). Green lubricants. Environmental benefits and impacts of lubrication. *Green Chemistry*, 4(4), 293-307. Retrieved from <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2002/gc/b202272a/unauth#!divAbstract>
- [4] Cert, A., Moreda, W., & Pérez-Camino, M. (2000). Methods of preparation of fatty acid methyl esters (FAME). Statistical assessment of the precision characteristics from a collaborative trial. *Grasas y aceites*, 51(6), 447-456. doi: <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i6.464>
- [5] Eberhardt R., K., & Allen K., V. (2003). Complete Separation and Quantitation of Fusel Oils by Capillary GC. *Life Sciences and Chemical Analysis*, 1-7. Retrieved from [www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem)
- [6] INEN2029. (1995). NTE INEN 2029: Derivados del petróleo: Bases lubricantes para uso automotor. Requisitos. [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/rte\\_014.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/rte_014.pdf)
- [7] Kücük, Z., & Ceylan, K. (1998). Potential utilization of fusel oil: A kinetic approach for production of fusel oil esters through chemical reaction. *Turkish Journal of Chemistry*, 22(3), 289-300. Retrieved from <https://journals.tubitak.gov.tr/chem/abstract.htm?id=2226>
- [8] Mishra, A., Singh, D., & Devnani, L. (2016). Synthesis of Environmental Friendly Biolubricant: A Novel Approach. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, VI, 536-541. Retrieved from <https://www.ijltet.org/journal/85.pdf>
- [9] Özgülsün, A., Karaosmanoglu, F., & Tüter, M. (2000a). Esterification reaction of oleic acid with a fusel oil fraction for production of lubricating oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77(1), 105-109. doi: <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0017-5>.
- [10] Özgülsün, A., Karaosmanoglu, F., & Tüter, M. (2000b). Esterification Reaction of Oleic Acid With a Fusel Oil Fraction for Production of Lubricating Oil. *AOCS Press*, 105-109.