

ISSN: 2600-5921

GEOESPACIAL

-REVISTA-

16/2
2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Volumen 16. Número 2. Julio-Diciembre 2019

Revista GEOESPACIAL Vol. 16 N°2



Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

Revista GEOESPACIAL Vol. 16 N° 2

Revista oficial de difusión científica y tecnológica en el área de las Ciencias Geoespaciales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Periodicidad:

La revista Geoespacial es publicada semestralmente

Revista GEOESPACIAL, Volumen 16 N°2, Julio- Diciembre 2019

Editor:

Dr. Alfonso Tierra

Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Comité Editorial:

Alfonso Rodrigo Tierra Criollo, Universidad De Las Fuerzas Armadas Espe

Oswaldo Vinicio Padilla Almeida, Universidad De Las Fuerzas Armadas Espe

Rodolfo Jaime Fernando Salazar Martinez, Universidad De Las Fuerzas Armadas Espe

**Comité
Científico:**

César Sar Iván Álvarez Mendoza	- Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador
Roberto Luz Teixeira	- IBGE- Brazil
Gustavo Barrantes	- Universidad Nacional De Costa Rica
Rodrigo Márquez	- Universidad Osorno - Chile
Pascal Podwojewski	- IRD - France
José Luis Carrión Sánchez	- Instituto Geográfico Militar - Ecuador

Revista Geoespacial
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Av. Gral. Rumiñahui. (S/N) y Ambato
P. O. Box 17-15-231B Sangolquí, Pichincha, Ecuador
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-geoespacial>

Preguntas y Correspondencia

Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Av. Gral. Rumiñahui S/N. Sangolquí – Pichincha – Ecuador. artierra@espe.edu.ec
Los contenidos de los artículos, aquí publicados, son de responsabilidad de los autores.

Revista Geoespacial Vol. 16 N° 2, Julio-Diciembre 2019
ISSN : 2600-5921

Sumario

Volumen 16 N° 2, 2019

EL CRECIMIENTO URBANO Y SU INFLUENCIA EN LOS CAUDALES DE CRECIDA: UN CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA URBANA EN LOS ANDES ECUATORIANOS. Fernando Oñate-Valdivieso; Arianna Oñate-Paladines	1
EL PERFIL GEOGRÁFICO CRIMINAL UNA NUEVA PROPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN GEOESPACIAL DE DELITOS Diego Filiberto Reyes Yunga	16
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES. CASO, VALLE DE LOS CHILLOS – ECUADOR Dennis Paúl Ushiña Huera	33
DETECCIÓN DE CAMBIOS POR PARCELA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE BBDD DE USOS DEL SUELO MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN Y SENTINEL-2 Sergio Danilo Andrade Sampedro	53

EL CRECIMIENTO URBANO Y SU INFLUENCIA EN LOS CAUDALES DE CRECIDA: UN CASO DE ESTUDIO EN UNA CUENCA URBANA EN LOS ANDES ECUATORIANOS

URBAN GROWTH AND ITS INFLUENCE ON FLOOD FLOWS: A CASE STUDY IN AN URBAN BASIN IN THE ECUADORIAN ANDES.

Fernando Oñate-Valdivieso¹, Arianna Oñate-Paladines²

¹ *Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil. Universidad Técnica Particular de Loja. C/. Marcelino Champagnat S/N 1101608. Loja Ecuador. Email: fronate@utpl.edu.ec*

² *Euroaquae Master Program, Newcastle University, King's Gate Newcastle Upon Tyne NE1 7RU, Newcastle, UK.*

Recibido: 08 de agosto 2019

/ Aceptado: 09 de diciembre 2019

RESUMEN

El notable crecimiento urbano que han experimentado varias ciudades en el Ecuador en los últimos años ha provocado cambios en el uso de suelo de las cuencas hidrográficas de las que ellas forman parte. Desde el punto de vista hidrológico el cambio de uso del suelo se ve reflejado en el cambio de la respuesta de una cuenca hidrográfica a eventos extremos de precipitación. En el presente estudio se realiza un análisis multitemporal (1976- 2010) del crecimiento urbano de la ciudad de Loja, capital de la provincia ecuatoriana del mismo nombre, determinándose el crecimiento experimentado por la ciudad y la variación del uso de suelo en la cuenca del río Zamora, de la que Loja es parte, durante el período considerando. Para la evaluación de los caudales de crecida, según las diferentes etapas de crecimiento urbano, se implementó un modelo hidrológico de evento. El análisis multitemporal del crecimiento urbano, la obtención de parámetros hidrológicos y la presentación de resultados se realizó aplicando Sistemas de Información Geográfica. Los resultados permiten demostrar la relación directa entre el crecimiento del área urbana y el incremento de la magnitud de los caudales de crecida.

Palabras clave: Hidrología urbana, crecimiento superficie urbana, modelo hidrológico, caudales de crecida

ABSTRACT

The remarkable urban growth that several cities in Ecuador have experienced in recent years, has led to changes in the land use of the river basins of which they are part. From a hydrological point of view, the change in land use is reflected in the change in the response of a river basin to extreme precipitation events. In this study, a multitemporal analysis (1976-2010) of the urban growth of the city of Loja, capital of the Ecuadorian province of the same name, is performed, determining the growth experienced by the city and the variation of land use in the basin of the

Zamora river, of which Loja is a part, during the period under consideration. For the evaluation of flood flows, according to the different stages of urban growth, an event hydrological model was implemented. The multitemporal analysis of urban growth, the obtaining of hydrological parameters and the presentation of results was carried out by applying Geographic Information Systems. The results show the direct relationship between the growth of the urban area and the increase in the magnitude of flood flows.

Keywords: Urban hydrology, urban surface growth, hydrological model, flood flows

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un creciente interés en conocer cómo las actividades humanas influyen en las distintas variables climáticas e hidrológicas. Varios estudios han reportado cambios significativos ocasionados por la influencia humana en variables climáticas como la temperatura y la precipitación (Hegerl et al., 1996; Zhang et al., 2007; Santer et al., 2011), o en variables hidrológicas como el caudal (Chelsea Nagy et al., 2012; Huang et al., 2012; Cruise et al., 2010; Zheng et al., 2012).

Entre las actividades humanas que afectan las variables hidrológicas se destacan la urbanización, los cambios en las prácticas agrícolas y la construcción de las estructuras hidráulicas, entre otras. Varios estudios han analizado el efecto de la urbanización (Chelsea Nagy et al., 2012 y Huang et al., 2012) o el cambio de uso de la tierra sobre la hidrología (Cruise et al., 2010; y Zheng et al., 2012; Oñate-Valdivieso y Bosque, 2014).

El proceso de urbanización tiene impactos significativos en la hidrología de una cuenca hidrográfica, ocasionando una disminución de la infiltración y del flujo base, así como un aumento de los caudales de crecida y los volúmenes de escorrentía. El proceso de urbanización crea áreas impermeables y los sistemas de drenaje pluvial simplifican el sistema de drenaje natural alterando la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación ya que se producen tiempos de concentración más cortos así como la reducción de los tiempos de recesión (Chow et al., 1994; Fletcher et al., 2012).

La urbanización es una tendencia a nivel mundial. Actualmente más del 50% de la población del mundo vive en centros urbanos, existiendo hoy en día más de 500 ciudades con una población que supera el 1 millón de habitantes (Fletcher et al., 2012; United Nations, 2010). Las razones del crecimiento son diversas; en el caso de las ciudades latinoamericanas se pueden citar al crecimiento demográfico natural, la migración del campo a la ciudad en busca de mejores condiciones de vida y cambios en los patrones de localización de actividades económicas y de vivienda, entre otros.

Varias ciudades en el Ecuador han experimentado un acelerado crecimiento, que se pone de manifiesto en un notable incremento del área urbanizada en los últimos años. Una de esas ciudades es Loja, capital de la provincia del mismo nombre, ubicada al sur de la República del Ecuador y fronteriza con el Perú. En el presente estudio se analiza la influencia que este crecimiento ha tenido en la hidrología de la cuenca y en los eventos extremos de caudal que en ella se producen; para ello se realizó el análisis multitemporal de la variación de superficie urbana a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite, para luego, empleando datos de precipitación y aplicando un modelo hidrológico, generar caudales de crecida para diversos escenarios de cobertura y evaluar el efecto que dichos caudales tendrían en las zonas aledañas a las riveras de los ríos en varios lugares de interés. El procesamiento de la información espacial se realizará aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realiza en la ciudad de Loja, ubicada al sur del Ecuador a 79.21° de longitud oeste y 3.99° de latitud sur (Municipio de Loja, 2014), en un valle interandino. La ciudad tiene una extensión aproximada de 2993.99 Ha y cuenta con una población cercana a los 200 000 habitantes (Municipio de Loja, 2014). La ciudad ocupa la parte media de la cuenca inicial del río Zamora (22 747.50 Ha). El río Zamora presenta períodos de estiaje entre los meses de mayo a noviembre, pudiendo presentar significativos caudales de crecida en la temporada lluviosa. La cuenca posee una altura media de 2400 msnm, una pendiente media del 30%, la pendiente media del cauce principal es de 8.3% (Carvajal y Piedra, 2007). La cuenca posee cobertura vegetal en buena condición pudiendo identificarse principalmente pastizales, matorrales y cobertura boscosa. La ubicación del área de estudio se presenta en la Figura 1.

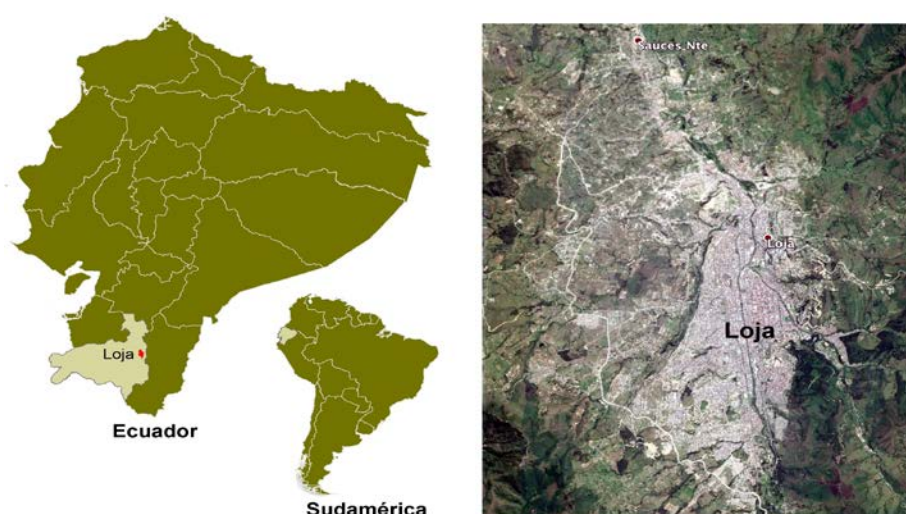


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio (Google, 2019)

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CRECIMIENTO URBANO Y GENERACIÓN DE ESCENARIOS

El análisis multitemporal del crecimiento de la superficie urbana se realizó a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas correspondientes a los años 1976, 1984, 1998 (Esc. 1:50 000) (IGM, 2018), 2002 (Municipio de Loja, 2003), 2010 (MAG, 2019), georeferenciadas, obteniéndose los polígonos correspondientes al área urbana en cada una de esas fechas mediante fotointerpretación. Se recopiló información histórica de tipo y uso de suelo de la zona de estudio (MAG, 2019), la que combinada con los datos del crecimiento urbano de la ciudad, permitió elaborar mapas particulares para cada variable y para cada año considerado, diez en total,

Obtenidos los mapas de ocupación del suelo se optó por analizar los cambios ocurridos entre 1984 y 1998 relacionándolos con las posibles variables explicativas y obtener un modelo predictivo que sería validado mediante comparación con la cobertura obtenida para 2002. Los cambios ocurridos, se estudiaron aplicando la metodología propuesta por Pontius et al. (2004), la que permite determinar la persistencia, ganancia, pérdida e intercambios entre las categorías temáticas consideradas en cada mapa de ocupación del suelo mediante el análisis de una tabulación cruzada de ellos, identificándose las transiciones ocurridos entre 1984, 1998. Las

relaciones entre las transiciones observadas y sus posibles variables explicativas se denominan submodelos de transición. El número de submodelos de transición será igual al número de transiciones que se produzcan en la zona de estudio; siendo posible agrupar varias transiciones en un solo modelo, cuando se considera que éstas son producto de las mismas causas.

Cada modelo de transición incluye un cierto número de variables explicativas, las que pueden ser seleccionadas en base a su potencial explicativo, calculado por el coeficiente V de Cramer, o ensayando varias combinaciones de variables explicativas, hasta obtener el ajuste óptimo entre transiciones y variables explicativas. Valores de V de Cramer mayores a 0.4 son aceptables (Eastman, 2006). Tres variables explicativas fueron consideradas: La elevación (empleando un modelo de elevación digital - DEM), que determina la presencia de diferentes tipos de vegetación; La pendiente del terreno que limita el crecimiento urbano; y, la distancia a calles y vías, que motiva y facilita el crecimiento urbano.

Los submodelos de transición se calcularon mediante regresión logística y mediante una red neuronal de perceptrones multicapa (*MLP*), obteniéndose la probabilidad de ocurrencia de cada transición según las variables explicativas seleccionadas. La regresión logística (Kleinbaum y Klein, 2002, p. 4) permite establecer una relación entre una variable dependiente binaria (transiciones) y las variables explicativas consideradas, modelando su probabilidad de ocurrencia según éstas.

Las redes neuronales de perceptrones multicapa por su parte están formadas por un conjunto de elementos simples (neuronas o perceptrones) distribuidos en capas y que están conectadas con la capa o capas intermedias mediante funciones de activación. Esas funciones se definen a partir de una serie de pesos o factores de ponderación que se calculan de modo interactivo en el proceso de aprendizaje de la red. El objetivo de dicho aprendizaje es estimar unos resultados conocidos (transiciones observadas) a partir de unos datos de entrada (variables explicativas); para posteriormente, calcular resultados desconocidos a partir del resto de los datos de entrada. El aprendizaje se realiza a partir de todas las unidades que forman la red, variando el conjunto de los pesos en interacciones sucesivas (Chuvieco, 2010; Pijanowski et al., 2002).

El modelamiento del cambio de ocupación del suelo hacia un año horizonte se realizó aplicando cadenas de Markov. En el presente caso utilizando el mapa de cobertura de la fecha final (1998) conjuntamente con la fecha a la que se quiere predecir el cambio de ocupación del suelo (2002), y la matriz de probabilidad de transición ya calculada, se determinan las zonas que experimentarán una transición desde la fecha final hasta la fecha de predicción.

El mapa de ocupación del suelo futuro fue modelado mediante un procedimiento de asignación multiobjetivo de usos de suelo (MOLA) (Oñate-Valdivieso y Bosque, 2010; Eastman, 2006). Considerando todas las transiciones y empleando las variables explicativas seleccionadas; se crea una lista de clases anfitrionas (que perderían alguna porción de terreno) y una lista de clases demandantes (que ganarían terreno).

Las áreas de pérdida o ganancia se determinan mediante cadenas de Markov; y, mediante el procedimiento de asignación multiobjetivo, en el que las variables explicativas determinan los lugares más adecuados para cada cambio de ocupación, se asigna terreno de todas las clases anfitrionas a todas las clases demandantes. Los resultados de cada reasignación de ocupación del suelo son superpuestos para producir el resultado final (Eastman, 2006). Información adicional puede encontrarse en Oñate-Valdivieso y Bosque (2010)

Con el procedimiento descrito, se generaron dos mapas que pronostican la ocupación del suelo para el año 2010 en base al modelamiento de las relaciones entre los cambios observados y las variables explicativas, dichas relaciones se modelaron con regresión logística y con redes neuronales.

Para la validación se consideró como referencia al mapa extraído de la imagen de 2001 y mediante matrices de confusión se estudió la correspondencia entre el mapa de referencia y

El crecimiento urbano y su influencia en los caudales

los obtenidos mediante redes neuronales y regresión logística, pudiendo determinar los errores de pronóstico de las ocupaciones del suelo según cada modelo planteado, así como los errores de omisión y comisión que se hubiesen producido. De la matriz de confusión se calculó la fiabilidad global de la clasificación como la relación entre el número de píxeles correctamente asignados y el número total de píxeles de la imagen (Chuvieco, 2002). Complementariamente se calculó el ajuste entre el mapa de referencia y los mapas generados mediante el índice Kappa (Pontius et al. 2004).

Analizado el ajuste, se procedió a generar un mapa de ocupación del suelo hacia el año 2020, considerando para ello los mapas de ocupación del suelo de 2002 y 2010, las variables explicativas seleccionadas para cada transición y aplicando el modelo que presente las mejores capacidades.

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

Se creó un modelo hidrológico de evento aislado para el estudiar la respuesta de la cuenca del río Zamora ante eventos extremos de precipitación considerando además, las diferentes etapas de crecimiento urbano de la ciudad de Loja.

La topología de la cuenca fue elaborada en función de un modelo de elevación digital generado empleando un mapa de curvas de nivel a escala 1:50 000 (IGM, 1990). Este modelo topológico incluyó subcuencas aportantes, puntos de unión en los que se suman las aportaciones de las subcuencas, tramos de red fluvial en las que se realiza el tránsito hidrológico de los hidrogramas y el punto de salida de la cuenca en el que se obtiene el caudal resultante de la simulación lluvia-escorrentía. El modelo topológico se presenta en la Figura 2.

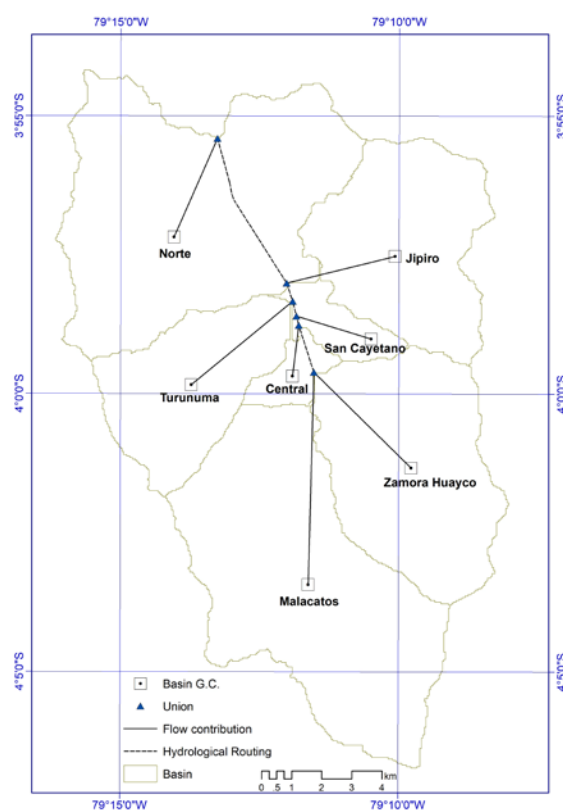


Figura 2. Modelo topológico de la cuenca del río Zamora

Se generaron tormentas sintéticas para períodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años empleando ecuaciones de intensidad determinadas para la ciudad de Loja (INAMHI, 2019).

$$I_{TR} = 92.854Id_{TR}t^{-0.4083} \quad (1)$$

$$I_{TR} = 480.74Id_{TR}t^{-0.8489} \quad (2)$$

En donde Id_{TR} es la intensidad máxima para un período de retorno determinado, t es la duración de la tormenta en minutos, I_{TR} es la intensidad en mmh^{-1} . La ecuación 1 es válida para duraciones entre 5 y 43 minutos, la ecuación 2 es válida para duraciones entre 43 minutos y 1440 minutos.

Las abstracciones se cuantificaron aplicando la metodología del número de la curva (CN) del US Soil Conservation Service (USSCS) (Dingman, 2015; Chow et al., 1994) para condiciones normales de humedad, calculándose el CN para cada una de las distintas unidades de respuesta hidrológica obtenidas según la intersección de la cartografía de uso y tipo de suelo para cada fecha considerada.

La transformación de escorrentía superficial en caudal se realizó aplicando el Hidrograma Unitario del USSCS. Para el tránsito hidrológico de caudales el método de Muskingum y Cunge fue aplicado. Los tiempos de concentración y de retraso de cada una de las microcuencas se determinaron aplicando la fórmula de Kirpich (Dingman, 2015; Chow et al., 1994).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El crecimiento urbano de la ciudad de Loja entre 1976 y 2010 se observan en la Figura 3 y un resumen del área ocupada por la ciudad y su población respectiva en cada instante analizado se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Variación de la superficie urbana y de población en la ciudad de Loja. Período 1976-2010

Año	Área Urbana (ha)	Población	Incremento área urbana (%)	Crecimiento medio anual de área urbana (%)
1976	606.02	47697		
1984	1084.86	71652	79.0	9.88
1998	1838.18	107130	69.4	4.96
2002	1915.31	118532	4.2	1.05
2010	2993.99	185321	56.3	7.04

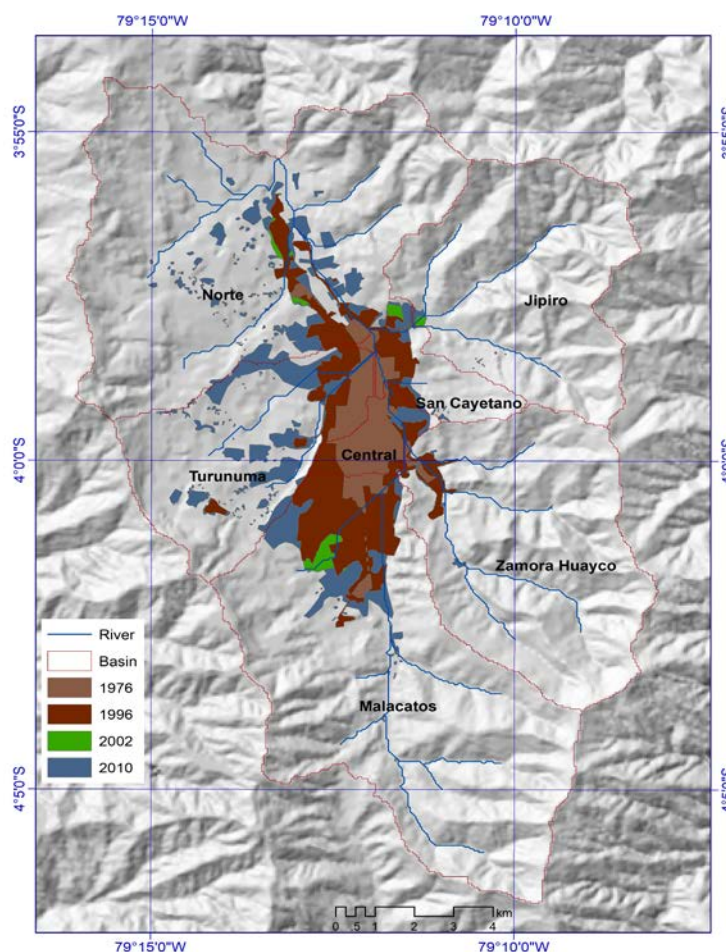


Figura 3. Evolución de la superficie urbana de la ciudad de Loja. Período: 1976-2010

Al analizar los datos incluidos en la Tabla 1 se observa que el crecimiento de la superficie urbana no presenta un patrón definido, ya que si se observa el crecimiento medio anual de la superficie urbana los valores fluctúan entre 1.05 % y 9.88 %. Esta variación del crecimiento medio anual podría tener relación con eventos importantes de la historia reciente de Ecuador, entre los que se puede citar (1) La significativa migración interna ocurrida en la década de 1970, especialmente desde zonas rurales de la provincia de Loja hacia centros urbanos, originada por un largo período de sequía extrema; (2) La recesión económica de 2000 que desaceleró el crecimiento económico del país y (3) La gran ola de migratoria hacia Europa y USA en la década del 2000. La búsqueda de relación entre estas y otras variables, excede el alcance del presente trabajo, pero debería investigarse con mayor profundidad.

DETECCIÓN DE CAMBIOS

La Tabla 2 presenta el resumen de la tabulación cruzada de datos para el período comprendido entre 1984 y 1996. Como se puede observar, existe un predominio de persistencia en todas las cubiertas. Hay 62,519.00 Ha de áreas estables, equivalentes al 98.77% del área total de estudio, y 778.00 Ha de zonas que han experimentado cambios, correspondientes al 1.23% del área total. Hay un aumento en las áreas urbanas y, en consecuencia, una disminución en las áreas rurales que estaban ocupadas antes de que ocurriera la expansión urbana.

Tabla 2. Tabulación cruzada de los usos del suelos entre 1984 (columnas) and 1996 (filas)

	Country	City	Total
Country	61416.25	0.00	61416.25
City	778.00	1102.75	1880.75
Total	62194.25	1102.75	63297.00

VARIABLES EXPLICATIVAS

La Tabla 3 muestra el grado de asociación entre las variables explicativas y las cubiertas de tierra presentes en el área de estudio. El valor de V de Cramer fluctúa entre 0.1 y 0.3. La pendiente es la variable que tiene la mayor asociación con las categorías de uso del suelo existentes (Tabla 3); Esto se debe a que la pendiente afecta la expansión urbana, así como los usos del suelo de las zonas rurales, como los cultivos o la presencia de bosques naturales. Otro nivel importante de asociación es el que se encuentra entre la elevación (DEM) y la presencia de la cobertura del suelo (Tabla 3), lo que demuestra que la elevación condiciona la expansión urbana.

Tabla 3. Valores de la V de Cramer: nivel de asociación entre variables explicativas cuantitativas y usos de suelo estudiados.

	Área Rural	Área Urbana
DEM	0.3832	0.3832
Pendiente	0.4387	0.4387
Distancia a vías	0.3184	0.3184
Distancia a ríos	0.0367	0.0367

La distancia a las carreteras tiene una V de Cramer aceptable, corroborando la suposición inicial de que la presencia de carreteras fomenta la expansión urbana. La distancia a los ríos tiene valores de V de Cramer <0.1 , probablemente porque no hay una regulación estricta de la expansión urbana en áreas cercanas a los ríos.

SUBMODELOS DE TRANSICIÓN

La Tabla 4 muestra los diferentes submodelos de transición con sus respectivas variables y los resultados de la regresión logística calculada. Se incluyen los coeficientes que afectan cada variable explicativa en la ecuación de regresión logística y la correlación entre variables y transiciones (ROC).

Tabla 4. Resultados de regresión logística: transición modelada (submodelo de transición), correlación (ROC), variables explicativas y coeficientes de cada variable explicativa en la ecuación de regresión.

Transición	ROC	Variables	Coefficiente
De rural a urbano	0.9508	Intercept	7.8911
		DEM	-0.0032
		Pendiente	-0.1251
		Distancia a vías	-0.5805

La Tabla 4 muestra la relación inversa entre la transición del campo a la ciudad y todas las variables consideradas en el modelo de transición. Esto se debe al hecho de que las posibilidades de expansión urbana se reducen cuando hay una mayor elevación, así como un terreno más empinado y distancias más largas a las carreteras. El grado de correlación entre la transición estudiada y las variables explicativas es alto, alrededor del 95%.

La Tabla 5 muestra los resultados de la aplicación de redes neuronales. La tasa de aprendizaje es baja, aproximadamente 1/1000, con un error de capacitación y validación de alrededor de 2/10, que está muy por encima del error aceptable (RMS). Esto demuestra el rendimiento limitado de las redes neuronales en el presente caso, a pesar de que la tasa de precisión es superior al 90%.

Tabla 5. Resultados de la aplicación de redes neuronales

Parámetro	Valor
Capa de entrada neuronas	3
Capa oculta neuronas	2
Capa de salida neuronas	2
Muestras solicitadas por clase	3112
Tasa de aprendizaje final	0.0003
Factor de impulso	0.5
Constante sigmoidea	1
RMS aceptable	0.01
Iterations	10000
Entrenamiento RMS	0.2595
Prueba RMS	0.2651
Tasa de precisión	91.23%
Medida de habilidad	0.8245

Las probabilidades de transición calculadas para las ocupaciones consideradas se incluyen en la Tabla 6, que muestra que las probabilidades de mantener el mismo uso del suelo predominan en otras transiciones posibles, alcanzando casi la unidad en el caso del campo, y con valores > 1 en el caso del ciudad. Como se esperaba, no es probable que el campo cambie a una ciudad, mientras que la ciudad es siempre la misma.

Tabla 6. Probabilidad de transición entre usos del suelo

	Área Rural	Área Urbana
Área Rural	0.9937	0.0063
Área Urbana	0	1

La Tabla 7 muestra la matriz de confusión entre el mapa extraído de la imagen de 2002 y el mapa generado por las redes neuronales (MLP). La Tabla 8 muestra la matriz de confusión entre el mapa extraído de la imagen de 2002 y el mapa generado por regresión logística (LogReg). En ambas tablas, la comparación de los mapas muestra un predominio en el número de píxeles que tienen la misma clase temática. Los mayores errores ocurren cuando el área rural ha sido modeladas como área urbana (1497 y 1493 píxeles). Los errores en los que el área urbana sido modelada como área rural son menores (289 y 285 píxeles). Del mismo modo, los

errores de comisión varían entre 0.61% y 3.68%. El valor máximo corresponde a la ciudad en ambas tablas. Los errores de omisión varían entre 0.12% y 16.51%, siendo el mayor error por comisión en el cambio a área urbana.

Tabla 7. Matriz de confusión entre el mapa extraído de la imagen de 2002 y el mapa creado a través de redes neuronales (MLP).

	Mapa de 2002 (Referencia)			Error por comisión (%)
	Área Rural	Área Urbana	Total	
Map 2002 (MLP)				
Área Rural	243834	1497	245331	0.61
Área Urbana	289	7568	7857	3.68
Total	244123	9065	253188	
Error por omisión (%)	0.12	16.51		

Tabla 8. Matriz de confusión entre el mapa extraído de la imagen de 2002 y el mapa creado mediante regresión logística (LogReg)

	Mapa de 2002 (Referencia)			Error por comisión (%)
	Área Rural	Área Urbana	Total	
Map 2002 (Reg-Log)				
Área Rural	243838	1493	245331	0.61
Área Urbana	285	7572	7857	3.63
Total	244123	9065	253188	
Error por omisión (%)	0.12	16.47		

La Tabla 9 muestra los valores de la confiabilidad general calculada a partir de las matrices de confusión incluidas en las Tablas 7 y 8, así como el índice de Kappa y el coeficiente de correlación entre el mapa de referencia de 2002 y los mapas de uso del suelo generados con regresión logística y redes neuronales. El mapa generado por regresión logística tiene una confiabilidad total de 99.30%, un índice Kappa de 0.8913 y un coeficiente de correlación de 0.8938. Estos valores son más altos que los obtenidos usando redes neuronales, por un margen muy estrecho.

Tabla 9: Parámetros de validación entre el mapa extraído de la imagen de 2002 y los mapas creados mediante regresión logística (LogReg) y redes neuronales (MLP).

	2002 MLP	2002 Reg-log
Confiabilidad general (%)	99.29	99.30
Kappa	0.8908	0.8913
R	0.8933	0.8938

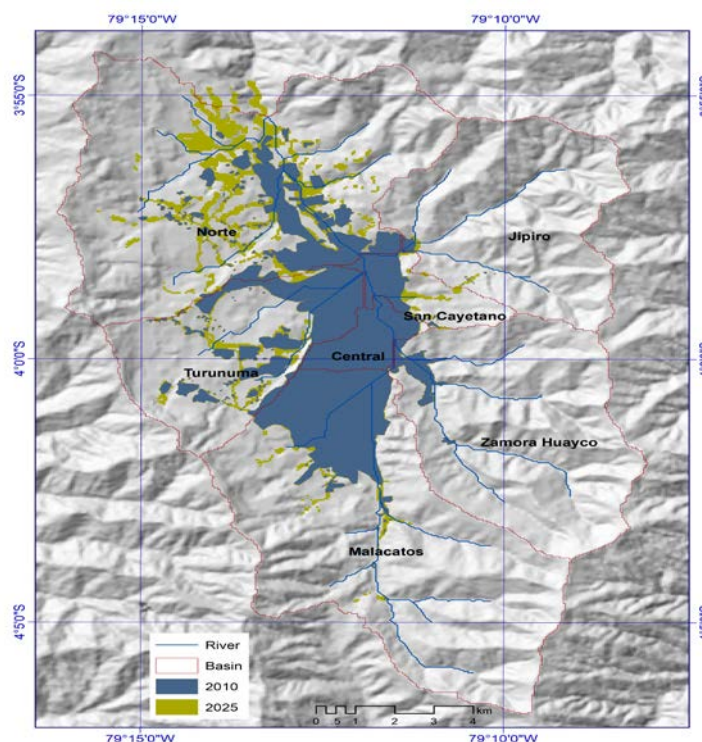


Figura 4. Escenario de crecimiento urbano para 2025, en comparación con la extensión de la ciudad en 2010

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

Las características morfológicas de las microcuencas se presentan en la tabla 10, en esta se puede observar que los parámetros de infiltración (CN) sufren un incremento conforme incrementa la superficie urbana en cada microcuenca. Dicho incremento es relativamente reducido ya que por ejemplo en la subcuenca Malacatos, que es la que presenta la mayor variación del CN, alcanza un valor orden del 3%. Esta pequeña variación se debe a que la superficie urbana en cada una de las subcuencas es relativamente pequeña si se compara con su superficie total. Las subcuencas que presentan mayor superficie urbana (véase figura 3) presentan un valor mayor del número de la curva.

El tiempo de concentración es relativamente corto y está relacionado con la pendiente del cauce principal la distancia máxima que debe recorrer la escorrentía.

Tabla 10. Características de las subcuencas en estudio

Subcuenca	Curve Number (CN)					Area (ha)	tc (h)	tlag (h)
	1976	1984	1996	2002	2010			
Central	93.4	95.0	95.0	95.0	95	422.00	0.44	0.27
Jipiro	65.1	65.1	65.3	65.4	66.2	3192.50	0.83	0.50
Malacatos	74.8	75.3	75.8	75.9	77.1	6027.50	1.64	0.99
Norte	76.1	76.2	76.8	76.9	77.4	6256.75	1.82	1.09
San Cayetano	74.3	75.5	77.3	77.3	77.3	580.25	0.47	0.28
Turunuma	74.4	74.4	74.9	75.0	76.3	2415.25	0.90	0.54
Zamora Huayco	65.6	65.8	66.0	66.0	66.5	3853.25	1.04	0.62

El tiempo de retraso es relativamente corto y está relacionado con la pendiente del canal principal y la distancia máxima recorrida por la escorrentía.

Los valores de precipitación para diferentes duraciones y períodos de retorno se indican en la Tabla 11. Como se esperaba, los valores de precipitación aumentan a medida que aumenta el período de retorno y la duración.

Tabla 11. Valores de precipitación según el período de retorno.

Duración (min)	Períodos de retorno (Años)			
	10	25	50	100
	Precipitación (mm)			
5	11	12	12.8	15.2
15	21.1	23	24.6	29.2
60	40.9	44.6	47.6	56.5
120	45.4	49.5	52.8	62.7
180	48.3	52.7	56.2	66.7

Las tormentas incluidas en la tabla 11 aplicadas de manera individual según el período de retorno y el estado de crecimiento del área urbana de la ciudad de Loja permitieron obtener los caudales que se incluyen en la Tabla 12. Se puede apreciar una relación directa entre el período de retorno y los caudales de crecida, al igual que una relación directa entre el crecimiento del área urbana y los caudales de crecida para un mismo período de retorno. Para un mismo período de retorno se puede observar incrementos de caudales relacionados con incrementos de la superficie urbana.

Tabla 12. Caudales de crecida (m^3/s) según instante considerado y período de retorno

Año	Área urbana (ha)	Período de retorno			
		10	25	50	100
1976	606.02	95.3	136.50	169.30	282.80
1984	1084.86	100.3	142.40	175.60	290.90
1996	1838.18	105.9	148.80	182.90	300.90
2002	1915.31	107.9	151.00	185.60	304.50
2010	2993.99	113.3	162.70	194.45	319.63
2025	3932.50	140.3	178.12	208.57	328.71

La relación entre el caudal, los períodos de retorno y el crecimiento urbano se presenta en la figura No. 5 en esta se puede apreciar una alta correlación entre la superficie urbana y la magnitud de los caudales observándose esta correspondencia en los distintos períodos de retorno considerados.

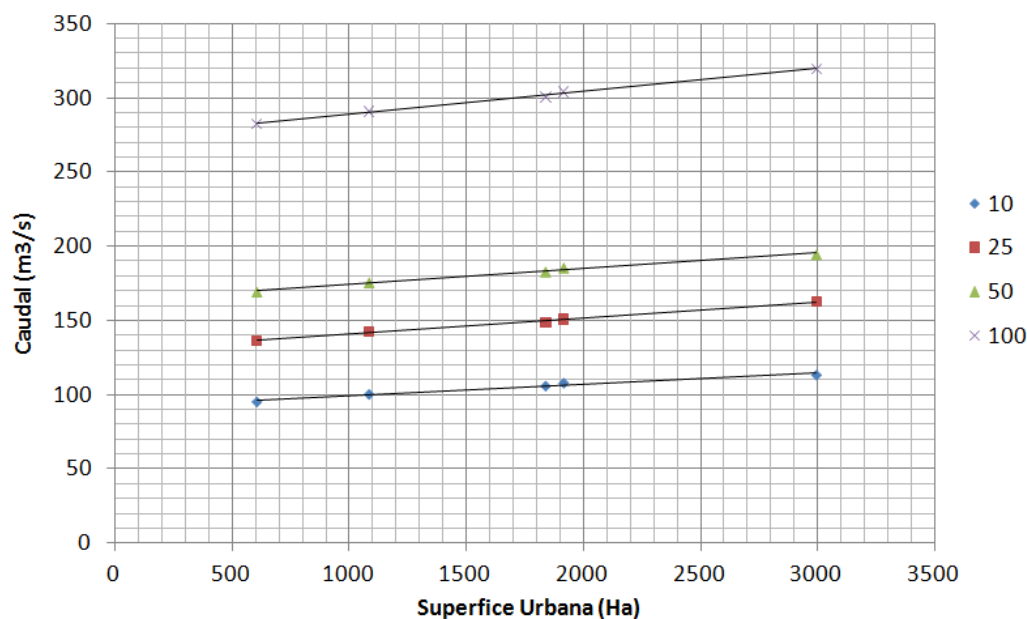


Figura 5. Relación entre el caudal de crecida, los períodos de retorno y el crecimiento urbano de la ciudad de Loja.

Durante el período de estudio, el área urbana de la ciudad de Loja experimentó un aumento considerable, pasando de 606.02 Ha a 2993.99 Ha, un aumento equivalente de 394.04%. El área total de la cuenca del río Zamora es de 22,747.50 Ha, por lo que en 2010 la ciudad de Loja cubriría solo el 13.16% de la cuenca total, mientras que los pastizales, los bosques naturales y los arbustos cubrían el resto. Estas cubiertas terrestres poseen buenas capacidades para retener la escorrentía superficial y apoyar la infiltración, causando un efecto opuesto a la urbanización. Esto puede explicar por qué el aumento del caudal es moderado a pesar del crecimiento significativo de la ciudad de Loja. Este hecho se analiza nuevamente en el escenario proyectado para 2025 (Tabla 12), que tendría un aumento del caudal basado en los datos históricos.

CONCLUSIONES

La pendiente, la elevación y la proximidad de las carreteras condicionaron el crecimiento urbano, por lo que hubo persistencia de las diferentes coberturas de tierra en el área de estudio. La mejor estimación del cambio en la cobertura de la tierra se encontró mediante regresión logística; sin embargo, las redes neuronales tuvieron un rendimiento similar.

Existe una relación directa entre el incremento de superficie urbana y la magnitud de los caudales de crecida a producirse por un evento extremo de precipitación. Las cuencas que experimentan mayor crecimiento de superficie urbana son las que presentan un mayor incremento en sus caudales de crecida, observándose una relación de tipo lineal. Si el porcentaje de área cubierta por un uso de suelo de tipo urbano es reducido en comparación al de las zonas ocupadas por vegetación en buenas condiciones, el incremento de los caudales de crecida será moderado.

El proceso de urbanización influye directamente en el ciclo hidrológico reduciendo la capacidad de infiltración, incrementando la magnitud de los caudales de crecida, es por esto que en la planificación urbana este hecho debe considerarse.

REFERENCIAS

Carvajal K., Piedra R. (2007) Inventario Hidrológico de la Cuenca Superior del Río Zamora aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja.

Chelsea Nagy, R., Graeme Lockaby, B., Kalin, L., Anderson, C. (2012) Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast. *Hydrol. Process.* 26, 2019–2030.

Chow V.T, R. Maidment, L. Mays. (1994) “Hidrología aplicada”. McGraw, Hill Bogotá.

Chuvieco E. (2010) Teledetección ambiental, Ariel ediciones, Madrid

Cruise, J.F., Laymon, C.A., Al-Hamdan, O.Z. (2010) Impact of 20 years of land-cover change on the hydrology of streams in the Southeastern United States. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 46, 1159–1170.

Dingman, L. (2015), *Physical Hydrology: Third Edition*, Waveland Press, Long Grove, Illinois

Eastman, J.R. (2006) *IDRISI Andes. Tutorial*. Clark-Labs, Clark University, Worcester, MA.

Fletcher, T.D., H. Andrieu, P. Hamel. (2013) Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources* 51: 261–279

Google (2019) Imágen de la ciudad de Loja. Google Earth Pro. Fecha de consulta marzo de 2019

Hegerl, G.C., von Storch, H., Hasselmann, K., Santer, B.D., Cubasch, U., Jones, P.D., (1996) Detecting greenhouse-gas-induced climate change with an optimal fingerprint method. *J. Clim.* 9, 2281-2306.

Huang, J.-C., Lin, C.-C., Chan, S.-C., Lee, T.-Y., Hsu, S.-C., Lee, C.-T., Lin, J.-C. (2012) Stream discharge characteristics through urbanization gradient in Danshui River, Taiwan: perspectives from observation and simulation. *Environ. Monit. Assess.* 184, 5689–5703.

IGM (2018) Catálogo de datos del IGM. Instituto Geográfico Militar. Quito.

INAMHI (2019) Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Versión 2. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología, Quito, Ecuador, 282 p.

Kleinbaum, D. G., Klein, M. (2014) *Logistic Regression. A Self-Learning Text, Second Edition*, Springer, N.Y. 513 p.

MAG (2019) Sistema de información pública agropecuaria, Ministerio de agricultura y ganadería del Ecuador. Quito

Municipio de Loja (2003) Actualización del catastro urbano de Loja. Municipio de Loja, Loja, Ecuador

Municipio de Loja (2014) Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, actualización 2014-2022. Fase I. Municipio de Loja, Loja, Ecuador.

Oñate-Valdivieso, F., Sendra, J. (2010) Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *Journal of Hydrology* 395(3), 256 - 263

Oñate-Valdivieso, F., Sendra, J. (2014) Semidistributed Hydrological Model with Scarce Information: Application to a Large South American Binational Basin, *J. Hydrol. Eng.*, 19(5), 1006–1014.

Pijanowski, B. C., Brown D. G., Shellito B. A., Manik G. A. (2002) Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model. *Computers, Environment and Urban Systems*. 26, 553–575.

Pontius, R., Shusas, E., McEachern (2004) Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 101(2):251-268

Santer, B.D., Mears, C., Doutriaux, C., Caldwell, P., Gleckler, P.J., Wigley, T.M.L., Solomon, S., Gillett, N.P., Ivanova, D., Karl, T.R., Lanzante, J.R., Meehl, G.A., Stott, P.A., Taylor, K.E., Thorne, P.W., Wehner, M.F., Wentz, F.J. (2011) Separating signal and noise in atmospheric temperature changes: the importance of timescale. *J. Geophys. Res. Atmos.* 116, n/a–n/a.

United Nations. (2010) *World urbanization prospects: the 2009 revision*. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs (Population Division)

Zhang, X., Zwiers, F.W., Hegerl, G.C., Lambert, F.H., Gillett, N.P., Solomon, S., Stott, P.A., Nozawa, T. (2007). Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature* 448, 461–465.

Zheng, J., Yu, X., Deng, W., Wang, H., Wang, Y. (2012). Sensitivity of land–use change to streamflow in Chaobai River Basin. *J. Hydrol. Eng.* 18, 457–464.

EL PERFIL GEOGRÁFICO CRIMINAL UNA NUEVA PROPUESTA PARA LA INVESTIGACIÓN GEOESPACIAL DE DELITOS

THE CRIMINAL GEOGRAPHICAL PROFILE A NEW PROPOSAL FOR THE GEOSPATIAL CRIME INVESTIGATION

Diego Reyes-Yunga, Carlos Estrella

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí, Ecuador. PBox 171-5-231B, chess_reyes@hotmail.com; cmestrella@espe.edu.ec

Recibido: 28 de septiembre 2019

/ Aceptado: 10 de diciembre 2019

RESUMEN

En todo el mundo, no existe país que no se encuentre amenazado por un hecho delictivo, y que requiera la captura del agresor o agresores para que enfrenten a la justicia, pues la simple presencia de un hecho delictivo en una zona genera intranquilidad y zozobra que se materializa en las estadísticas de desarrollo económico y calidad de vida. Es por ello que organismos internacionales como la ONU y países en todos sus niveles administrativos buscan implementar medidas, técnicas, estrategias o nuevas herramientas para contrarrestar los hechos delictivos. Una de las nuevas investigaciones y recientes propuestas, a nivel internacional, es el desarrollo de un Geographic Profiling o Perfil Geográfico en español, conocido como Retrato Geográfico en otros países. Es el producto de la intersección de tres ciencias: la geografía, la psicología y la criminología con el objetivo de localizar el área más probable donde puede encontrarse al agresor: la residencia, lugar de trabajo u otro conocido como punto de anclaje, en función al análisis geoespacial. Sin embargo, esta nueva metodología al igual que un perfil criminal o psicológico lo que pretenden es aminorar el proceso de investigación, que por sí solo no resuelve el caso; además no existe una metodología normalizada o estándar para la elaboración de perfiles criminal o psicológico. Los Sistemas de Información Geográfica son útiles, pues más del 80% de la información cualquiera que fuese la entidad proveniente puede ser espacializada y analizada sobre un mapa. Por esta razón, el presente proyecto tiene como objetivo, caracterizar la psicología y la criminalística desde un punto de vista de la geografía o análisis geoespacial para la construcción de un Perfil Geográfico Criminal estándar o genérico en apoyo a la seguridad ciudadana. Como resultado, se obtuvo los criterios espaciales que involucran el comportamiento espacial del agresor como también la caracterización del entorno a la escena del crimen. En conclusión, el Perfil Geográfico es una potente herramienta que puede ayudar aminorar el trabajo del aparato judicial en la captura de los agresores, como también para el estudio del comportamiento criminal. Sin embargo, aún no se cuenta con las directrices para una investigación geoespacial del delito que se propone en la evolución al desarrollo metodológico de un Perfil Geográfico Criminal y que debería ser alineado a una infraestructura de datos espaciales con criterios de análisis espacial basados en la psicología y criminología.

Palabras claves: Delitos, Geoespacial, Investigación., Inseguridad, Perfil Geográfico Criminal

ABSTRACT

Throughout the world, there isn't country that isn't threatened by a criminal act, and that requires the capture of the aggressor or aggressors to face justice, since the simple presence of a criminal act in an area generates uneasiness and anxiety which it is embodied in the statistics of economic development and quality of life, which is why international organizations such as the ONU and countries at all

administrative levels seek to implement measures, strategic techniques or new tools to counteract criminal acts. Thus, one of the newest research and recent proposals at international level is the development of a Geographic Profile and known as Geographic Portrait in other countries, which is the product of the intersection of three sciences such as: geography, psychology and criminology with the objective of locating the most likely area where the aggressor can be found: the residence, the workplace or another known as an anchor point, all this depending on the geospatial analysis. However, this new methodology, as well as a criminal or psychological profile, is intended to reduce the investigation process, since they do not solve the case by themselves, and there is no standardized methodology which also occurs with the development of psychological profiles. Geographic Information Systems are useful; since more than 80% of the information coming from any entity can be spatialized and analyzed on a map. For this reason, the present project aims to characterize psychology and criminology from a geography or geospatial point of view for the construction of a standard or generic Criminal Geographic Profile in support of citizen security. As a result, the spatial criteria involving the aggressor's spatial behavior as well as the characterization of the crime scene environment were obtained. In conclusion, the Geographic Profile is a powerful tool that can help to reduce the work of the judicial device in the capture of the aggressors, as well as for the study of criminal behavior. However, this does not yet have the guidelines for a geospatial investigation of the crime which is proposed in the evolution to the methodological development of a Criminal Geographic Profile, which should be alienated to a spatial data infrastructure with criteria of spatial analysis in psychology and crime.

Keywords: Crimes, Geospatial, Investigation., Insecurity, Criminal Geographic Profile

INTRODUCCIÓN

En un contexto mundial se han desarrollado un conjunto de técnicas y herramientas para la identificación y localización de agresores. Una de ellas es el Geographic Profiling que en español es el Perfil Geográfico y en otros países conocido como Retrato Geográfico, que es el producto de la unión de tres campos: Psicología, Criminalística y Geografía con el objetivo de localizar el área más probable donde puede encontrarse el punto de anclaje del agresor a partir de la localización espacial de los crímenes (Matthews, 2013).

Una forma de ejecutar el Perfil Geográfico es por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS en inglés) que juega un papel integrador en el manejo de la información geoespacial. Más del 80% de la información tratada por instituciones y empresas públicas o privadas tiene en alguna medida relación con datos espaciales, que es recogida sobre un campo tetradimensional, es decir, referenciadas a algún sistema de referencia en X, Y, Z y Tiempo. Por lo tanto, la información almacenada en las bases de datos puede usarse para realizar un conjunto de operaciones y análisis espaciales que permitan presentar información geolocalizada a través de mapas (Dueñas Ornay, 2012).

En la actualidad existen estudios que buscan comprender la relación que existe entre el espacio y el acto criminal para así localizar al criminal, así lo evidencia Martínez Rolg (2016) quien elaboró su tesis de grado con el título: “Criminología Ambiental y SIG”, en la que demostró que los SIG “son una potente herramienta para el análisis espacio temporal de los delitos”. Además que “permiten basar las actuaciones policiales en los análisis y estrategias realizados a partir de la consulta de estos elementos, lo que permitirá cada vez más, agilizar el proceso” Martínez Rolg (2016); por otro lado, una aplicación práctica en retrospectiva se realizó en Castellón de la Plana, ciudad española, por Suárez Meaney *et al.* (2017) obtuvieron un modelo exitoso, “ya que de haber buscado en un 5.27% a 8.96 % del área considerada como factible para la actuación del homicida serial” lo hubiesen detectado.

En Australia se han llevado a cabo talleres en “Criminología aplicada al Análisis Delictual” a cargo de Salafranca (2016) que demostraban que la geografía juega un papel integrador en las metodologías de investigación como “Perfilación Geográfica”, lo propio,

ratifica la Asociación Australiana de Profesores de Geografía AGTA a través de Matthews (2013), quien demostró la aplicabilidad de la geografía en los análisis de inteligencia criminal en la localización de un asesino serial; también Cahill y Mulliga (2007) estudiaron modelos de patrones que expliquen las relaciones espaciales con los actos criminales.

Con lo que respecta a países de la región, Colombia ha elaborado el plugin para QGIS denominado “GISCRIMEFOCUS” con el objetivo de optimizar la planeación del servicio de la Policía Nacional de Colombia y el uso de la información geográfica para un análisis situacional, delictivo y contravencional a nivel local Cano Campillo y Prieto González (2016). En el contexto nacional de la República del Ecuador, se han realizado investigaciones en conjunto con la Dirección Nacional de Delitos Contra la Vida, Muertes Violentas, Desapariciones, Extorsión y Secuestro (DINASED) como la de Enríquez Nasimba y Rivas Puchaicela (2015) con el título: “Inexistencia de un manual de procesos para el manejo del georadar por parte DINASED disminuye la eficiencia en la investigación de los casos sobre personas desaparecidas que se encuentran sepultadas”. Otro proyecto fue realizado por Hernández González (2015) con el tema: “Importancia de la protección de la escena del crimen por parte de los servidores policiales de los diferentes servicios y unidades especiales de la policía nacional del Ecuador” y finalmente el trabajo de Espinosa Sosa y García Arellano (2014): “Impacto social a causa de la implementación de los botones de seguridad, en el Subcircuito Jipijapa 1 durante el primer cuatrimestre del año 2014”.

Según El Comercio (2018), se menciona que el Ecuador ocupa el puesto 75 en la lista de los 163 países del Índice de Paz Global para el año 2018; adicionalmente se evidenció que en Ecuador las investigaciones realizadas se ven enmarcadas a facilitar y ayudar las labores del gremio asociado a la criminalística de la Policía Nacional del Ecuador. Sin embargo, respecto a los estudios de análisis espacial o perfilación geográfica aún no se han planteado de forma explícita, ni se han obtenido beneficio de ellos, lo que provoca mayor demanda de estudios y pruebas que empleen herramientas geográficas, geo informáticas y geoespaciales, para poder potencializar las actividades de: inteligencia, investigación geoespacial de la escena del crimen y apoyo a la seguridad ciudadana.

La seguridad ciudadana, es un tema de carácter universal ya que sin importar el lugar siempre se verá la necesidad de plantear medidas, políticas y estrategias que permitan mejorarla. Una de ellas a nivel internacional, es el décimo sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) fijado en el año 2015 por las Naciones Unidas, menciona que “Sin paz, estabilidad, derechos humanos y gobernabilidad efectiva basada en el Estado de derecho, no es posible alcanzar el desarrollo sostenible (...)” Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (PNUD, 2015), por otro lado en el contexto nacional Ecuador, el Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021, en el Eje 3: Más sociedad, Mejor Estado, dentro del diagnóstico seguridad interna dice que “La Policía Nacional por contrarrestar la delincuencia y reducir el efecto de inseguridad que esta genera, requieren de nuevas estrategias para detectar a los grupos o personas que cometen delitos (...)” Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) (SENPLADES, 2017).

Por ende, como política de Estado de Ecuador se plantea “8.4 Luchar contra la impunidad, fortaleciendo la coordinación interinstitucional y la eficacia de los procesos para la detección, investigación, juzgamiento, sanción y ejecución de penas” SENPLADES (2017), sumado a esto, están los objetivos del Ministerio del Interior como el de “Incrementar la efectividad de los servicios de seguridad ciudadana a través de servicios desconcentrados de calidad en previsión, prevención y respuesta integral frente a la violencia y cometimiento de infracciones, combatiendo el crimen organizado y la delincuencia” Ministerio del Interior (2018). En estos objetivos a nivel mundial y regional y local se ve la importancia de desarrollar una investigación en torno a un tema que aún tiene mucho por investigar, explorar y prospectar con el fin de

conocer la verdad histórica que sirva de prueba en la toma de decisiones de los organismos competentes.

Las cifras históricas nacionales de Ecuador muestran a la provincia de Sucumbíos desde 1990 a 2010 como la más violenta y superada por Esmeraldas, siendo estas las provincias más conflictivas, dado que la tasa de homicidios nacional para el año 2017 fue de 5.8%, en Esmeraldas y en Sucumbíos fue de 10.4% y 17.2% respectivamente PLAN V (2018). Para el año 2011 Pichincha se encontró entre las 10 provincias más peligrosas junto a las antes mencionadas (La Hora, 2011).

Asimismo, las cifras nacionales muestran una variación en la tasa de homicidios para hombres, con una reducción del 15,8% entre 1980 y 2017, mientras que para mujeres hubo un incremento de 54,2% donde su tasa pasa de 1.5% al 2.3% del año 1980 al 2017 PLAN V (2018). Para el año 2017 la provincia con más número de casos listados es Guayas con 188 homicidios y luego Pichincha con 92 homicidios, y según las cifras nacionales de 2018, el 72,51% de estas muertes han sido asesinatos; el 20,54%, homicidios; el 6,65% femicidios; y el 0,30% de los casos han sido sicariato (PLAN V, 2018).

En vista de que en Ecuador no existe la variable Perfil Geográfico y que el país desea cumplir dichos objetivos y planteamientos, al igual que el resto de países en todas sus divisiones políticas, se plantea proponer el Perfil Geográfico como una herramienta en la Investigación Geoespacial de Delitos; sin embargo, actualmente no existe una metodología estructurada y consensuada para la realización de perfiles geográficos al igual que ocurre en los perfiles psicológicos (Jiménez-Serrano, 2018), por lo tanto el objetivo del proyecto pretende caracterizar la psicología y la criminalística desde un punto de vista de la geografía o análisis geoespacial para la construcción de un Perfil Geográfico Criminal estándar o genérico en apoyo a la seguridad ciudadana.

PERFIL GEOGRÁFICO CRIMINAL

La conducta criminal es resultado de la integración de tres fuentes: las dos primeras variables personales y sociales propias del sujeto y las variables de oportunidades delictivas. Las dos primeras son conocidas como variables remotas, dado que, si los modelos teóricos generados resultan, predicen con un indeterminado grado de incertidumbre el hecho delictivo, donde la integración de estas variables forma el modelo de Triple Riesgo Delictivo (TRD) (San-Juan Guillén, 2013).

Según el Código Orgánico Integral Penal, sitúa al delito como una infracción penal, es decir como una conducta típica, antijurídica y culpable, cuya sanción se encuentra determinada en la ley penal, para lo cual debe existir implícitamente la ilicitud y la responsabilidad por acción u omisión del autor o cómplice (Benavides Benalcázar, 2014).

Norris (1990) citado por Jiménez Serrano (2012), plantea el ciclo de la violencia en siete fases, este ciclo inicia con un comportamiento antisocial y fantasioso mismo que plantea un objetivo, que es seleccionado de lugares concurrentes del agresor, después trata de ganarse la confianza de su víctima para capturarla y cometer el asesinato recreando su fantasía o satisfaciendo su necesidad o motivación, luego entra a una fase llamada tótem, donde el agresor trata de conservar la euforia y el placer del hecho, por último entra a la fase depresiva, donde el agresor sale de la fase tótem y vuela a fantasear.

El perfil criminal es el producto de la intersección de varias fuentes de información como: escena del crimen, víctima, análisis forense, entre otros, que al unirse pretenden conocer: el qué, el cuándo, el cómo, el dónde y el quién del delito para lo cual se establece con el cuerpo forense una hipótesis de la naturaleza del incidente que es válida, no obstante, por sí solo el perfil criminal no es capaz de señalar al delincuente, ya que se trata de una técnica más que contribuye a reducir el tiempo de la investigación (Jiménez Serrano, 2012).

La definición de un perfil criminal está bajo el Principio de Intercambio de Locard, quien sostiene que “es imposible que un criminal actúe, especialmente en la tensión de la acción criminal, sin dejar rastros de su presencia” (CFEC, 2018). Los métodos de perfilación son dos: inductivo y deductivo (Jiménez Serrano, 2012).

La escena del crimen es el espacio físico limitado o extenso, abierto o cerrado donde el agresor y víctima entran en contacto, por lo cual, es una fuente primaria de información en el análisis para la elaboración de un perfil criminal, ya que tiene dos tipos de información: la perceptible a primera vista y la imperceptible al ojo humano, dicha información es recogida por el cuerpo legal y especializado (Holmes y Holmes, 2009), (Jiménez-Serrano, 2018) y (Turvey, 2008).

El Modus Operandi (MO) tiene como objetivos: proteger la identidad del agresor completar la misión del hecho delictivo y facilitar el escape del agresor; mientras que en la perfilación, el MO permite identificar al agresor por: el nivel intelectual, el comportamiento, la familiaridad con la escena del crimen, el conocimiento, la metodología, la temporalidad y continuidad de los hechos delictivos, la adaptación y evolución o involución de los hechos criminales como también las habilidades del sujeto o la relación con otros hechos delictivos (Gross, 1924) y (Jiménez Serrano, 2012).

La firma del agresor describe la conducta y motivación para cometer el crimen, que es reflejo de las necesidades psicológicas o emocionales que el agresor pretende cubrir con la realización de sus crímenes. Dicha acción puede ser provocada por un estímulo externo; que proviene del ambiente o generado internamente por procesos mentales del individuo; a diferencia del modus operandi, este no es dinámico (Jiménez Serrano, 2012), (Gross, 1924) y (Hazelwood y Burgess, 2017).

Von Hentig (1964) clasificó al tipo de víctima en once categorías en función a los factores de riesgo o vulnerabilidad de cada grupo. En estos grupos se encuentran personas jóvenes consideradas débiles físicamente, mujeres como un grupo vulnerable, ancianos identificados como personas mentalmente menos capaces y otros, los cuales tienden a ser blancos por ciertos factores propios de la víctima como biológicos o psicológicos como edad, sexo, personalidad. Por el contrario, los factores externos son aquellos que son recibidos del ambiente como: estado civil, escolaridad, profesión y otros. Turvey (2008) identifica 6 factores que influyen en la selección de la víctima: la facilidad, la vulnerabilidad, el simbolismo, la fantasía o motivación, el acercamiento a la víctima, y la localización.

Los tipos de perfilación criminal están en función al: volumen y la calidad de la información, para lo cual, diversos autores han desarrollado distintas propuestas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de perfilación criminal

Psicología investigadora (Canter, 1994)	Análisis de Investigación Criminal (CIA) (Burgess y Burgess, 2006)	Crime Action Profiling (CAP) (Kocsis, 2006)	Behavioral Evidence Analysis (BEA) (Turvey, 2008)
Plantea la hipótesis de consistencia en los seres humanos	Identifica características de personalidad y conductas del agresor en función al crimen cometido	Aplica la psicología o psiquiatría forense, donde el procedimiento estadístico de Análisis Multivariable (MDS)	Analiza las evidencias conductuales, físicas, documentales o testimoniales
Los agresores adquieren patrones en función al entorno que los rodea	Los agresores pueden ser criminales organizados o desorganizados	Los agresores son identificados en función a los patrones mediante un Análisis Multivariable.	El perfil del agresor es el resultado de la integración de los resultados del análisis de las evidencias.

Fuente: Autor, Adaptado de: (Canter, 1994), (Burgess y Burgess, 2006), (Kocsis, 2006) y (Turvey, 2008)

La Criminología Ambiental (CA), a primera vista, sugiere ser el estudio de delitos ambientales, sin embargo no lo es, porque forma parte de las ciencias de la criminología con el objetivo de aportar posibles soluciones en: análisis, intervención y prevención delincriminal, por tanto, su verdadera función es estudiar los diferentes eventos criminales como producto de la relación entre objetivos delictivos potenciales y agresores que se encuentran en puntos específicos de espacio y tiempo (Brantingham, 1981) citado por (Jiménez-Serrano, 2018).

Las teorías que sustentan a la criminología ambiental tratan de explicar cómo el entorno tiene un efecto sobre el comportamiento delictivo y cómo los patrones describen las actividades de las víctimas y delincuentes ver Tabla 2 Martínez Rolg (2016).

Tabla 2 Teorías de oportunidad del delito aplicado a la criminología ambiental

Teoría de las Actividades Rutinarias Cohen y Felson (1979)	Teoría de la Elección Racional Willson y Herrnstein (1985), Clarke y Cornish (1986)	Teoría de las Ventanas Rotas Wilson y Kelling, (1982), Skogan (1990), Kelling y Coles (1996)	Teoría del Patrón Delictivo Brantingham y Brantingham (1991)
Está basado en la estabilidad geográfica de las actividades cotidianas.	Está basado en la percepción a corto plazo de los beneficios y riesgos adquiridos por el hecho delictivo.	Está basado en las características del entorno y los clasifica en espacios crimífugos y crimípetos.	Está basado en los patrones delincriminales, porque considera que el hecho delictivo no es aleatorio.
El comportamiento geográfico del agresor es igual que el de resto de personas.	La conducta criminal pretende beneficiar siempre al agresor.	Un espacio crimífugo posee características físicas y espaciales que disminuyen la probabilidad de que se cometa un delito.	Está compuesta por cuatro dimensiones: ley, infracción, víctima-objetivo, espacio-tiempo.
El delito se da cuando coinciden en el espacio y tiempo objetivo y agresor.	El ambiente estimula, regula, controla o inhiben el comportamiento delincriminal.	Un espacio crimípeto posee características físicas y espaciales que está diseñado para favorecer las acciones delictivas.	El agresor hace uso de las oportunidades del entorno cuando este se cruza con un objetivo de bajo riesgo.

Fuente: Autor, Adaptado de: Martínez Rolg (2016).

El Perfil Geográfico tiene sus bases en la CA, debido a que estudia la distribución en el espacio y tiempo de los hechos delincriminales a tal punto de identificar “dónde y cuándo ocurren los delitos, bajo qué influencias ambientales se producen, y cómo estos conocimientos pueden ser útiles para predecir, controlar e incluso prevenir eventos delictivos” (Vozmediano y San Juan, 2010) citado por Salafranca (2016), como también para detener a los criminales futuros.

Matthews (2013) dice que un perfil geográfico es producto de la integración de la geografía, psicología y criminología, donde el elemento clave es la geografía ya que al combinarse da lugar a estudios de: comportamiento geográfico, psicología ambiental, análisis de las especialización del crimen e investigación en el análisis criminal (ver Figura 1).

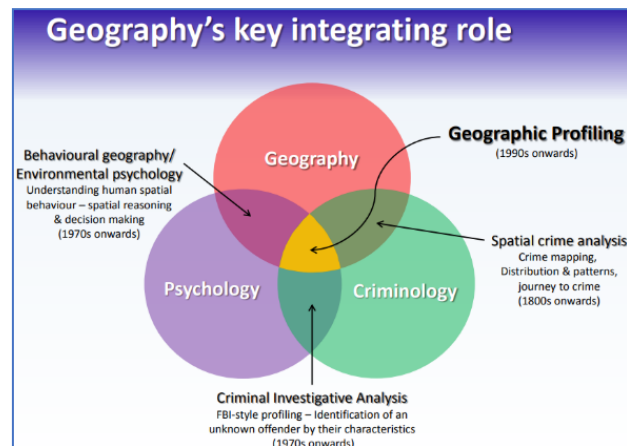


Figura 1. Rol integrador de la Geografía
Fuente: (Matthews, 2013)

En virtud de ello, uno de los objetivos del perfil geográfico es hacerse con una copia del mapa cognitivo del agresor y en ese sentido ser capaz de entenderlo y usarlo como él lo haría para detectar próximas zonas de actuación y acotar el área que encierra la base de operaciones (Jiménez-Serrano, 2018).

Por consiguiente, Fernández Molina, Vázquez Morales, y Belmonte Mancebo (2014) citado por Salafranca (2016), manifiestan que un perfil geográfico criminal usa la información sobre los eventos delictivos de forma sistemática para encontrar patrones y tendencias de la actividad delictiva del agresor, permitiendo realizar explicaciones teóricas de la conducta espacial en el análisis del delito.

El modelo de Rossmo para la perfilación geográfica parte de la idea de que el criminal busca estar lo suficientemente cerca de su centro de operaciones para huir con facilidad, pero lo suficiente lejos para no ser reconocido, para lo cual plantea una ecuación (Suárez-Meaney, et al., 2017). De igual forma, señala un segundo supuesto en el que es imposible predecir el lugar del siguiente crimen, pues es un hecho básicamente aleatorio; sin embargo, el domicilio o base de operaciones del criminal no es aleatorio (Suárez-Meaney, et al., 2017).

La ecuación de Rossmo parte de un búfer B que es una distancia a la que ya dejara de actuar el agresor y que está cerca de su punto de anclaje, marcando así dos tipos de zonas, donde actuará y donde no actuará, es decir que esta ecuación asocia el modelo de decaimiento en la distancia, donde los valores de f y g permiten marcar el cambio de una zona de actuación a la de no actuación de forma más rápida o más lenta, cuyos valores son de forma experimental. ϕ describe la función característica, que permite delimitar el margen de búsqueda, $p_{i,j}$ es la probabilidad de que el punto sea el domicilio del perpetrador, K es una constante de calibración, n es el número de crímenes que va de 1 a T, y por último la distancia Manhattan $|X_i - x_n| + |Y_i - y_n|$ entre cada uno de los crímenes y cada punto del área de análisis, (X_i, Y_i) coordenada en el área de búsqueda y (x_n, y_n) coordenada del hecho delictivo registrado (ver ecuación 1 y 2) (Suárez-Meaney, et al., 2017).

$$\phi = \begin{cases} 1, & \text{si } (|X_i - x_n| + |Y_i - y_n|) > B \leftrightarrow (X_n, Y_n) \in B \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (1)$$

$$p_{i,j} = k \sum_{n=1}^T \left[\frac{\phi}{(|X_i - x_n| + |Y_i - y_n|)^f} + \frac{(1-\phi)(B^{g-f})}{(|X_i - x_n| + |Y_i - y_n|)^f} \right] \quad (2)$$

El postulado del decaimiento de la distancia dice que mientras más alejado se encuentra el delincuente del punto de residencia o de anclaje, menor es el aumento de los hechos delictivos, ya que este postulado está relacionado al principio de la ley del menor esfuerzo; en

atención a lo cual toma una igual distribución de las posibilidades potenciales para cometer el delito, por lo que el agresor elegirá las variantes que desde su punto de vista le exijan una mínima modificación ambiental o esfuerzo (Salafranca, 2016) y (Martinez Rolg, 2016).

Las zonas que marca el postulado del decaimiento de la distancia son: zona buffer es aquella donde el agresor no opera por estar muy cerca de su residencia, zona roja o zona de alta probabilidad es el área con la distancia más cercana y óptima para cometer el delito, zona amarilla es la de moderada probabilidad para cometer un delito ya que el agresor comienza a desplazarse distancias considerables, en tanto la última zona, es de baja probabilidad; sin embargo, no se debe desestimar por su lejanía si el caso de estudio lo amerita; una zona que no está marcada ni definida, es la zona de transición entre la zona buffer y la de alta probabilidad, llamada zona de espera que es el espacio donde el sujeto merodea y analiza su posible y potencial objetivo, como también marca su rango de tolerancia para cometerlo (Salafranca, 2016).

Salafranca (2016) y Jiménez Serrano (2012) citan diversos estudios sobre el desplazamiento de los agresores, mismo que va desde su punto de anclaje hasta el lugar de la escena del crimen y con un promedio de 2.5 km (ver Figura 2), de igual forma el estudio realizado por Rossmo (1995) encontró que el 24% de las veces la primera violación ocurre cerca de la casa del agresor, en cambio el 41% de los asesinatos en serie ocurre cerca de base de operaciones.



Figura 2 Desplazamiento de los agresores

Fuente: Autor, Adaptado de: (Salafranca, 2016) y (Jiménez Serrano, 2012)

Otra teoría asociada a la distribución espacial de los delitos es la teoría del círculo la cual está basada en el criterio de actividades rutinarias y la ley costo beneficio, por lo que sugiere que un criminal va a cometer el crimen en las zonas que conocen y no exactamente en la que viven; por lo que, si se traza un círculo cuyo diámetro fuera la distancia entre los dos crímenes más alejados, podría establecerse el lugar probable del domicilio o base de operaciones del sujeto que está dentro del mismo círculo (Salafranca, 2016). Corrales González (2016) cita a David Canter, quien en 1944 desarrolló la hipótesis del círculo, y encontró que entre el 50% y 75% de los violadores de su estudio vivían en un área que podía ser definida por dicho círculo cuyo diámetro uniera los dos lugares más alejados donde había atacado el agresor. Adicionalmente existen muchas otras formas para construir dicho círculo como: el centroide, media armónica, media geométrica, mediana, centro del círculo, centro de la mínima distancia Salafranca (2016).

El sentido de la marcha según Salafranca (2016) es una representación del mapa cognitivo del agresor, ya que considera la cronología espacial del hecho delictivo en forma de puntos que al conectarse delimitan un área de influencia del delincuente en tiempo y espacio. Por lo tanto, la función del mapa cognitivo es la de proporcionar un marco de referencia ambiental para desplazarse en un entorno, escenario o ambiente, también permite adquirir, codificar, almacenar, recordar y manipular información sobre el entorno, por lo cual, si una persona no es capaz de asociar o identificar el lugar en el que se encuentra, en contexto se encuentra perdida (Aragonés, 1998) y (Downs y Stea, 1973) citado por (Jiménez-Serrano, 2018).

Para el Perfil Geográfico se puede aplicar una herramienta fuerte como la es el análisis espacial, que se centra en el estudio del comportamiento de los diferentes elementos en el espacio bajo ciertas condiciones, con la finalidad de: elaborar teorías generales o modelos espaciales, comprender la naturaleza del fenómeno, identificar relaciones entre los individuos y el espacio, analizar una problemática social, determinar cuáles son los agentes transformadores, y otros. Todo se apoya en conceptos o técnicas de análisis cuantitativo, cualitativo y gráfico que permiten ejecutar una serie de procedimientos con los datos especializados, ya que este medio forma parte del proceso investigativo en respuesta a la toma de decisiones de una problemática general o específica Universidad Nacional de Colombia (UNAL) (UNAL, 2019) y (Royo Pérez, 2014).

METODOLOGÍA

En primer lugar, se analizó espacialmente la psicología bajo la perspectiva de un análisis geoespacial, donde el análisis psicológico permite estudiar el comportamiento del agresor en función a la categoría que este pertenezca como es el caso de un asesino instrumental cognitivo que tiene un grado mayor de planificación a diferencia de un asesino expresivo impulsivo (Salfati y Canter, 1999) y (Patherick, 2006). Esto implica que los radios de búsqueda pueden variar para cada caso, ya que pueden ser tan reducidos en la proximidad de la escena del crimen o muy extensos que pueden abarcar toda una ciudad; sin embargo este criterio es subjetivo y dinámico visto que, un asesino con un comportamiento planificado, puede tener una concepción de distancia corta viajar alrededor de 10 km o al contrario una distancia larga está más allá de los 3 km, dicha concepción es particular del agresor y puede alterar el radio de búsqueda en su identificación; sin embargo, se pueden utilizar dichos conceptos para asociar su comportamiento con los rangos de búsqueda, cuando no se tiene nada de información.

El ciclo de la violencia puede ser interpretado bajo la ubicación espacial en cada una de sus etapas, por lo tanto, un agresor en una fase de fantasía se lo hallará fácilmente en su base de operaciones o en el punto de anclaje, hasta que salga a sus actividades rutinarias y siga su mapa mental y encuentre un objetivo potencial y lo capture; con ello da paso a la escena del crimen. Posteriormente, si el investigador posee indicios del tentativo sospechoso, lo podrá seguir bajo las actividades rutinarias del individuo, para finalmente, cuando el agresor pasa a la fase depresiva, encontrarlo de nuevo en su punto de anclaje volviendo así a la fase de fantasía para poner en mira a su próximo objetivo. Cabe recalcar que, una vez identificadas las actividades rutinarias de la víctima y el agresor, se puede elaborar el mapa cognitivo con la finalidad de identificar la consistencia y la particularidad espacial, las posibles alteraciones y el punto de intersección entre agresor y víctima.

El estado psicológico del agresor es de suma importancia en el análisis espacial, dado que al tener conocimiento si su comportamiento es: evolucionado o involucionado en el tiempo permitirá focalizar los rangos de búsqueda ya que un agresor con un comportamiento evolucionado es sumamente calculador y planificado; puede ser que sea capaz de trasladarse a largas distancias o utilizar adecuadamente la accesibilidad hacia su objetivo sin ser descubierto, a diferencia de un comportamiento involucionado, donde las capacidades cognitivas hacen que

el agresor busque en la proximidad sentirse seguro y utilice la accesibilidad más cercana para llegar a su punto de anclaje o de confort (Gross, 1924), (Hazelwood y Burgess, 2017) y (Burgess, et al., 2006).

Lo propio del análisis psicológico es entender el comportamiento, al igual que identificar la firma o motivación del agresor para cometer el crimen. Por lo que un análisis espacial permite apoyar al proceso mental del investigador en la identificación de los elementos que conforman el entorno y lograr asociar la existencia de algún estímulo externo al proceso mental que llevó a cabo el agresor, para lo cual dicha información puede ser revisada sobre alguna composición cartográfica.

En segundo lugar, se caracterizó la criminalística o criminología bajo la concepción geográfica, dónde se plantea como principal fundamento que, para cualquier hecho delictivo, su geometría básica de representación puede ser el punto, de igual forma la conducta criminal puede ser mapeada ya que las variables sociales y de oportunidades delictivas pueden ser analizadas espacialmente en áreas de servicio o influencia, mediante un formato vectorial como línea, polígono o en formato ráster; cabe recalcar que el tipo formato de representación geográfico depende mucho de la variable que se quiere mostrar o del tipo de análisis a realizar.

Dado que una de las potencialidades del Perfil Geográfico es trabajar sobre delitos seriales Salafranca (2016), se considera que cada hecho delictivo de la serie por sí solo en el espacio forma parte de una densa nube de puntos aleatorios de la actividad delincuencia y a nivel judicial, cada caso puede ser un estudio independientemente; sin embargo, existen hechos delictivos que guardan un grado de relación con un mismo autor, haciendo que los hechos formen parte de una serie, las formas de identificarlos se basan en: la experticia de los investigadores, evidencias recopiladas, elaboración de un perfil geográfico y otros.

En lo que se refiere a buscar respuestas sobre la actividad delincuencia o algún rasgo diferenciador del agresor, la primera fuente de información es la escena del crimen que debe ser atendida espacialmente. El área de influencia es el lugar que abarca los hechos delictivos y el área de interés es una zona buffer que circunvala al área de influencia que permite al agresor aproximarse o salir de la escena del crimen. Ciertamente, encontrar a la víctima en un determinado lugar no implica que sea la única área de contacto entre agresor y objetivo, por lo cual cruzar información del mapa cognitivo de la víctima y del agresor con la escena del crimen, permitirá plantear la existencia de otras escenas de crimen secundarias.

Cada elemento que conforma la escena del crimen, tiene una coordenada que, dependiendo del lugar hallado, permite construir en retrospectiva la cronología de los hechos, el sentido de la marcha, identificar anomalías y validar ciertos indicios. Para lo cual la planimetría es una excelente forma de tomar datos geo referenciados espacialmente.

El MO tiene como objetivos proteger la identidad de agresor y cumplir su objetivo, se entiende que el agresor tiene conocimiento espacial sobre el entorno, por lo cual es muy importante conocer características como: viabilidad, seguridad, uso del suelo, cobertura y entre otros. Entonces, si se identifica que el MO es de bajo riesgo, se plantea que el rango de búsqueda debe ser exhaustivo e incluso mayor, por el grado de preparación que tiene el agresor, a diferencia de un MO de alto riesgo. Por lo tanto, el investigador debe tener una concepción mayor del entorno espacial, lo que permitirá localizar con prontitud al agresor o recopilará cierta evidencia que permita dar con el lugar de operaciones del agresor y adelantarse a los movimientos del agresor.

Por otra parte, no solo el agresor es motivo de estudio en el hecho delictivo, también la víctima es otra fuente información, ya que la víctima al igual que el agresor comparten el mismo espacio, sin embargo, existen espacios donde las víctimas son más vulnerables a sufrir un hecho delictivo y esto se debe a las amenazas presentes en sus actividades rutinarias, las cuales, al intersecar conformar los niveles de riesgo, que al ser mapeado e identificados como espacios crimífugos y crimípetos. Un área crimífugo es aquella donde la configuración del territorio no

facilita la acción criminal, al contrario de un área crimípeto. Esto permiten tener una mayor concepción espacial de la ocurrencia en dicho lugar, por lo tanto, estos mapas deberían al menos contener tres factores que determinen la elección de una víctima como: accesibilidad a la víctima, localización y vulnerabilidad.

Cuando un hecho delictivo fue ejecutado y no exista pista del agresor, la reconstrucción de las últimas 24 horas sobre los movimientos de la víctima es muy útil ya que esta trayectoria al ser mapeada permite escudriñar la consistencia espacial de las actividades de la víctima y con ello encontrar la particularidad de la rutina, que permita localizar en tiempo y espacio el punto de contacto entre la víctima y el agresor.

En tercer lugar, se caracterizó espacialmente el perfil criminal en donde se plantea responder a varias preguntas como: ¿Qué pasó?, ¿Cuándo pasó?, ¿Dónde pasó?, ¿Cómo pasó?, ¿Quién o quiénes lo hicieron?, cuya información es válida por el cuerpo forense; no obstante, a preguntas de localización, Es más que claro que la geografía tiene la facultad de responder o de validar dicha información, a más de abstraer, intersecar y crear información que ayude a aminorar la investigación; sin embargo, por sí sola no es capaz de señalar al delincuente, siempre debe estar acompañada de muchas otras técnicas o ciencias.

En vista de que perfil criminal plantea identificar y describir una serie de características con un grado de pertenencia al autor material de los hechos, la espacialización de variables demográficas y socioeconómicas puede ayudar visualmente a discriminar ciertas áreas y comprender en cierto grado la configuración del entorno con sus posibles agresores. Por lo que, un individuo por muy particular que sea por sus características psicológicas, fisiológicas o conductuales, siempre forma parte de un grupo, por lo cual, puede ser identificado espacialmente bajo la concentración de sus semejantes o la particularidad que representa en un área estudiada.

Aun cuando existen dos métodos de perfilación criminal, se suma un tercero que es transversal a los dos, y se conceptualiza desde la geografía, modelando los perfiles de agresores conocidos en forma de patrones espaciales y luego intentando correlacionarlos con el perfil criminal planteado, caso contrario analiza el entorno del hecho delictivo, su configuración espacial y lo individualiza con las acciones del agresor con la víctima en lugares y tiempos específicos para después deducir el perfil criminal del caso de estudio.

Diversos autores en el tiempo han propuesto una serie de tipos de perfilación, todos con el común objetivo identificar en cierto grado al agresor, de modo que cada de uno de ellos implícitamente conllevan un análisis espacial, que forma parte de la concepción de un perfil geográfico criminal (ver Tabla 3).

Tabla 3 Criterio espacial en los tipos de perfilación

Psicología investigadora (Canter, 1994)	Análisis de Investigación Criminal (CIA) (Burgess y Burgess, 2006)	Crimen Action Profiling (CAP) (Kocsis, 2006)	Behavioral Evidence Analysis (BEA) (Turvey, 2008)
Consistencia espacial de la víctima y agresor	Comportamiento espacial (Rangos de distancias para la búsqueda)	Existencia de Patrones, cual involucra análisis geo-estadísticos	Características de la escena y entorno.

Fuente: Autor

Todo hecho delictivo está siempre está asociado a una coordenada espacio temporal, que permita localizarlo y con ello asociarlo a un entorno; si bien, el hecho delictivo está regido por un análisis costo beneficio del delito, involucra un proceso mental de análisis espacial basado en: el principio de proximidad, actividades rutinarias y la teoría de oportunidades delincuenciales.

La teoría de las actividades rutinarias describe la estabilidad o consistencia espacial, tanto de la víctima, agresor y seguridad, sobre aquellos se aplica las técnicas de la criminología como

la reconstrucción de los hechos de las últimas 24 horas, el trazo del mapa cognitivo, los mismos que aportan información sobre la localización del agresor por medio de la intersección espacio-temporal entre ellos. Por lo tanto, se plantea usar los siguientes criterios expuestos en la Tabla 4 para la localización de la víctima y agresor.

Tabla 4 Criterio espacial de la víctima y agresor en la teoría de las actividades rutinarias

Elemento Geométrico	Comportamiento espacial de la víctima y agresor	Interpretación espacial	Método de análisis espacial
Punto	Lugares cotidianos que la víctima frecuente: Domicilio, escuela, parada de bus, trabajo, zona ocio, casa de familiares entre otros También están los puntos de potenciales objetivos	Nodo Nodo delincencial Nodos potenciales	Mapa hot spot. Mapa densidades
Línea	Vías que utiliza la víctima o agresor para desplazarse de un punto a otro	Ruta	Mapa de accesibilidad Mapa cognitivo
Polígono	Zona de actividades de la víctima o agresor encerrado por los nodos y rutas Zona de alcance visual del objetivo	Espacio de actividades Espacio de conocimiento	Análisis buffer y localización de los elementos que conforman el espacio de actividades

Fuente: Autor

Por otra parte, el análisis rutinario del agresor toma como consideración los puntos de los hechos criminales o la reconstrucción de los hechos, y los asocia con un posible perfil criminal que cumpla con ciertas características en dicha zona, sin embargo, se debe de considerar que ningún agresor desempeña su papel violento las 24 horas del día, éste también cumple una consistencia geográfica en el marco de las actividades rutinarias.

A diferencia del agresor y víctima, la seguridad guarda un mayor grado de consistencia en el desarrollo de las actividades rutinarias al desplazarse y brindar seguridad a la sociedad o permaneciendo alerta en puntos estratégicos, por medio de dispositivos electrónicos de vigilancia o UPC como se describe en la Tabla 5.

Tabla 5 Criterio espacial de la seguridad en la teoría de las actividades rutinarias

Elemento Geométrico	Comportamiento espacial de la seguridad	Interpretación espacial	Método de análisis espacial
Punto	UPC Cámaras de vigilancia. Punto policial	Nodo	Mapa hot spot Mapa densidades Mapa de cuencas visuales
Línea	Vías que utilizas para el patrullaje	Ruta	Análisis de accesibilidad Análisis de áreas de servicio
Polígono	Zona de actividades del gendarme que está encerrado por los puntos y polígonos	Espacio de actividades	Análisis buffer, intercepción y localización

Fuente: Autor

Por otro lado, la teoría de la elección racional dice que el agresor basa su criterio de selección en un análisis costo beneficio, que guarda relación con las características ambientales del lugar y pretenden favorecer al agresor para el logro del hecho delictivo; en la Tabla 6 se muestra algunas características ambientales del entorno.

Tabla 6 Criterio espacial del entorno en las teorías elección racional y ventanas rotas

Elemento Geométrico	Característica ambiental	Interpretación espacial	Método de análisis espacial
Punto	Presencia de seguridad Presencia de potenciales objetivos Puntos de incidencia criminal anteriores Puntos de anclaje de sospechosos	Presencia y ausencia	Algebra de mapas
Línea	Vías de acceso Vías de escape	Rutas	Mapas de accesibilidad Mapas de servicio
Polígono	Zonas seguras que están encerrada por la presencia de elementos inhibidores. Zonas que facilita la actividad delincinencial y no muestra indicios de seguridad	Espacio crimífugo Espacio crimípeto	Análisis buffer Mapa de tipo de suelo Mapas de seguridad Mapas de uso y cobertura

Fuente: Autor

Con respecto a la teoría del patrón delictivo lo que se busca es encontrar: puntos, vías y áreas donde agresor y objetivo potencial se cruzan en espacio y tiempo sin la presencia de seguridad o con baja seguridad, por lo tanto, se puede realizar un análisis estadístico y espacial de los hechos, para lo cual se puede ocupar los elementos especializados antes mencionados en las tablas, con el objetivo de realizar un análisis espacio temporal.

RESULTADOS

Desde el punto de vista del análisis espacialmente de la perfilación criminal como perfilación geográfica se plantea responder a varias preguntas como: ¿Qué pasó?, ¿Cuándo pasó?, ¿Dónde pasó?, ¿Cómo pasó?, ¿Quién o quiénes lo hicieron?, cuya información es válida con el cuerpo forense. No obstante, a preguntas de localización, está claro que la geografía tiene la facultad de responder o de validar dicha información, a más de abstraer, intersecar y crear información que ayude a aminorar la investigación; sin embargo, por sí sola no es capaz de señalar al delincuente siempre debe estar acompañada de muchas otras técnicas o ciencias.

En vista de que perfil criminal plantea identificar y describir una serie de características con un grado de pertenencia al autor material de los hechos, la especialización de variables demográficas y socioeconómicas pueden ayudar visualmente a discriminar ciertas áreas y comprender en cierto grado la configuración del entorno con sus posibles agresores. Un individuo por muy particular que sea por sus características psicológicas, fisiológicas o conductuales, siempre forma parte de un grupo, por lo cual, puede ser identificado espacialmente bajo la concentración de sus semejantes o la particularidad que este representa en un área estudiada.

A los dos métodos de perfilación criminal se le suma un tercero que es transversal a los dos, y se conceptualiza desde la geografía, modelando los perfiles de agresores conocidos en forma de patrones espaciales y luego intentando correlacionarlos con el perfil criminal planteado; caso contrario, se analiza el entorno del hecho delictivo, su configuración espacial y se lo individualiza con las acciones del agresor con la víctima en lugares y tiempos específicos para después deducir el perfil criminal del caso de estudio.

Diversos autores en el tiempo han propuesto una serie de tipos de perfilación, con el común objetivo de identificar en cierto grado al agresor, cada uno de ellos implícitamente

conlleva un análisis espacial, que forma parte de la concepción de un perfil geográfico criminal (ver Tabla 3).

Todo hecho delictivo está siempre asociado a una coordenada espacio temporal, que permite localizarlo y con ello asociarlo a un entorno; si bien, el hecho delictivo está regido por un análisis costo beneficio del delito, involucra un proceso mental de análisis espacial basado en: el principio de proximidad, actividades rutinarias y la teoría de oportunidades delincuenciales.

El proceso de análisis espacial en la aplicación de las teorías de oportunidades delictivas inicia con la sociedad en el sentido amplio de las actividades rutinarias, que permite llegar al área local para analizar el patrón delictivo y por último enfocarse con el individuo en función a la elección racional.

CONCLUSIONES

La Geografía en el análisis de la investigación de la escena del crimen, juega un papel muy importante, que no ha sido utilizado, a pesar de que fácilmente puede adaptarse en campos de la psicología y criminalística criminología, que al unirse permiten entender el comportamiento espacial del agresor en la escena del crimen como también el entorno donde se ejecuta el hecho delictivo.

La Geografía en la Psicología permite definir los parámetros, rangos de desplazamiento y modelos de búsqueda asociados al tipo de comportamiento del agresor en el espacio. La Geografía en la Criminalística o criminología permite plantear la estrategia de búsqueda mediante el análisis de la configuración espacial del entorno, para lo cual identifica las áreas vulnerables de concentración de los hechos delictivos, las rutas y nodos de importancia. En la perfilación criminal permite reducir las áreas de búsqueda a través de la aplicación de los algoritmos, lo que hace que la inversión de recursos sea menor.

El modelo Perfilación Geográfica debe evolucionar a un modelo de Perfilación Geográfica Criminal, que se encuentre alineado a una infraestructura de datos espaciales y con criterios de análisis espacial basados en la psicología y criminalística o criminología.

La propuesta del Perfil Geográfico Criminal permitirá apoyar el proceso de toma de decisiones con el fin de generar un elemento clave y complementario para la Policía Nacional, servicios de inteligencia y con ello lograr aumentar las medidas de localización de agresores para reducir el efecto de inseguridad, y acercándose cada vez más a los objetivos nacionales e internacionales propuestos.

REFERENCIAS

Benavides Benalcázar, M. (2014). "Teoría del delito en el derecho penal ecuatoriano", *derechoecuador.com*, 29 de diciembre, Disponible en: <https://www.derechoecuador.com/teoria-del-delito-en-el-derecho-penal-ecuatoriano> [Consultado 05-03-2019]

Burgess, A., Burgess, A., Douglas, J. y Ressler, R. (1992). *Crime Classification Manual*. San Francisco: Jossey-Bass Published.

Burgess, A. N. y Burgess, A. W. (2006). *Crime Classification Manual*. 2ª ed. San Francisco: Jossey-Bass Published .

Cahill , M. y Mulligan, G. (2007). "Using Geographically Weighted Regression to Explore Local Crime Patterns", *Social Science Computer Review*, 25(2), pp. 174 -193.

Cano Campillo, C. M. y Prieto González, N. Y. (2016). “GISCRIMEFOCUS” plugin para el software Qgis para optimizar la planeación del servicio de la policía nacional de Colombia. Tesis de grado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5256/1/CanoCampilloCarlosMario2017.pdf> [Consultado: 02-04-2019]

Canter, D. (1994). *Criminal Shadows: Inside the Mind of the Serial Killer*. Londres: Harper Collins.

CFEC, (2018). “Qué es el Perfil Criminal”, *CFEC Estudio Criminal*, Disponible en: <https://www.estudiocriminal.eu/blog/que-es-el-perfil-criminal/> [Consultado: 01-04-2019]

Corrales Gonzáles, S. A. (2016). *La teoría del círculo de Cante: CRÍMINA*, Disponible en: <http://crimina.es/crimipedia/wp-content/uploads/2016/06/Crimipedia-La-teoría-del-círculo-de-Cante-Sebastian-Corrales.pdf> [Consultado: 05-04-2019]

Dueñas Ornay, E. (2012). “La importancia de un sistema de información geográfica en una campaña política”, *VI Congreso Latinoamericano de Ciencia Política, organizado por la Asociación Latinoamericana de Ciencia Política*. ALACIP, Quito, 12 al 14 de junio. Disponible en: https://www.academia.edu/1613785/LA_IMPORTANCIA_DE_UN_SISTEMA_DE_INFORMACION_GEOGRAFICA_EN_UNA_CAMPAÑA_POLITICA [Consultado: 12-04-2019]

El Comercio (2018). “Ecuador ocupa el puesto 75 en la lista de los 163 países del Índice de Paz Global 2018; Islandia lidera el ranking”, *El Comercio*, 6 de junio. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-indice-paz-global-2018.html> [Consultado: 13-04-2019]

Enríquez Nasimba, J. D. y Rivas Puchaicela, J. F. (2015). *Inexistencia de un manual de procesos para el manejo del georadar por parte de la Dirección Nacional de Delitos Contra la Vida, muertes violentas, desapariciones, extorsión y secuestro (DINASED) disminuye la eficiencia en la investigación de los casos sobre personas desaparecidas que se encuentran sepultadas*. Tesis de grado. Universidad San Francisco de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4672> [Consultado: 14-04-2019]

Espinosa Sosa, P. F. y García Arellano, W. E. (2014). *Impacto social a causa de la implementación de los botones de seguridad, en el Subcircuito Jipijapa 1 durante el primer cuatrimestre del año 2014*. Tesis de grado. Universidad San Francisco de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4671> [Consultado: 14-04-2019]

Gross, H. (1924). *Criminal Investigation*. Nueva York: Sweet y Maxwell. p.55

Hazelwood, R. y Burgess, A. (2017). *Practical aspects of rape investigation: A multidisciplinary approach*. 5ª Florida: Boca Raton

Hernández González, C. A. (2015). *Importancia de la protección de la escena del crimen por parte de los servidores policiales de los diferentes servicios y unidades especiales de la policía nacional del Ecuador*. Tesis de grado. Universidad San Francisco de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4663> [Consultado: 14-04-2019]

Holmes, R. y Holmes, S. (2009). *Profiling violent Crimes. An investigative tool*. 4ª California: Thousand Oaks.

Jiménez Serrano, J. (2012). *Manual práctico del perfil criminológico Criminal Profiling*. 2ª ed. España: Valladolid.

Jiménez-Serrano, J., (2018). “El Perfil Geográfico Criminal”, *Psicología-Online*, 15 de marzo Disponible en: <https://www.psicologia-online.com/el-perfil-geografico-criminal-2619.html> [Consultado: 15-04-2019]

Kocsis, R. (2006). *Criminal Profiling. Principles and Practice*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/246972764_Kocsis_RN_2006_Criminal_Profiling_Principles_and_Practice [Consultado: 05-02-2019]

La Hora, (2011). “10 provincias lideran la lista de inseguridad”, *La Hora*, 31 de julio. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101181509/10-provincias-lideran-la-lista-de-inseguridad> [Consultado: 01-03-2019]

Martinez Rolg, A. (2016). *Criminología Ambiental y SIG, una aplicación práctica en Castellón de la Plana*. Tesis de grado. Universitat JAUME I. Disponible en: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/161313/TFG_Martínez%20Roig_Angel.pdf?sequence=1 [Consultado: 01-04-2019]

Matthews, S. (2013). “Geoprofiling Crime: Engaging students with lesson from applied geography. Former Consultant Criminal Intelligence Analyst (Geographic Profiler) Victore Police”. *Australia Geography Teacher’s Association AGTA 2013 Perth Geography’s new frontier*. 7-10 januar, Perth WA. Disponible en: http://www.agta.asn.au/files/Conferences/conf13/AGTA_2013_Geoprofiling_Matthews.pdf [Consultado: 15-01-2019]

Ministerio del Interior (2018). *Objetivos*. Disponible en: <https://www.ministeriointerior.gob.ec/objetivos/> [Consultado: 21-01-2019]

Patherick, W. (2006). *Serial crime: Theoretical and practical Issues in behavioral profiling*. 2ª San Diego:California.

PLAN V, (2018). “Radiografía a las provincias más violentas de Ecuador”, *PLAN V*, 9 de octubre. Disponible en: <http://www.planv.com.ec/historias/sociedad/radiografia-provincias-mas-violentas-ecuador> [Consultado: 21-01-2019]

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2015). “*Objetivo 16: Paz, justicia e instituciones sólidas*”, *Objetivos De Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-16-peace-justice-and-strong-institutions.html> [Consultado: 24-01-2019]

Rossmo, D. K. (1995). *Geographic profiling: target patterns of serial murderers*. Tesis de doctorado. Simon Fraser University. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/56371040.pdf> [Consultado: 08-02-2019]

Royo Pérez, L. M. (2014). “Introducción al análisis espacial (I)”, *INISIG*. Disponible en: <http://inisig.com/introduccion-al-analisis-espacial-i/> [Consultado: 13-01-2019]

Salafranca, D. (2016). “Criminología aplicada al Análisis Delictual”, 6to *Taller de entrenamoiento sobre el análisis delictual*. Santiago, 27 de julio. Disponible en:

<https://es.scribd.com/document/377055732/Taller-4-Criminologia-Apli> [Consultado: 13-02-2019]

Salfati, G. y Canter, D. (1999). "Differentiating Stranger Murders: Profiling Offender. Characteristics from Behavioral Styles", *Behaviour Sciences and Law*, Issue 17, pp. 391-406.

San-Juan Guillén, C., 2013. "Criminología ambiental: un área en expansión", *Tribuna De Actualidad*, 6(1), pp. 33 - 38.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017). *Toda una Vida Pan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Ecuador: Consejo Nacional De Planificación (CNP). Disponible en: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf [Consultado: 28-01-2019]

Suárez Meaney, T., Palomares López, J. y Chías Becerril, L. (2017). "Predictibilidad locacional y perfilamiento geográfico en el homicidio serial con gvSIG. Caso Barraza", *MAPPING*, 26(182), pp. 52 - 63. Disponible en: <http://revistamapping.com/wp-content/uploads/2017/09/Revista-MAPPING-182.pdf> [Consultado: 17-03-2019]

Turvey, B. (2008). *Criminal profiling. An introduction to behavioral evidence analysis*. San Diego: California.

Universidad Nacional de Colombia UNAL, (2019). "Análisis espacial", *bdigital.unal.edu.c*. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1239/3/02CAPI01.pdf> [Consultado: 18-02-2019]

Von Hentig, H. (1964). *Estudios de psicología Crimina*. España: Espasa Calpe.

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ADMINISTRACIÓN TERRITORIAL EN LA GESTIÓN DE RIESGOS NATURALES. CASO, VALLE DE LOS CHILLOS - ECUADOR.

APPLICATION OF LAND ADMINISTRATION TOOLS IN NATURAL RISK MANAGEMENT. LOS CHILLOS VALLEY – ECUADOR, CASE.

Dennis Paúl Ushiña Huera

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. Gral Rumiñahui s/n Sangolquí, Ecuador. dpushina@hotmail.com

Recibido: 25 de septiembre 2019

/ Aceptado: 11 de diciembre 2019

RESUMEN

El aumento en la frecuencia y magnitud de desastres naturales alrededor del mundo debido a factores antrópicos ha ocasionado grandes pérdidas económicas y afectaciones a la salud y seguridad. Uno de los tratamientos más efectivos para disminuir los riesgos asociados a estos eventos es la prevención mediante una adecuada planificación, donde la administración territorial es capaz de proveer información y herramientas como infraestructuras de datos, marcos legales y políticas. El presente trabajo aplicó dentro del proceso de gestión del riesgo, las herramientas proporcionadas por la administración de tierras, mediante el diseño de una metodología para la gestión de riesgos, su implementación en parte de las posibles áreas afectadas por un eventual lahar del volcán Cotopaxi en el valle de Los Chillos y posterior generación de una primera versión del Sistema Catastral de Riesgos (SCR). La metodología propuesta permite identificar, evaluar, valorar y mitigar el riesgo, para su elaboración se tomó como base el proceso de gestión de riesgos dado en la AS/NZS ISO 31000:2009, la información disponible en los catastros inmobiliarios municipales, además, de un análisis de la realidad local. De su implementación se obtuvo una completa valoración del riesgo a nivel predial para el área de estudio repartida entre los cantones Quito y Rumiñahui; y una serie de recomendaciones enmarcadas en la planificación territorial para tratarlo. Los datos obtenidos fueron ingresados al SCR cuyo diseño siguió el modelo LADM (Land Administration Domain Model) descrito en la ISO 19152:2009 y fue puesto en marcha con ayuda del software STDM (Social Tenure Domain Model). La aplicación de herramientas de administración territorial en la gestión de riesgos naturales, en este caso, de la norma ISO 19152 LADM, los datos e infraestructuras catastrales, y la capacidad de elaborar políticas de ordenamiento territorial y uso del suelo, facilita y mejora la gestión de riesgos y toma de decisiones.

Palabras clave: gestión de riesgos, administración territorial, catastro, desastre natural.

ABSTRACT

The increase in the frequency and magnitude of natural disasters around the world due to anthropic factors has caused great economic losses and impacts on health and safety. One of the most effective treatments to reduce the risks associated with these events is prevention through proper planning, where the land administration is able to provide information and tools such as data infrastructure, legal frameworks and policies. The present work applied within the risk management process, the tools provided by the land administration, through the design of a methodology for risk management, its implementation in part of the possible affected areas by an eventual lahar of the Cotopaxi volcano in Los Chillos Valley and subsequent generation of the Cadastral Risk System (SCR) first version. The proposed methodology allows identify, evaluate, assess and mitigate the risk, for its elaboration the risk management process given in AS / NZS ISO 31000: 2009 was taken as a basis, as well as the information available in municipal real estate cadastres and an analysis of the local reality. From its implementation a complete risk assessment was obtained at the property level for the study area distributed between the Quito and Rumiñahui cantons; and a series of recommendations framed in territorial planning to deal with it. The data obtained were entered into the SCR whose design followed the LADM (Land Administration Domain Model) model described in ISO 19152: 2009 and was launched with the STDM software. The application of territorial administration tools in the management of natural hazards, in this case, of the ISO 19152 LADM standard, cadastral data and infrastructure, and the ability to develop land management and land use policies, facilitates and improves management of risks and decision making.

Keywords: risk management, land administration, cadastre, natural disaster.

INTRODUCCIÓN

El mundo ha evidenciado un aumento en la frecuencia y gravedad de desastres naturales tales como: terremotos, inundaciones, sequías, huracanes, derrumbes y tsunamis, que se han visto agravados por la intensificación de las actividades agrícolas, el crecimiento de la población, la presión sobre los recursos naturales y el cambio climático. Estos factores ocasionan un sin número de pérdidas por los efectos devastadores que provocan sobre el territorio y la propiedad tanto pública como privada; solamente entre el 2000 y 2005, en promedio hubo 240 millones de personas afectadas, 80,000 vidas perdidas y \$80 mil millones en daños cada año (Baas, et al., 2008). Acorde a la base de datos EM-DAT (Emergency Events Database) del Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres (CRED) el número de muertos por desastres ha aumentado de forma constante desde el inicio de los registros de la base de datos en el año 1900 (IPCC, 2014; Mitchell, 2011). Al incremento en el número de desastres naturales se suma la acumulación de deficiencias históricas en la planificación y desarrollo de los territorios vulnerables, lo que intensifica sus efectos negativos debido al inadecuado uso del suelo y ocupación, como reflejo del modelo de desarrollo que ha prevalecido en un país o región (Correa, et al., 2011). Las deficiencias en la planificación territorial se deben en gran parte al escaso conocimiento técnico de los peligros naturales a los que está expuesto el territorio, una débil gestión de riesgos y deficiencias en los sistemas de administración territorial que dificultan entre otras cosas identificar la tenencia legítima de las tierras, especialmente en países en vías de desarrollo; impidiendo a las personas que poseen dichos derechos de propiedad y a los organismos competentes, llevar a cabo acciones de

prevención y mitigación ante desastres (Mitchell, et al., 2014; Mitchell, 2011). Es así como se deja entre ver la estrecha relación existente entre la gestión de riesgos y la administración territorial. Un caso de estudio, como el realizado durante la recuperación y reconstrucción tras el terremoto de magnitud 7.6 en la escala Richter ocurrido en Nepal, demostró la importancia de un adecuado manejo del sistema de administración territorial antes y después de un desastre, ya que al mapear las relaciones entre las personas y la propiedad, es posible identificar a quienes deben y pueden recibir ayudas para la reconstrucción, facilitando la toma de decisiones (Unger, et al., 2019). Con la finalidad de tratar los riesgos desde el ámbito territorial se han diseñado modelos basados en el estándar LADM que permiten gestionar las relaciones entre las personas y la propiedad incluyendo aquellas derivadas de un contexto de desastre natural (Unger, et al., 2019). Trabajos como “Innovative land use planning for natural Hazard risk reduction: A consequence-driven approach from New Zealand” de Saunders y Kilvington (2016), y “Using land administration for land risk management” de Potts (2013) no solo aplican las herramientas de administración territorial como ayuda para llevar los registros en la etapa pos desastre, sino, que incorporan al riesgo como factor fundamental dentro de la planificación territorial, en una de las primeras fases para el tratamiento del riesgo que sería la prevención, lo cual permite mejorar la toma de decisiones y generar e implementar prácticas y estrategias efectivas para alcanzar el desarrollo de comunidades resilientes.

En el contexto latinoamericano debido a la vulnerabilidad de la región frente a la ocurrencia de desastres naturales, organismos como la Comunidad Andina de Naciones (CAN) o Cooperación Alemana (GIZ) han dado elementos básicos sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo y su relación con el territorio en busca de facilitar la articulación del ordenamiento territorial y la gestión de riesgos de desastres (Vargas y Ramírez, 2009; Rojas, 2013). Sin embargo, pese a iniciativas puntuales a nivel regional y local, aún no se cuentan con verdaderos procedimientos y metodologías que permitan alcanzar una planificación territorial capaz de afrontar los riesgos asociados a los peligros naturales, aun cuando los problemas referentes a riesgos naturales pueden ser identificados con cierta facilidad y existen medidas de mitigación cuyos beneficios al reducir la vulnerabilidad son ampliamente mayores frente a los costos de no hacerlo. En América Latina y el Caribe, 90% de los fondos internacionales destinados al manejo de amenazas naturales son usados en actividades de preparación, auxilio, rehabilitación y reconstrucción mientras solo un 10% se destina a la prevención, pese a conocerse que el método más efectivo para reducir el impacto negativo de estos eventos naturales es incorporar la evaluación y mitigación de amenazas naturales dentro de los procesos de planificación y desarrollo territorial (Mitchell, et al., 2014; OEA, 1991; UNISDR AM, 2016). El uso de información acerca del manejo de tierras y de las herramientas de administración territorial en la gestión de riesgos mejora las operaciones de emergencia y permite a los ‘stakeholders’ identificar, analizar, evaluar y seleccionar los tratamientos más apropiados para el riesgo, sin embargo, continúan limitados a sus usos históricos como es el cobro de impuestos (Potts, 2013).

Los sistemas de administración territorial son infraestructuras compuestas por diversas instituciones, marcos legales, información territorial y componentes técnicos que posibilitan la implementación de políticas y estrategias territoriales, y poseen el gran potencial de facilitar la gestión de múltiples riesgos. El desarrollo del presente proyecto tuvo por objetivo aplicar las herramientas e información que es capaz de proporcionar la administración territorial dentro de la gestión de riesgos naturales, con esta finalidad se diseñó y adaptó una metodología para la gestión de riesgos desde el ámbito territorial, consecuentemente fue implementada en parte de las posibles áreas afectadas por un eventual lahar del volcán Cotopaxi en el valle de Los Chillos y posteriormente fue generada una primera versión del Sistema Catastral de Riesgos (SCR). La metodología propuesta toma como base el proceso de gestión del riesgo dado en la AS/NZS

ISO 31000:2019 desarrollada para Nueva Zelanda y Australia; la información disponible en los catastros inmobiliarios municipales; y un análisis de la realidad local, para proponer una metodología aplicable en el Ecuador, la cual utiliza los insumos proporcionados por la administración de tierras para identificar, evaluar, valorar y mitigar el riesgo. De su implementación se obtuvo una completa valoración del riesgo a nivel predial para el área de estudio repartida entre el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y el Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui (GADMUR); y una serie de recomendaciones enmarcadas en la planificación territorial para tratar el riesgo. A partir de estos resultados se generó el SCR basado en el modelo LADM (Land Administration Domain Model) descrito en la ISO 19152:2009 y puesto en marcha con ayuda del software STDM. En el modelo LADM se consideran los derechos, restricciones y responsabilidades para cada uno de los interesados (personas u organizaciones) en cada una de las unidades espaciales de acuerdo al nivel territorial; este caso en particular, estuvo enfocado hacia el nivel predial.

METODOLOGÍA DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

Como punto de partida se realizó el análisis del sistema de administración territorial y del manejo actual de los catastros inmobiliarios del GAD Municipal de Rumiñahui, el GAD Metropolitano de Quito y la norma técnica para catastro inmobiliario dada por el MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda), así como el análisis acerca del manejo de la gestión de riesgos, donde en base a los parámetros considerados en las metodologías “Land Risk Management Model” y “Risk-Based Planning Approach” se evaluó cual es la información territorial de utilidad para la gestión de riesgos y si esta información se encontraba disponible en los catastros inmobiliarios municipales. Para el diseño de la metodología se tomó como base el esquema dado en el proceso de gestión de riesgos de la AS/NZS ISO 31000:2009, además, de una adaptación a la realidad local, de las similitudes que tenían entre sí las dos metodologías tomadas como referencia. En la Figura 1 se observa más detalladamente el proceso seguido, a través del cual se interrelaciono los conceptos de administración territorial y de gestión de riesgos; una vez diseñada la metodología se procedió a implementarla en la zona de estudio y a partir de los resultados obtenidos se generó el SCR con ayuda del software STDM al definirse derechos, restricciones y responsabilidades que están involucrados en la gestión de riesgos, acorde al modelo LADM de la ISO 19152:2009.

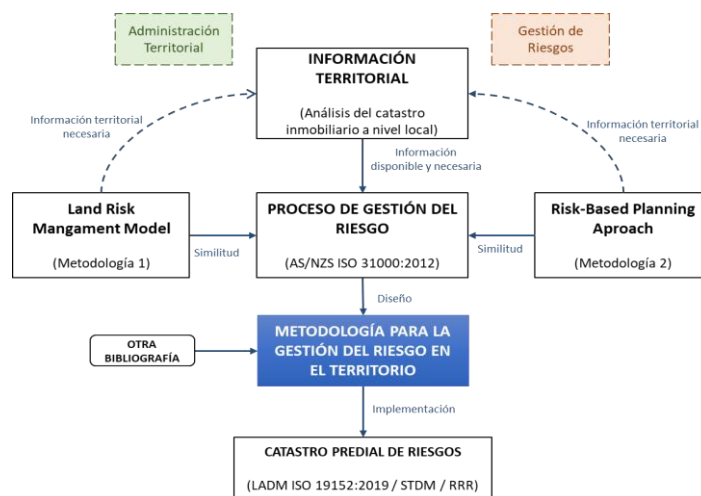


Figura 1. Proceso seguido en el diseño de la metodología
Revista Geoespacial (2019)

La metodología propuesta, como muestra el modelo conceptual de la Figura 2, está constituida por tres elementos principales que son el contexto, el proceso de gestión del riesgo en el territorio y la planificación, además, de forma transversal a estos tres elementos se tiene dos sub elementos que son la comunicación y consulta; y el monitoreo y evaluación.

El primer elemento permite contextualizar el escenario en el que se va a trabajar, mediante la identificación del lugar territorial, los factores de riesgo y los interesados en la gestión de riesgos en el territorio; el segundo elemento establece el intercambio de información necesaria entre los sistemas de administración territorial y el proceso de gestión del riesgo del cual se obtendrá una evaluación del riesgo en relación al territorio; mientras el último elemento permite a los usuarios, a partir de la evaluación realizada, tomar las acciones necesarias dentro de la planificación territorial para reducir el riesgo. Los dos sub elementos transversales a todo el proceso: comunicación y consulta, y monitoreo y evaluación, asegura el óptimo desarrollo e implementación de la metodología.

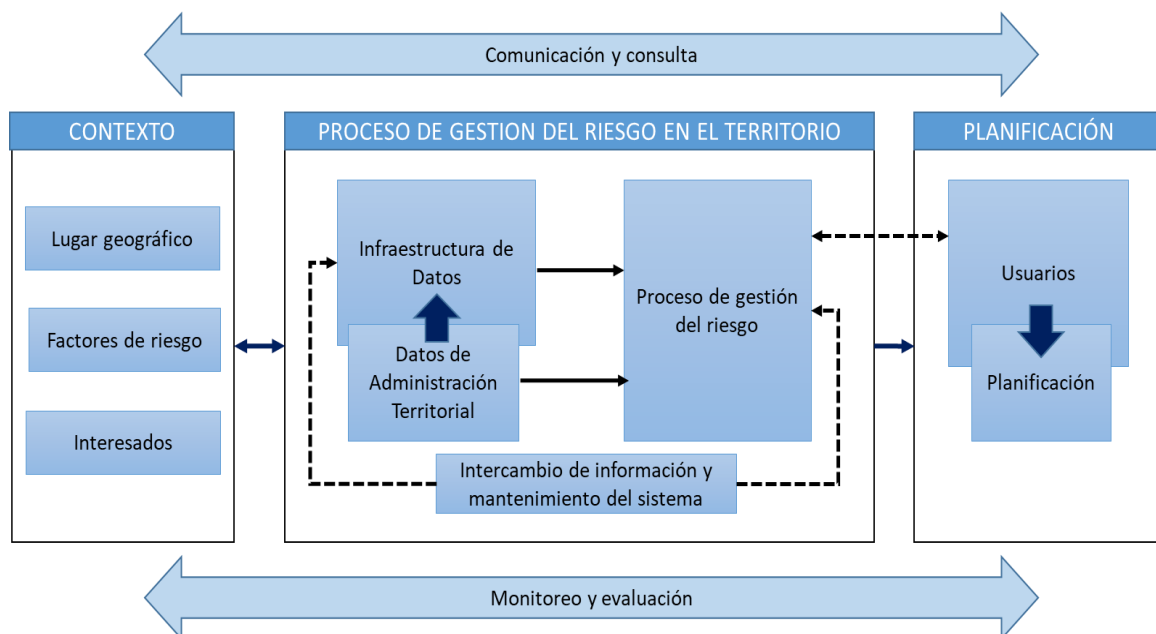


Figura 2. Modelo conceptual, metodología para la gestión de riesgos en el territorio
Fuente: Adaptado de (Potts, 2013)

El proceso de gestión del riesgo intenta seguir lo planteado por Saunders, et al. (2013) en ‘Risk-based land use planning for natural hazard risk reduction’, lo cual a su vez está alineado con los pasos para la valoración de riesgos que se consideran dentro del proceso de gestión de riesgos en la AS/NZS ISO 31000:2009. Como muestra la Figura 3, se han considerado tres pasos fundamentales, los cuales corresponden a la identificación del riesgo, donde son determinadas las limitaciones, incertidumbres y asunciones; el análisis del riesgo, en función de una valoración de las posibles consecuencias y la probabilidad de ocurrencia del evento mediante el uso de una tabla multirisgos y una escala de probabilidad de ocurrencia correspondientemente; como tercer paso está la evaluación del riesgo desde el ámbito territorial, donde se determinan el nivel de riesgo y su correspondiente estado de consentimiento.

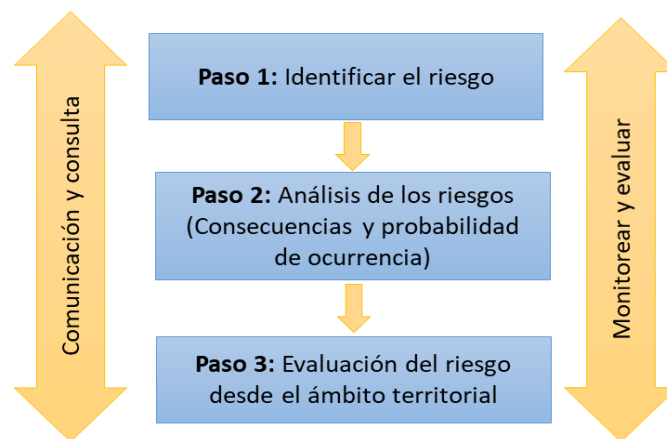


Figura 3. Pasos que conforman el proceso de gestión del riesgo
Fuente: Adaptado de (Saunders, et al., 2013)

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGÍA

Área de estudio

La implementación de la metodología se llevó a cabo de forma piloto en parte de las probables áreas afectadas en el valle de Los Chillos por los lahares producto de una posible actividad eruptiva del volcán Cotopaxi, los cuales son flujos lodosos cargados de partículas sólidas de diferentes tamaños que se desplazan a grandes velocidades por las laderas del volcán debido a la fusión de la capa de hielo glacial que recubre la parte superior del cono que alcanza una altura de 5.897 metros sobre el nivel del mar, entre las principales poblaciones afectadas están la ciudad de Latacunga y el valle de Los Chillos, específicamente la conurbación DMQ - GADMUR (Aguilera & Toulkeridis, 2005). Los drenajes naturales que nacen en la cima del volcán sirven de camino para el desplazamiento de los lahares; así la afectación se extiende por las cuencas hidrográficas de los ríos Esmeraldas al norte, Pastaza al sur y Napo al este. En el caso del valle de Los Chillos, el área se ve afectada por los lahares transportados a través de los ríos Pita y Santa Clara que confluyen en el río San Pedro, y forman parte de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas. Uno de los modelamientos más recientes de los lahares que pueden afectar al valle de Los Chillos fue realizado en el año 2018 siguiendo la cuenca del río Pita, en el cual se determinó las áreas de inundación por el derretimiento de los glaciares, al ser uno de los datos más actuales se tomó esta como área de estudio, en el mapa de la Figura 5 se muestran los límites del área que abarca 373,36 ha y está distribuida entre el GADMUR y el DMQ que en conjunto a los actores privados y ciudadanos vinculados al área afectada son los principales afectados, la principal vulnerabilidad está relacionada con el crecimiento poblacional sin una adecuada planificación territorial que ha experimentado la zona.

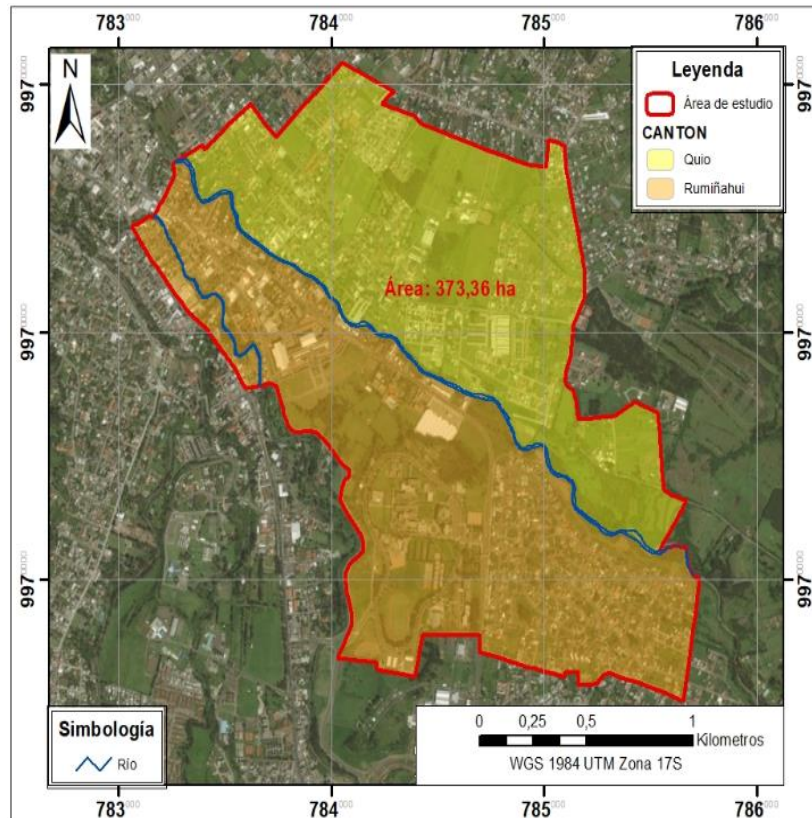


Figura 5. Área de estudio, localizada entre los cantones Quito y Rumiñahui

Identificación del riesgo

El área de impacto directo del lahar dentro de la zona de estudio abarca 239,52 ha, donde la altura de la columna del lahar va desde los 0,005 m hasta los 17,726 m, adicionalmente se consideró una zona de seguridad de 50m alrededor de la zona de impacto, esto sigue el criterio tomado por Padilla (2017) en el cálculo de tiempos de evacuación ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi. El área como se ve en el mapa de la Figura 4, fue dividida en cuatro zonas de valoración: las zonas 1 y 2 consideran las áreas de impacto del lahar con una columna $\geq 2,50$ m de altura, mientras las zonas 3 y 4 corresponden a la suma de las áreas de impacto con una columna $< 2,50$ m y la franja de seguridad de 50 m, de igual forma se consideró el límite político administrativo entre el DMQ y el GADMUR, así las zonas 4 y 1 se ubican en el DMQ mientras las zonas 3 y 2 en el GADMUR. El valor de 2,50 metros está basado en la altura promedio de una planta de construcción; al existir en su mayoría viviendas de dos plantas en la zona, se consideró la viabilidad de una evacuación vertical.

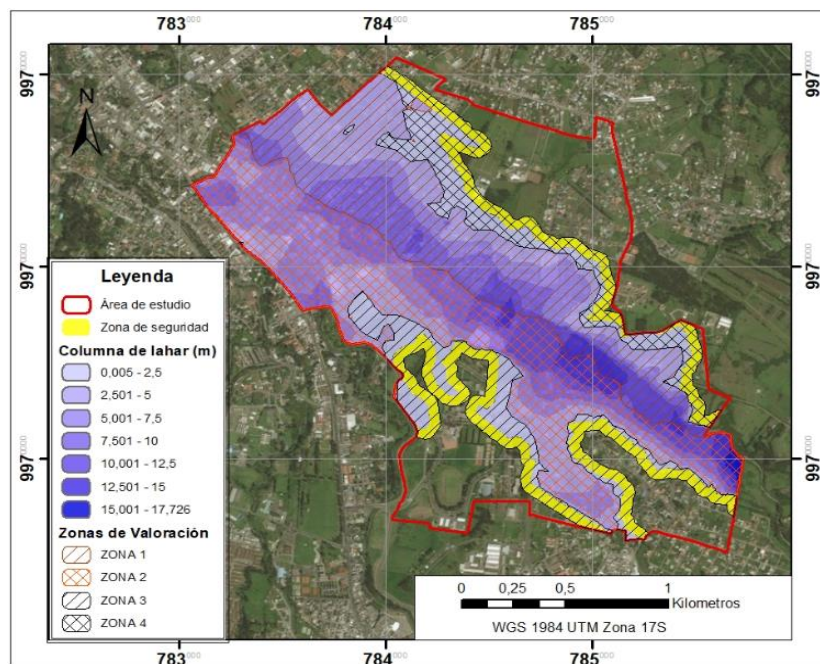


Figura 4. Lahar, área de impacto y zonificaciones para la valoración de riesgos

Las asunciones, limitaciones e incertidumbres en las cuales se basó el proceso de la gestión de riesgos en este estudio, son enlistados en la Tabla 1.

Tabla 1. Asunciones, limitaciones e incertidumbres consideradas en la aplicación del proceso

Asunciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se asume una erupción similar a la de 1877, en la cual se produjo el deshielo del glacial del volcán Cotopaxi. ➤ Se considera únicamente la población fija, no la población móvil. ➤ Las viviendas de más de dos plantas son lo suficientemente resistentes al paso del lahar.
Limitaciones	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No se cuenta con información actualizada del lahar que llegaría por la cuenca del río Santa Clara, colindante con el área de estudio.
Incetidumbres	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Complicaciones que podrían ocasionar otras amenazas volcánicas como la caída de ceniza. ➤ Efectos que ocasionarían condiciones climáticas extremas como lluvias torrenciales que pudieran ocurrir a la par de la erupción.

Determinación de consecuencias

La determinación de las consecuencias se realizó en función de los parámetros: infraestructura - edificaciones, económico y de salud y seguridad, establecidos dentro de la tabla multi-riesgos. El parámetro de infraestructura abarcó la evaluación de construcciones, construcciones de uso social/cultural, instalaciones críticas y servicios vitales, para identificar los tres primeros se depuraron, estandarizaron e integraron los catastros inmobiliarios municipales del GADMUR y GAD DMQ, posteriormente el catastro fue actualizado mediante la digitalización de una ortofoto del año 2018. La identificación de las construcciones de tipo social/cultural e instalaciones críticas se realizó con ayuda de la información acerca de uso del suelo y de construcciones, contenida en las fichas catastrales, la información fue corroborada mediante visitas de campo. Finalmente fueron contabilizadas las construcciones funcionalmente comprometidas y calculados los porcentajes de las mismas en las cuatro zonas

de valoración y para cada uno de los tipos de construcción, las construcciones consideradas funcionalmente comprometidas son aquellas localizadas en áreas donde la columna de lahar fuera $>0,5$ m.

Dentro de lo correspondiente a servicios vitales fueron evaluados los servicios de agua potable, alcantarillado, electricidad y de transporte, la evaluación abarcó al total de la población urbana afectada en el GADMUR y el GAD DMQ. El servicio de agua potable está a cargo de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) en Quito y por la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado en Rumiñahui, se encontró que los sistemas de abastecimiento se encuentran conformados por elementos de captación, tratamiento y distribución del agua. En ambas áreas urbanas la principal afectación se da en las líneas de captación ya que pese a las medidas de mitigación tomadas, en el caso de Quito, de las 9 zonas hídricas con las que cuenta la ciudad se vería especialmente afectada la zona hídrica Puengasí-Placer, al abastecerse con líquido proveniente del río Pita, lo que limitaría el servicio en el sur y centro sur de la ciudad de Quito afectando al 32,79 % de la población urbana hasta la reparación de la línea que tomaría cerca de 8 meses (Peña, 2016). Mientras tanto el cantón Rumiñahui se abastece de 17 vertientes y pozos, su principal sistema de captación es el de Molinuco que abastece al 50% de la población del cantón se vería especialmente afectado por el paso del lahar ya que la tubería cruza por debajo del río, lo cual generaría un importante desabastecimiento a la mitad de la población hasta reparar los desperfectos, lo que podría llevar más de un mes.

La distribución de energía eléctrica de los cantones Quito y Rumiñahui está a cargo de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), el sistema eléctrico está conformado por las subestaciones de transmisión y distribución, las líneas de subtransmisión, las líneas de distribución y los puntos de carga (medidores), y es abastecido principalmente por el Sistema Nacional de Transmisión (SNT) y en menor medida de pequeñas centrales hidroeléctricas y térmicas, propiedad de la EEQ. Tras realizar el análisis se determinó que la principal afectación sería debido a la pérdida de las líneas de distribución (postes y cableado) en la zona de afectación directa del lahar y de la subestación de San Rafael. El tiempo de reposición se estimó en un lapso no menor a 3 meses en base a tiempos estimados para la reposición de subestaciones en condiciones normales (Narváez, 2007). En lo referente a transporte, luego de una revisión de estudios anteriores en los que se analizó las afectaciones a la red vial y se determinó las afectaciones por el lahar en el valle de Los Chillos, el tiempo estimado de reposición y la incidencia que tendría en el servicio se consideró una vulnerabilidad baja de la red vial ante la ocurrencia de un lahar del Cotopaxi (Narváez, 2007; Tibanlombo y Villacís, 2013). Así la principal afectación del transporte se daría en la zona de afectación directa del lahar y de la zona inter lahar, por más de dos meses hasta el despeje de las vías principales. De igual forma el sistema de saneamiento se vería principalmente afectado por el taponamiento de tuberías y desagües debido a la acumulación de material, el tiempo de paralización de este servicio en el área afectada sería indefinido.

En la estimación del porcentaje de la población urbana del DMQ y del GADMUR que se quedaría sin los servicios de electricidad, alcantarillado y transporte se consideró una zona adicional de 50 m alrededor del lahar, Figura 5, además, se incluyó dentro del área afectada por el lahar a la zona inter lahar que se localiza entre los ríos Santa Clara y Pita, representada de color naranja. El número de afectados se obtuvo al cruzar un mapa de densidad poblacional al año 2019 con las zonas de valoración.

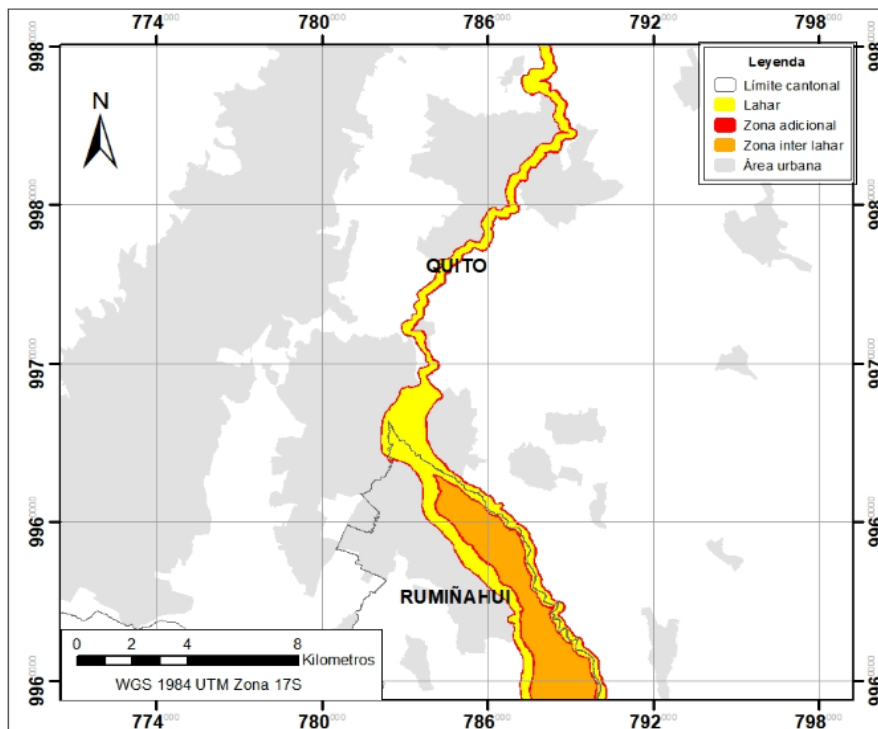


Figura 5. Afectación del lahar en las áreas urbanas del GADMUR y DMQ

En lo referente al parámetro de salud y seguridad, se estimó el número de posibles muertes debido a la ocurrencia del lahar, a partir de un escenario propuesto en el que las personas que no se encuentran preparadas para afrontar una situación de emergencia producto del lahar del Cotopaxi, pondrían en peligro su integridad física al no evacuar a tiempo; fueron consideradas únicamente las zonas 1 y 2, al ser las de mayor peligro. Para estimar el grado de preparación de la población se realizó una encuesta de selección múltiple, en la cual se preguntó a las personas si tenían conocimiento que el lugar donde se encontraban es zona de peligro por lahares, si habían participado en simulacros de evacuación por el lahar del Cotopaxi en el pasado, si conocían las rutas de evacuación y las zonas seguras, además, se preguntó qué tiempo consideraban como óptimo para evacuar el área en caso de emergencia y cuán probable creían experimentar una erupción del volcán Cotopaxi en el transcurso de su vida, la encuesta fue aplicada a una muestra de 352 personas con un nivel de confianza del 95% y una población conocida de 4177 habitantes en las zonas 1 y 2. La encuesta fue realizada con ayuda de la aplicación móvil “ODK Collect” y mostró que el 68,10 % de la población que habita en las zonas 1 y 2 estaría preparada o tiene conocimientos básicos de qué hacer en el caso de una emergencia, mientras el 31,90% no se encuentra preparada, el número estimado de muertes fue calculado para cada zona de valoración en base a los porcentajes obtenidos.

Para el cálculo de las pérdidas económicas se siguió la ecuación (1), en lugar del PIB se utilizó el VAB (Valor Agregado Bruto), el cual equivale a los valores de bienes y servicios generados en una región, y es un valor representativo similar al PIB.

$$PIB_k = \frac{SU * CSU + CU * CCU + EM * ECM}{PIB_c} \tag{1}$$

Donde:

SU= Suelo urbano afectado [m^2]

CSU= Costo del suelo urbano [$\$/m^2$]

CU= Construcciones urbanas afectadas [m^2]

CCU= Costo construcciones urbanas [$\$/m^2$]

EM= Estimación de muertes [individuos]

ECM = Estimación de costo por muerte [$\$/individuos$]

PIBc = Valor Agregado Bruto cantonal [$\$$]

PIBk = Valor Agregado Bruto comprometido [$\$$]

Los valores usados de costo del suelo y de construcción fueron tomados del estudio “Economic risk assessment of Cotopaxi volcano, Ecuador, in case of a future lahar emplacement” realizado por Rodríguez, et al. (2016), donde se establecieron los valores de \$250 por m^2 de suelo urbano y 500 por m^2 de construcción urbana para el valle de Los Chillos. Los valores para los VAB cantonales, que equivalen a los valores de bienes y servicios generados en cada cantón, fueron obtenidos de los valores agregados brutos cantonales provisionales dados por el Banco Central del Ecuador para el año 2017. La estimación de costo por muerte (ECM) fue calculada de acuerdo a los años de vida como personas económicamente activas que se perderían por muerte, 31 años; y el VABpi (Valor agregado bruto por habitante), la Tabla 2 muestra el ECM para cada cantón.

Tabla 2. Estimación costo económico por muerte (ECM)

Cantón	Habitantes	VABc (M.\$)	VABpi (\$)	ECM (\$/individuo)
Quito	2.644.145	24.426,598	9.237,99	286.377,84
Rumiñahui	107.043	803,979	7.510,80	232.834,93

La probabilidad de ocurrencia se determinó acorde al tipo de actividad y los períodos de descanso identificados en los registros históricos del volcán Cotopaxi de los últimos 2000 años, que indican como tiempo estimado que ha transcurrido entre dos erupciones sucesivas es de 117 ± 70 años, con la consideración de que la última erupción fue en 1877 y que el tiempo de reposo hasta el 2019 ha sido de 142 años, se esperaría una erupción dentro de los siguientes 45 años (Aguilera & Toulkeridis, 2005). Al esperarse la próxima erupción dentro de un lapso menor a 50 años acorde a la tabla de probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de una eventual erupción del volcán Cotopaxi corresponde a un nivel 5, el más alto, es decir probable.

Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial

Una vez determinadas las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia se determinó el nivel de riesgo y el estado de consentimiento para cada una de las zonas, mediante el cuadro de la Figura 6. La gestión de riesgos es evaluada ante el escenario posible, por lo cual se tomó la consecuencia más catastrófica, es decir con el nivel más alto de severidad en cada una de las zonas; mientras la probabilidad de ocurrencia del evento para todas las zonas de valoración se mantuvo como “probable”.



Figura 6. Evaluación del riesgo desde el ámbito territorial para el lahar

Recomendaciones de planificación territorial

Fueron propuestas una serie de recomendaciones en relación a la planificación territorial, mismas que siguen el proceso para el tratamiento del riesgo que implica tomar acciones dirigidas a evitar, reducir, trasladar o conservar el riesgo, las cuales deben ser aplicadas en ese orden según sea posible su ejecución. Las acciones para tratar el riesgo fueron divididas en dos categorías, aquellas enfocadas en reducir el riesgo en las zonas de valoración y alcanzan una aplicación a nivel predial; y aquellas que si bien reducen el riesgo en las zonas de valoración también reducen el riesgo del resto de la población en ambas ciudades y su aplicación está a nivel del cantón. Estas acciones estuvieron dirigidas a tres áreas de aplicación (AP) que comparten características comunes dentro de la zona de estudio y van enfocadas principalmente a disminuir el número de construcciones de uso particular que se verían comprometidas por el lahar a través de una reubicación; el trasladar y evitar que construcciones que brindan servicios de importancia social, cultural o instalaciones críticas se ubiquen en zonas de afectación y el aseguramiento de los bienes que podrían ser afectados para evitar pérdidas económicas. Además, se asignó el nivel de riesgo correspondiente a cada uno de los predios afectados, donde las zonas 1 y 2 conservaron un nivel de riesgo “Extremo” y un estado de consentimiento de “No conformidad”, mientras por las características de las zonas 3 y 4, y las acciones propuestas el nivel de riesgo bajo a “Alto” y un estado de consentimiento “Discrecional”.

GENERACIÓN DEL SISTEMA CATASTRAL DE RIESGOS

Con la finalidad de integrar información del catastro inmobiliario convencional con información referente a la gestión de riesgos naturales, fue desarrollado el SCR que permite registrar los peligros naturales a los cuales se encuentran expuestas las diferentes unidades espaciales, la valoración del riesgo y las acciones a tomar para tratarlo. Esto no solo ayuda a asentar la información generada sobre riesgos, sino que permite transmitirla a los interesados, entre los cuales se encuentran la ciudadanía, gobiernos locales, gobierno nacional y diferentes organizaciones e instituciones vinculadas ya sea a la administración territorial o la gestión del riesgo, y así puedan tomar las acciones necesarias. El SCR aplica el modelo conceptual de la LADM descrito en la ISO 19152:2012, donde la gestión de riesgos implica una serie de nuevos derechos, restricciones y responsabilidades (RRR por sus siglas en inglés) sobre el predio y sobre quien ejerce la tenencia del mismo, En la Figura 7 se muestra la clasificación de los derechos, restricciones y responsabilidades dados por la gestión de riesgos acorde al esquema de la LADM.

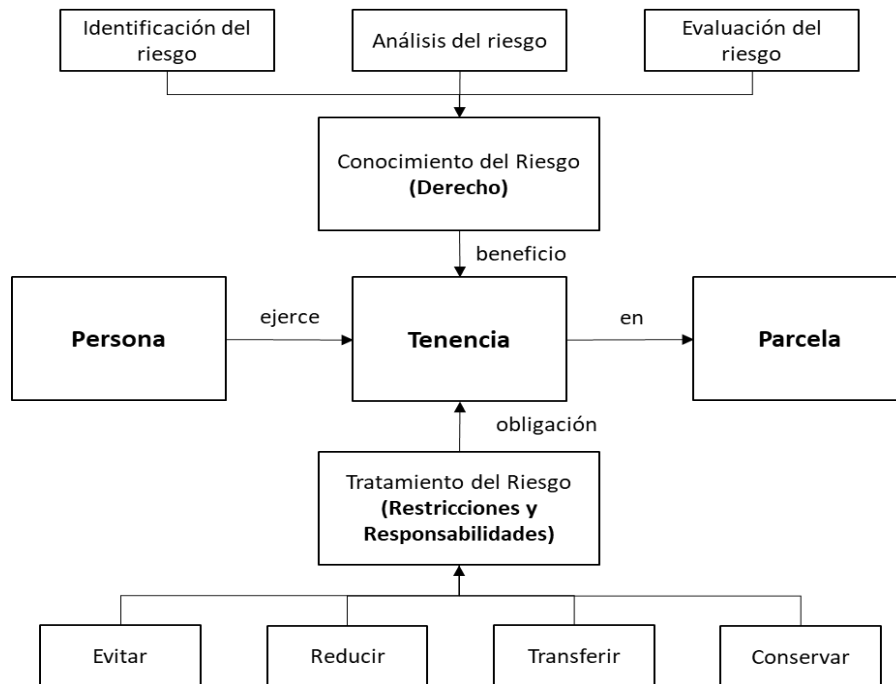


Figura 7. Derechos, restricciones y responsabilidades ligados a la gestión de riesgos

Los derechos, restricciones y responsabilidades varían acorde al nivel territorial al cual está dirigido, en este caso el sistema catastral se encuentra dirigido al nivel predial. La información de riesgos que fue ingresada al sistema catastral se detalló dentro de la ficha catastral de riesgos acorde al área de aplicación (AP) en la que se encuentra el predio, una vez definida la estructura del sistema catastral y la información que sería ingresada, se procedió a su creación con la ayuda del software STDM; fueron generados informes automáticos para cada predio, los cuales poseen un mapa de ubicación del predio, información del predio, del propietario y de la evaluación de riesgos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DATOS GENERADOS

Valoración del riesgo

Una vez determinadas las consecuencias en lo referente a construcciones, construcciones con interés social/cultural, instalaciones críticas, ámbito económico y de salud y seguridad, y aplicar la tabla multi-riesgos para determinar el nivel de consecuencias de cada uno de estos elementos, se obtuvo la severidad del impacto para cada una de las zonas de valoración como muestra la Tabla 3, donde se observa que todas las zonas de valoración resultaron con al menos un parámetro catalogado como catastrófico, sin embargo, es evidente que las principales afectaciones se dan en las zonas 1 y 2, y están especialmente ligadas al alto número de construcciones existentes en la zona de riesgo.

Tabla 3. Severidad del impacto por el lahar en las zonas de valoración

Zona de valoración	Consecuencias	Severidad del impacto
ZONA 1	Social/Cultural	Catastrófico – Todos los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	Catastrófico – Todos los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	Insignificante – No existen IC.
	Económico	Mayor – 1,87 % del PIB del cantón Quito.
	Salud y Seguridad	Catastrófico – 596 muertos, no heridos.
ZONA 2	Social/Cultural	Catastrófico – Todos los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	Catastrófico – Todos los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	Insignificante – No existen IC.
	Económico	Catastrófico – 74,35 % del PIB del cantón Rumiñahui.
	Salud y Seguridad	Catastrófico – 738 muertos, no heridos.
ZONA 3	Social/Cultural	Catastrófico – 26,32% de los ESC están funcionalmente comprometidos.
	Construcciones	Catastrófico – 25% de los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	Insignificante – No existen IC.
	Económico	Mayor – 6,01% del PIB del cantón Rumiñahui.
	Salud y Seguridad	Insignificante – No muertos, no heridos.
ZONA 4	Social/Cultural	Insignificante – No existen ESC.
	Construcciones	Catastrófico – 56% de los edificios están funcionalmente comprometidos.
	Instalaciones críticas	Insignificante – No existen IC.
	Económico	Moderado – 0,28% del PIB del cantón Quito.
	Salud y Seguridad	Insignificante – No muertos, no heridos.

ESC= Edificio con significado social/cultural; IC= Infraestructura crítica; FS= Fuera de servicio; PPCA= Población del pueblo o ciudad afectada; Funcionalmente comprometido= el edificio no puede ser usado para su propósito inmediatamente después del evento.

El nivel de consecuencias en los servicios vitales fue evaluado por separado ya que la afectación a estos servicios se cuantifica a nivel de toda la población y no únicamente dentro de las zonas de valoración. Tras aplicar la tabla multi-riesgos la severidad del impacto para las poblaciones urbanas del GADMUR y el DMQ, los porcentajes de población urbana afectada por el desabastecimiento o paralización de cada servicio es indicado en la Tabla 4, siendo la principal afectación en lo correspondiente al abastecimiento de agua potable, especialmente para el GADMUR.

Tabla 4. Severidad del impacto por el lahar en la población urbana

Población	Consecuencias	Severidad del impacto
DMQ	Agua potable	Catastrófico – El 32,79 % de la población urbana tendría racionamientos por al menos 8 meses.
	Alcantarillado	Insignificante – El 0,64 % de la población urbana no tendría el servicio por tiempo indefinido.
	Electricidad	Insignificante – El 0,64 % de la población urbana no tendría el servicio por al menos 3 meses.
	Transporte	Insignificante – El 0,64 % de la población urbana tendría un servicio limitado por al menos 2 meses.
GADMUR	Agua potable	Catastrófico – El 50 % de la población urbana tendría racionamientos por más de un mes.
	Alcantarillado	Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana no tendría el servicio por tiempo indefinido.
	Electricidad	Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana no tendría el servicio por al menos 3 meses.
	Transporte	Catastrófico – El 29,16 % de la población urbana tendría un servicio limitado por al menos 2 meses.

Tratamiento del riesgo

En los mapas de la Figura 8, se muestran los predios localizados en cada una de las tres áreas de aplicación, así como los niveles de riesgos asignados a los mismos. Se observa que los predios más cercanos al río, como se ve de color rojo en el mapa de la derecha son los más vulnerables y por consiguiente las acciones recomendadas en las AP 1 y AP 2 son más estrictas que las del AP 3.

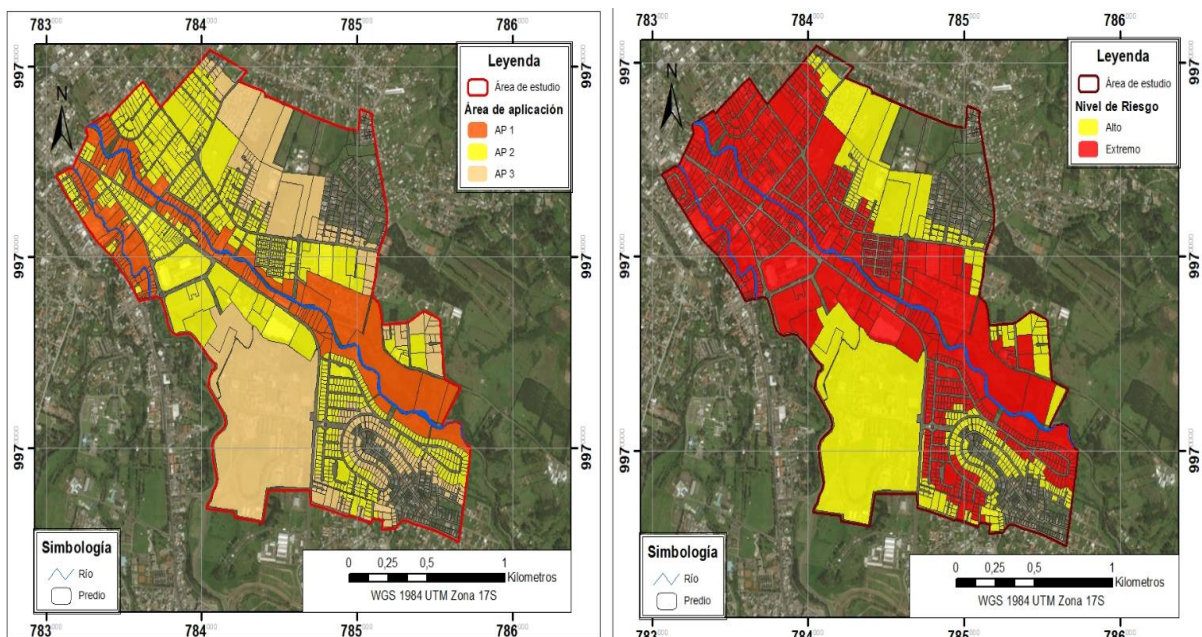


Figura 8. Áreas de aplicación delimitadas a nivel predial (izq.), asignación de los niveles de riesgo a los predios (der.)

En la Tabla 5 están enlistadas las acciones que deberían ser implementadas para tratar el riesgo en cada zona de valoración y el número de predios dentro de cada área de aplicación.

Tabla 5. Acciones específicas para las zonas de valoración y su área de aplicación

Zona de valoración	Acciones	Área de aplicación (AP)	Extensión del AP	Predios
Zona 1 y Zona 2	Reubicación de las personas asentadas justo a las riberas del río para disminuir la cantidad de construcciones afectadas.	AP 1	Predios ubicados a una distancia de hasta 30 m de la ribera del río, se incluyen predios municipales cercanos.	164
	No autorizar construcciones en lotes vacíos y nuevas construcciones en lotes ya ocupados. No permitir la construcción de nuevas IC y CSC. Reubicar en áreas seguras los edificios de uso socio cultural.	AP 2	Predios entre el área AP1 y los límites de las zonas 1 y 2.	726
Zona 3 y Zona 4	Reubicar en áreas seguras los edificios de uso socio cultural. No permitir la construcción de nuevas IC y CSC. Edificios en esta zona deben tener por lo menos dos plantas y deben cumplir especificaciones técnicas dadas por la autoridad	AP 3	Predios pertenecientes a las zonas 3 y 4	269

En lo correspondiente a servicios vitales, la planificación que permita mitigar la severidad del impacto implica la toma de acciones por parte de los municipios y de las empresas o instituciones encargadas de brindar el servicio, siendo la principal afectación en lo correspondiente al abastecimiento de agua potable, especialmente para el GADMUR.

FICHA CATASTRAL DE RIESGOS

De la generación del SCR se obtuvo el modelo conceptual que permite la relación entre información generada por la administración territorial con los datos resultantes del proceso de gestión de riesgos, lo cual se ve reflejado en la Tabla 6, donde se visualiza la ficha catastral de riesgos, misma que indica la estructura e información contenida en la base datos administrada por el SCR y su relación con cada una de las cuatro clases básicas del modelo LADM, cuyos datos son tomados de los catastros inmobiliarios municipales y el resultado de la valoración del riesgo; ítems como la clave catastral sirven de enlace con las otras entidades de la base catastral municipal, mientras los referentes a ubicación y tenencia del predio, ayudan a mejorar la gestión de riesgos. Además, para conocer de la importancia de poner a disposición de todos los interesados la información relacionada a riesgos a través de infraestructuras tecnológicas

territoriales como el catastro, en la encuesta realizada se incluyó una pregunta adicional donde los habitantes señalaron qué tan importante consideran que el gobierno local les proporcione información de los riesgos a los que están expuestas las propiedades en las que habitan o desarrollan sus actividades, a lo que el 94% de los encuestados respondió como muy importante.

Tabla 6. Detalle de la información incluida en la ficha catastral y la base de datos del SCR; y su relación con las principales clases de la LADM.

Información	Área de aplicación			Clases LADM	
	AP 1	AP 2	AP 3		
Riesgos	Peligro	Lahar		LA_RRR (Derechos)	
	Posibilidad	Posible			
	Consecuencias	Catastrófico			
	Nivel de Riesgo	Extremo	Alto		
	Acción requerida	Plan de tratamiento debería ser desarrollado, implementado y evaluado anualmente		Acción inmediata es requerida, la implementación del tratamiento debe ser extensiva y evaluada regularmente	LA_RRR (Restricciones y Responsabilidades)
	Tratamiento	1) Reubicación a zonas seguras	1) No se permiten nuevas construcciones 2) Seguro contra riesgos obligatorio	1) No se permiten construcciones con fines social, cultural o instalaciones críticas 2) Construcciones particulares deben cumplir características dadas por la autoridad 3) Seguro contra riesgos opcional	
Catastro	Ubicación	Clave catastral*		LA_SpatialUnit	
		Cantón*			
		Dirección*			
	Tenencia aspectos legales	Régimen de tenencia*		LA_Party	
		Propietario*			
Objeto catastral	Predio**		LA_BaUnit		

* El dato cambia según la base catastral inmobiliaria, **Indica la unidad espacial en la que se está trabajando

CONCLUSIONES

El concepto de Administración del Territorio es poco utilizado a nivel regional, dificultando el adecuado trabajo de los sistemas de información desarrollados para el cumplimiento de sus funciones tradicionales como son la tenencia, la valoración, el uso y desarrollo del territorio; y aún más, la explotación de su verdadero potencial que puede ser aplicado en otras áreas que utilizan como base la información territorial.

La gestión de riesgos en el Ecuador está principalmente enfocada a la respuesta de emergencias y no tanto a la prevención, aun cuando este último ha demostrado ser el mejor y más efectivo método para reducir los efectos devastadores de los desastres naturales, especialmente a través de una óptima planificación y desarrollo del territorio. La falta de una gestión de riesgos integral ha desembocado en la falta de procesos y metodologías capaces de garantizar una adecuada gestión de riesgos, especialmente desde el ámbito territorial.

Existe una estrecha relación entre la administración del territorio y la gestión de riesgos, que se evidenció durante el desarrollo del presente trabajo, al mostrar la utilidad y aplicabilidad de la información y herramientas utilizadas, como el modelo LADM, los sistemas catastrales, elementos informáticos como el STDM y la capacidad de generar normas y políticas territoriales. El uso de información y aplicación de herramientas utilizadas por los sistemas de administración territorial en el proceso de gestión de riesgos permite una planificación territorial más eficiente al considerar acciones que ayuden a reducir el riesgo por peligros de origen natural, así como la difusión de la información disponible a todos los interesados que requieren de ella.

El modelo LADM permite trabajar de acuerdo con diferentes niveles territoriales, de los que dependen los derechos, responsabilidades y restricciones que pueden ser tomados. Para el caso de estudio presentado, el nivel óptimo fue el de los GADs municipales, ya que al ser uno de los objetivos alcanzar una gestión de riesgos a nivel predial. Por ley, los GADs municipales en el Ecuador están a cargo de los catastros inmobiliarios, además de la gestión de riesgos dentro de su circunscripción territorial; cuentan con la información así como con las herramientas necesarias para la aplicación de la metodología propuesta para cumplir de forma óptima con sus obligaciones.

Las herramientas de administración territorial no solo ayudan en el proceso de gestión de riesgos, sino que facilitan la gestión de la información resultante de este procedimiento, permitiendo asentar la planificación propuesta de forma efectiva en el territorio, como se demostró a través de la generación de un sistema catastral basado en el modelo LADM, donde el riesgo determinó nuevos derechos, restricciones y responsabilidades para quienes ejercen la tenencia de los predios. Además, los sistemas catastrales permiten poner en conocimiento de los diferentes usuarios la información referente a riesgos, como se hizo a través del SCR y la generación de Informes Prediales de Riesgo.

La metodología propuesta para la gestión de riesgos naturales en el territorio permitió obtener una completa valoración de los potenciales daños relacionados con el peligro volcánico de los lahares del volcán Cotopaxi en el valle de Los Chillos, evidenciándose que el 100% de las construcciones de las zonas 1 y 2, ubicadas a las riberas del río Pita se encuentran funcionalmente comprometidas; Rumiñahui es el cantón con mayor afectación y pérdidas económicas. El servicio de agua potable es el más afectado, llegando a ocasionar potenciales racionamientos de líquido vital para el 32,79% de la población urbana de Quito y de más del 50% de la población urbana de Rumiñahui, en ambos casos por varios meses.

REFERENCIAS

- Aguilera, E. y Toulkeridis, T. (2005) *Prevención de riesgos asociados con la erupción del volcán cotopaxi 2004 - 2005*. Quito: Fundación para el Desarrollo Socioambiental FOES.
- Baas, S., Ramasamy, S., Dey de Pryck, J. y Battista, F. (2008) *Disaster risk management systems analysis*. 13 ed. Roma: FAO Environment and Natural Resources Service Series.
- Correa, E., Ramírez, F. y Sanahuja, H. (2011) *Populations at risk of disaster: a resettlement guide*. Whashington: The World Bank.
- Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. (2014) *Informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. Ginebra: IPCC.
- Mitchell, D. (2011) *Assessing and responding to land tenure issues in disaster risk management: training manual*". Roma: FAO.
- Mitchell, D., Myers, M. y Grant, D. (2014) " Land valuation: a key tool for disaster risk management". *LAND TENURE JOURNAL*, Volumen I, pp. 36-69.
- Narváez, C. (2007) *Desarrollo de la metodología para el análisis de vulnerabilidad ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Postgrado en Ingeniería y Ciencias.
- Organización de Esatdos Americanos - OEA. (1991) *Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños*. Washington: Organización de los Estados Americanos.
- Padilla, O. (2017) *Cálculo de los tiempos de evacuación horizontal y vertical en caso de una eventual erupción del volcán Cotopaxi*. Alcalá de Henares(Madrid): Universidad de Alcalá; Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente.
- Peña, M. (2016) *Análisis de vulnerabilidad y mitigación de riesgos estructurales en las infraestructuras de abastecimiento de agua, en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), en caso de erupción del volcán Cotopaxi (Ecuador)*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil.
- Potts, K. E. (2013) *Using land administration for land risk management*. Melbourne(Victoria): The University of Melbourne.
- Rodriguez, F. y otros. (2016) "Economic risk assessment of Cotopaxi volcano, Ecuador, in case of a future lahar emplacement". *Natural Hazards*, pp. 605-618.
- Rojas, R. (2013) *Metodología para incorporar cambio climático y gestión del riesgo de desastres en procesos de ot. s.l.:GIZ GmbH–Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*.
- Saunders, W., Beban, J. y Kilvington, M. (2013) *Risk-based land use planning for natural hazard risk reduction*. Lower Hutt: Institute of Geological and Nuclear Sciences Limited.
- Saunders, W. y Kilvington, M. (2016) "Innovative land use planning for natural hazard risk reduction: a consequence-driven approach from New Zealand". *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Issue 18, pp. 244-255.

Tibanlombo, J. y Villacís, A. (2013) *Aplicación y sistematización de la propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad de la parroquia Sangolquí, del cantón Rumiñahui*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

Unger, E. y otros. (2019) *Creating resilience to natural disasters through ffp land administration – an application in Nepal*. Washington DC: 20th Annual World Bank Conference on Land and Poverty 2019.

Unger, E. M., Zevenbergen, J., Bennett, R. y Lemmen, C. (2019) "Application of LADM for disaster prone areas and communities". *Land Use Policy*, January, 80, pp. 118-126.

UNISDR AM. (2016) *Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990 – 2013*. Panamá: United Nations Office for Disaster Risk Reduction – Regional Office for the Americas (UNISDR AM).

Vargas, D. y Ramírez, F. (2009) *Incorporando la gestión del riesgo de desastres en la planificación y gestión territorial*. Lima: Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN.

DETECCIÓN DE CAMBIOS POR PARCELA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE BBDD DE USOS DEL SUELO MEDIANTE IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN Y SENTINEL-2.

DETECTION OF CHANGES BY PLOT FOR THE UPDATE OF LAND USE DATABASES USING HIGH RESOLUTION IMAGES AND SENTINEL-2

Sergio Andrade

Universidad Politécnica de Valencia, España; sdas_1189@yahoo.es

Recibido: 03 de octubre 2019

/ Aceptado: 16 de diciembre 2019

RESUMEN

Uno de los elementos básicos para el análisis, gestión y planificación del territorio es contar con información actual y con ello de una buena cartografía de usos de suelo. Los procesos de actualización de bases de datos de usos del suelo suelen ser costosos por lo que las técnicas de observación remota de la Tierra sirven de ayuda. En el presente trabajo se pretende obtener mediante análisis multitemporal de imágenes SENTINEL-2 nivel 2A, correspondientes a los municipios de Torrente, Godolleta y Silla, la obtención de variables temporales a partir de NDVI, SAVI, EVI, bandas 2, 3, 4 y 8 de 14 fechas del año 2016. La generación de variables temporales es realizada con la finalidad de aportar variables dinámicas a las variables extraídas de imágenes de alta resolución como lo son las ortofotos PNOA del 2008 - 2015 para clasificar el uso de suelo de mejor manera y con ello poder determinar parcelas catastrales con cambio en el uso de suelo con el fin de identificar de forma inmediata los sectores de mayor cambio en caso de que se desee actualizar la cartografía de manera convencional a través de fotointerpretación, de modo que este producto facilite y reduzca los tiempos de ejecución y mantenimiento respecto a la actualización de la base cartográfica.

Palabras clave: Base de datos; imágenes alta resolución; Sentinel-2, análisis multitemporal; uso de suelo.

ABSTRACT

One of the basic elements for the analysis, management and planning of the territory is to have current information and with it a good cartography of land uses. The updating processes of land use databases are often expensive, so the remote observation techniques of the Earth can help. In the present work, it is intended to obtain, through multitemporal analysis of SENTINEL-2 level 2A images, corresponding to the municipalities of Torrente, Godolleta and Silla, obtaining temporal variables from NDVI, SAVI, EVI, bands 2, 3, 4 and 8 of 14 dates of the year 2016. The generation of temporary variables is carried out in order to provide dynamic variables to the variables extracted from high resolution images such as the PNOA orthophotos 2008 - 2015 to classify land use in a better way and with this, to be able to determine cadastral parcels with a change in the use of land in order to immediately identify the sectors of greatest change in case you want to update the cartography in a conventional way through photointerpretation, so that this product facilitates and reduce the execution and maintenance times with respect to updating the cartographic database.

Keywords: Database; high resolution images, Sentinel-2, multitemporal analysis, land use.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de tener información cartográfica digital actualizada ha aumentado y la disponibilidad de dispositivos de gestionarla es cada vez mayor, además del aporte de información de nuevos sensores que proporcionan información más detallada o con alta temporalidad en busca de satisfacer las necesidades de los usuarios. Con la disponibilidad de estos recursos es necesario poseer una cartografía de usos de suelo actualizada e integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), puesto que es uno de los elementos básicos en la toma de decisiones políticas, analizando el territorio para su gestión y planificación.

La extracción de información proveniente de imágenes es un proceso costoso y fundamentalmente manual, aunque los esfuerzos por conseguir una automatización parcial o total se ha incrementado con el fin de minimizar costes económicos y temporales en la producción de cartografía e incrementar la productividad y estar a la par de la demanda exigida (Recio J. 2009). En consecuencia, no sólo es necesario poseer una buena cartografía de usos de suelo respecto a su calidad, sino también a su grado de actualización.

Existen algunos proyectos para cartografiar el uso o la cobertura del territorio, de ámbito global (MODIS Land Cover), regional (CORINE) y local (SIOSE) con sus respectivas escalas y metodologías, pero es necesario acotar que como factor común para la extracción de información es necesario el uso de fotointerpretación digital. Si bien se utiliza algún insumo de clasificación automática proveniente de imágenes, es tomado como información secundaria como apoyo en el proceso de fotointerpretación (Recio J. 2009).

Con la aparición de sensores de alta resolución espacial como Ikonos, Quickbird, GeoEye y WorldView que permiten poseer resoluciones antes solo conseguidas con ortofotografías han hecho posible la extracción de información para cartografiar a escalas mayores y la aplicación de novedosas variables debido a la alta resolución espacial de estos nuevos sensores (Recio J. 2009)..

Lo que el presente trabajo propone realizar es la detección e identificación de los cambios ocurridos entre distintas fechas con la ayuda de imágenes de alta resolución y el apoyo de información multitemporal proporcionada por el sensor SENTINEL-2 para el municipio de Torrente, Godelleta y Silla mediante la clasificación de imágenes por parcelas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Torrente (en valenciano y oficialmente Torrent) es un municipio de la Comunidad Valenciana, perteneciente a la provincia de Valencia, situado en el área metropolitana de Valencia en la comarca de la Huerta Oeste. Con 80 630 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2017), se trata del municipio con más población de la provincia de Valencia (exceptuando a Valencia, la capital de la provincia) (Figura 1).

Godelleta, es un municipio de la Comunidad Valenciana, perteneciente a la provincia de Valencia y situado en la comarca de la Hoya de Buñol. Posee una población de 3 391 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2017). Situado en el sector sureste de la comarca, la superficie del municipio comprende monte y llano, aun cuando su orografía no es intrincada.

Silla se encuentra a 10 km de Valencia, al sur de la comarca de l'Horta Sud. La extensión del término municipal es de 24 km² y limita, al norte, con los municipios de Albal y Beniparrell; al sur, con los de Almussafes y Sollana; al oeste, con Alcásser y Picassent, y al este, con el lago de la Albufera (Ayuntamiento de Silla, 2018).

Silla tiene una población de 16 169 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2017). Se caracteriza por el predominio de la población joven y por una tasa de actividad y ocupación superior a la media de la Comunidad Valenciana.

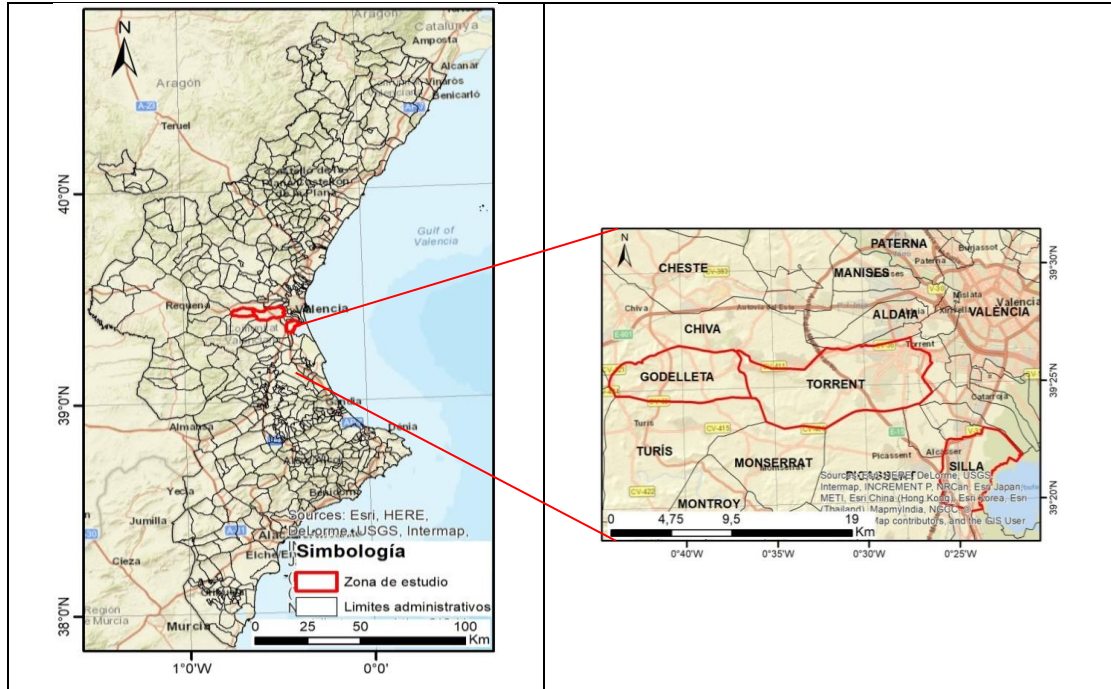


Figura 1 Área de estudio

3. METODOLOGÍA

3.1. DEFINICIÓN DE LA LEYENDA.

Se realizó la verificación de información secundaria como el mapa de cultivos y aprovechamiento de España 1: 50 000, así como también información correspondiente al SIOSE de la ocupación de suelo, tomando como referencia el nivel 4 que jerárquicamente es el que mayor detalle aporta. En base al análisis de la información secundaria, se decidió crear una leyenda simple que abarque 12 categorías: canales de agua, cítricos, coníferas, frutales no cítricos, matorral, olivar, pastizal, polígono industrial, red viaria, suelo desnudo, urbano y viñedos. Se debe indicar que para otras pruebas explicadas a continuación se agregó la categoría de arroz y se excluyó a canales de agua.

3.2. SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS.

Se toma como base a las parcelas descargadas de la Dirección General de Catastro en rústica y urbana para ser unidas en un solo archivo del cual el municipio de Torrente posee 22 210 parcelas, a las que hay que sumar 251 parcelas provenientes de Silla y Godella para el presente estudio. Con la ayuda de ortofotos del 2012 más información secundaria como SIOSE 2010 y el mapa de cultivos y aprovechamientos de España se seleccionaron 2 130 parcelas, siendo cerca del 10,5 %, del universo en estudio. El tipo de muestreo fue aleatorio estratificado ya que se tomó en cuenta la representatividad de cada clase en base a la cantidad de parcelas pertenecientes a categorías similares por parte de información secundaria.

Además, se debe indicar que, para las clases urbano, cítricos y suelos desnudos cada una

de ellas contiene un grado de subdivisión explicada a continuación: urbana contiene a las clases casco urbano histórico, ensanche y urbano discontinuo; cítricos, contiene a cítricos joven como a cítricos maduros; suelo desnudo, contiene a suelo oscuro, claro y con algo de vegetación. Se aclara que esta subdivisión fue realizada para mejorar la clasificación puesto que existen diferencias espectrales a pesar de ser una misma clase o existía confusión entre ellas y fueron unidas en una categoría más general de modo que una vez extraídas las muestras y generado el modelo se unen para formar su respectiva clase.

Las muestras de imágenes de alta resolución y Sentinel-2, se volvieron a seleccionar 819 muestras sólo para el año 2015 seleccionándose parcelas de Godelleta y Silla de modo que incluyan las categorías de viñedos y arroz respectivamente y que cada categoría sea lo más significativa posible. Se verificó que las muestras fotointerpretadas correspondan a la misma categoría tanto en 2015 como en 2016 para Sentinel-2.

3.3. IMÁGENES DE ALTA RESOLUCION ESPACIAL

3.3.1. *Bloque fotogramétrico y generación de ortomosaicos.*

El Instituto Geográfico Nacional y Centro Nacional de Información Geográfica (IGN-CNIG) proporcionó 354 fotogramas correspondientes a los municipios de Torrente, Silla y Godelleta del año 2015 puesto que no es posible descargar ortofotomosaicos con información espectral, que contenga al infrarrojo, en la web en el caso del año 2015. Para el año 2008 se cuenta con ortofotografías con información espectral adecuada. Fue necesario realizar el proceso de orto rectificación para 67 fotogramas que cubren el área de estudio.

Se empleó el software ERDAS con la extensión LPS para el ajuste del bloque aerofotogramétrico. De la página web fototeca digital de IGN (<https://fototeca.cnig.es/>) se descargó el certificado de calibración de la cámara (UltraCam XpWa, S/N UC-SXp-wa-30416083) así como también un archivo .shp con los centros procesados de cada fotograma, es decir sus coordenadas UTM (Este, Norte y altura) con sus respectivos ángulos de rotación (omega, phi, Kappa) para el ajuste y generación de ortofotos.

En el proceso de generación del bloque fotogramétrico, los centros procesados ingresados no permitieron realizar una orientación externa adecuada por lo que fue necesario tomar puntos de control tomando como referencia la ortofotografía 2008 para realizar la orientación externa. Fueron necesarios 183 puntos de control para poder realizar la orientación externa de todo el conjunto de fotogramas, además se descargó y utilizó el MDT (modelo digital de terreno) de cada uno de los municipios de la página del ICV en la generación de las ortofotografías y generar con ellos un ortofotomosaico de cada municipio.

Se debe indicar que el ajuste obtenido fue realizado por línea de vuelo, consiguiendo errores medios cuadráticos por debajo de 2 píxeles en cada línea de vuelo ajustada.

3.3.2. *Extracción de variables espectrales, de textura y forma.*

FETEX 2.0 es un software para la extracción automática de características descriptivas de las propiedades de textura, espectrales, de forma y estructurales de fragmentos de imágenes u objetos-imagen (Ruiz et al., 2011)

Está orientado a la caracterización de objetos cartográficos (parcelas, sub-parcelas, polígonos, etc.), definidos a partir de ficheros vectoriales (shapefiles), así como a imágenes de satélite de alta resolución (QuickBird, Ikonos, WorldView, etc.) y fotografías aéreas C, IR. Así, por ejemplo, con una imagen multispectral y el parcelario definido por la cartografía

catastral como datos de entrada (input), genera una tabla ASCII (output) con los valores de las características o atributos calculados de forma automática a partir de las imágenes para cada una de las parcelas catastrales. Este resultado puede introducirse posteriormente en un software de clasificación.

Gran parte de las características obtenidas son novedosas y se basan en métodos de cálculo avanzados, especialmente las características estructurales, que permiten describir numéricamente la distribución espacial de los elementos presentes en un objeto/parcela, como por ejemplo: Espectral: Características estadísticas espectrales que informan sobre la respuesta radiométrica de una parcela; textura: características de textura que describen la distribución espacial de los niveles de gris correspondientes a los píxeles de una determinada región. Basadas en la intensidad de bordes, la forma del histograma y la matriz de concurrencias de los niveles de gris; Wavelet: Características de textura calculadas a partir de los detalles de la descomposición en wavelets de la imagen; Semivariograma: Características estructurales calculadas a partir de la semivariograma, que describe la regularidad de los elementos internos de una parcela; Hough: Características estructurales calculadas a partir de la transformada de Hough y de las posiciones de los árboles de una parcela para la caracterización de marcos de plantación u otras estructuras con patrones geométricos; Forma: Características de forma del objeto. Describen las propiedades geométricas de los objetos, complejidad o elongación de su contorno, etc.; Database features: características auxiliares directamente tomadas de la información de la base de datos analizada (Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección, 2018).

Se ingresa el parcelario en formato shp a FETEX 2.0 al igual que los ortofotomosaicos respectivos para cada fecha, se seleccionan en el software las muestras, así como un identificador para cada parcela.

3.3.3. Clasificación mediante árboles de decisión.

Weka es una colección de algoritmos de aprendizaje automático para tareas de minería de datos. Los algoritmos se pueden aplicar directamente a un conjunto de datos o llamar desde su propio código Java. Weka contiene herramientas para el pre-procesamiento de datos, clasificación, regresión, clustering, reglas de asociación y visualización. También es adecuado para desarrollar nuevos esquemas de aprendizaje automático. Weka es un software de código abierto emitido bajo la Licencia Pública General de GNU (The University of Waikato, 2015).

Fetex 2.0 utiliza como formato archivos de salida de fichero .arff que es el indicado para Weka. Se realizó la creación de árboles de clasificación de las características anteriormente extraídas con la opción SIMPLE CLI que permite ingresar código de java.

En el siguiente paso se detalla la creación de árboles de decisión y evaluación con las muestras de aprendizaje y evaluación con las muestras de aprendizaje además de validarlas mediante validación cruzada a través de los siguientes comandos para cada uno de los años:

```
java weka.classifiers.meta.AdaBoostM1 -t C:\ORTO_2008\shp\orto_08.arff -W weka.classifiers.trees.J48 >
C:\ORTO_2008\shp\resulta.txt
java weka.classifiers.meta.AdaBoostM1 -t C:\ORTO_2015\PROCESOS\orto2015.arff -W weka.classifiers.trees.J48 >
C:\ORTO_2015\PROCESOS\resulta.txt
```

Una vez conseguido el árbol de clasificación se procede a clasificar el resto de parcelas a través del comando:

```
java weka.classifiers.meta.AdaBoostM1 -t C:\Trabajo\shp\screen\sin_identif.arff -T
C:\Trabajo\shp\screen\sin_identif.arff -p 0 -W weka.classifiers.trees.J48 > C:\Trabajo\shp\screen\resulta2.txt
```

Como resultado se obtiene un archivo de texto que posee el mismo orden que el archivo original, con lo que puede ser vinculado a través del identificador de la parcela y de este modo tener la clasificación predicha para todas las parcelas, en la Figura 2 se muestra una fracción del archivo que indica su identificador, su estado actual, el predicho, así como el porcentaje de certeza con la que se asignó a una determinada clase.

```
=== Predictions on test data ===

inst#      actual  predicted error prediction
-----
1          1:?  2:Citricos_joven      0.904
2          1:? 13:Suelo_claro        1
3          1:?  2:Citricos_joven      0.715
4          1:?  6:Frutales_no_citricos 1
5          1:? 13:Suelo_claro        0.999
6          1:?  6:Frutales_no_citricos 0.998
7          1:?  3:Citricos_maduro      1
```

Figura 2. Fragmento del archivo de clasificación predicha por el software Weka.

Cabe indicar, que el procedimiento fue el mismo para ambas fechas obteniendo cada una sus respectivos ficheros a ser vinculados con los parcelarios respectivos de cada año. Además se unificaron ciertas clases como cítrico joven y maduro por cítricos; centro histórico, ensanche y urbano discontinuo por urbano; así como también suelo vegetación, suelo claro y suelo oscuro por suelo desnudo.

Se realizó la matriz de confusión, seleccionándose un total de 2 130 parcelas de las cuales se obtuvo una fiabilidad global del 90 % y un coeficiente kappa del 0,85 para la clasificación de uso del suelo obtenida en 2008 y para 2015 se obtuvo una fiabilidad global de 80,32 % y un coeficiente Kappa de 0,69.

3.4. PROCESADO DE IMÁGENES SENTINEL-2.

Se realizó la descarga de 14 imágenes Sentinel-2A desde la página web de Copernicus, de la zona de estudio del año 2016 con nivel de procesamiento L1C de fechas: 12 de enero, 12 de marzo, 11 de abril, 21 de abril, 1 de mayo, 14 de junio, 10 de julio, 30 de julio, 10 de agosto, 19 de agosto, 18 de septiembre, 8 de octubre, 7 de noviembre y 27 de diciembre. Dichas imágenes fueron sometidas a corrección atmosféricas con Sen2cor, pasa de un nivel de procesamiento L1C a un 2A, realizando la corrección atmosférica, correcciones de cirrus en el techo de la atmosfera (L1C), pasándola a la parte baja de la atmósfera y corrección de reflectancia de cirrus en las imágenes (European Space Agency, 2017).

3.4.1. Generación de variables temporales.

Una vez adquiridas las 14 imágenes SENTINEL L1C y procesadas a nivel L2A, se procedió a realizar el recorte de las mismas de acuerdo al área de estudio. De forma posterior se calcularon algunos índices temporales como el índice normalizado de vegetación (NDVI), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) y el índice de vegetación mejorado (EVI) por medio de 2 de las 4 bandas de resolución espacial de 10 metros.

Tabla 1. Índices espectrales usados.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN	FÓRMULA	REFERENCIA
Índice de vegetación normalizado (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO}$	(Huete et al., 2002).
Índice de vegetación mejorado (EVI)	$EVI = 2.5 \frac{NIR - ROJO}{NIR + 6 * ROJO - 7.5 * AZUL + 1}$	(Huete et al., 2002)
Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	$SAVI = \frac{1.5 * (NIR - ROJO)}{NIR + ROJO + 0.5}$	(Huete & Justice, 1994)

Con estos tres índices calculados para cada imagen en las 14 fechas se consiguieron un total de 42 imágenes correspondientes a NDVI, SAVI y EVI de las distintas fechas además de la información que aporta cada una de las bandas (2, 3, 4 y 8) de SENTINEL.

Con una de las herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG), se generó una malla de modo que cada cuadrícula coincida con cada píxel, al igual que se creó un centroide por cada cuadrícula con el fin de extraer la información de cada píxel de las distintas imágenes generadas y transferir esa información a su respectiva cuadrícula.

Una vez extraída la información se intersecó con las parcelas catastrales de modo que cada parcela contiene información de las distintas variables generadas. Además se desarrolló un script en Python que permite acceder a los distintos campos con la información almacenada para realizar la media ponderada respecto al área que ocupa cada píxel (cuadrícula) en la parcela, sacando como resultado un archivo en formato .csv.

Como ejemplo de la utilidad de las variables temporales extraídas, en la figura 6 se utiliza la variable NDVI con información de las 14 fechas en días julianos (12, 72, 102, 112, 122, 158, 192, 212, 222, 232, 262, 282, 312, 362) en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas los valores de NDVI registrados en algunas parcelas de categorías con cobertura vegetal (arroz, cítricos, matorral, pastizal, viñedos, olivar y coníferas) de este modo se observa el comportamiento temporal de los valores de NDVI en las distintas categorías (Figura 3). De este modo los valores de NDVI como variable temporal permiten discriminar entre las distintas clases.

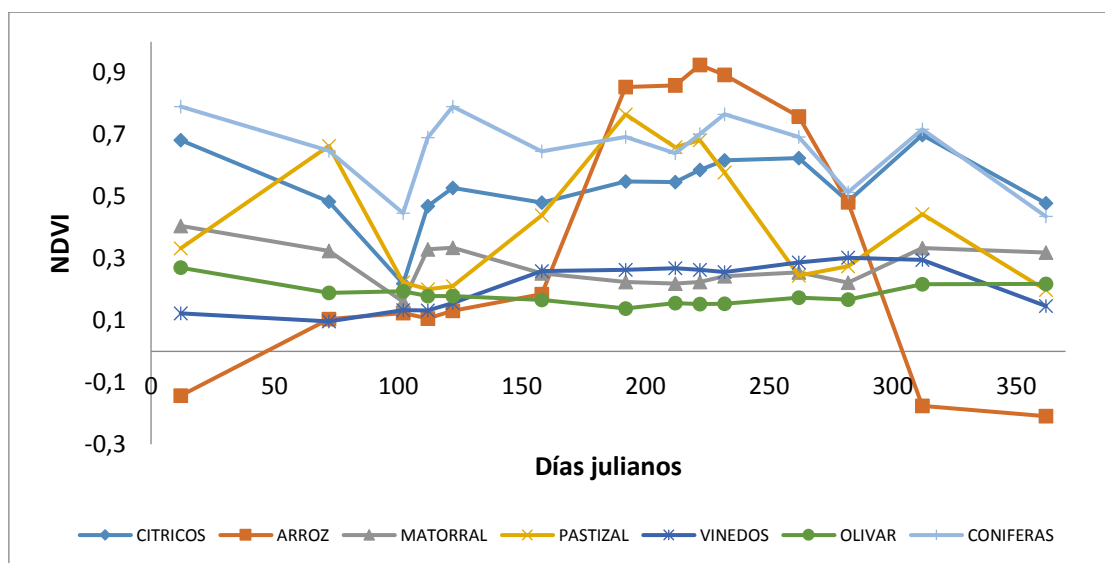


Figura 3. Comportamiento temporal del NDVI en categorías con cobertura vegetal.

Con el archivo resultante además de poseer información de las 14 fechas como el NDVI, SAVI, EVI, bandas 2, 3, 4 y 8, se pudieron generar nuevas variables como la pendiente entre fechas continuas, tomando como ejemplo el NDVI:

$$PEN = \frac{NDVI2 - NDVI1}{\# \text{ de días transcurridos entre fechas}} \tag{1}$$

Obteniendo con ello 13 datos más por variable en cuanto a la variable pendiente, es decir 91 datos. En la figura 16 se muestra como ejemplo el comportamiento temporal del NDVI para las clases arroz y coníferas en donde en el eje de las abscisas están las fechas en días julianos y en el eje de las ordenadas los valores de NDVI. Para la categoría arroz el cambio de pendiente entre los días 192 y 158 (enmarcados en el círculo rojo en la Figura 4) es significativo así como también entre los días 282 y 262; para la categoría coníferas un cambio de pendiente significativo ocurre entre los días 102 y 72, con lo que se demuestra que la variable pendiente aporta información discriminante entre categorías.

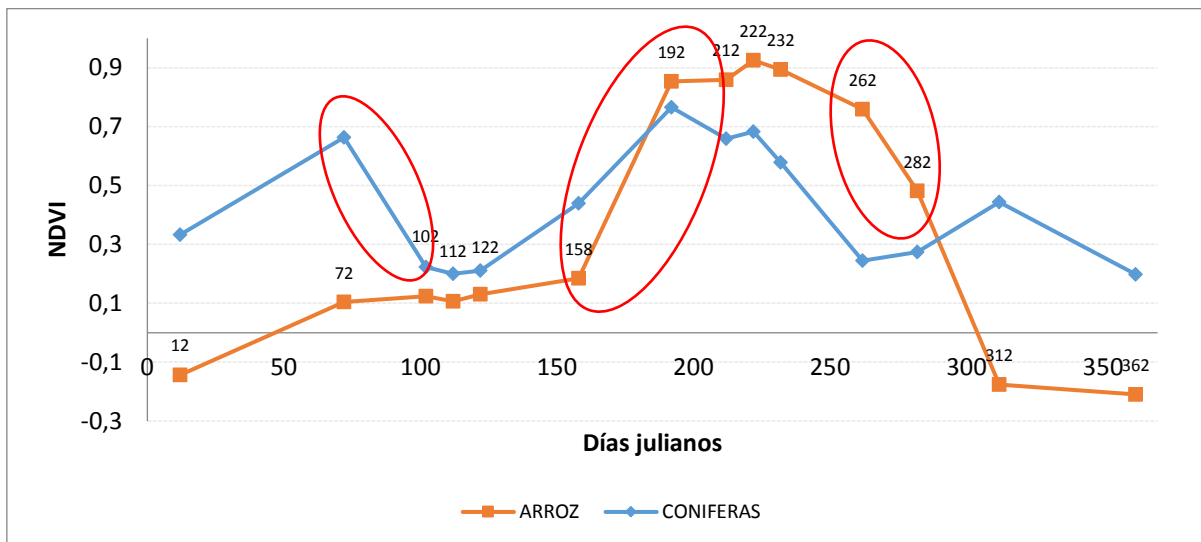


Figura 4. Ilustración del cambio de pendiente entre las categorías arroz y coníferas representado a través de la fluctuación temporal del NDVI.

Adicionalmente se generó para cada variable el área bajo la curva, tomando en cuenta que cada variable posee 14 datos representados en el eje de las ordenadas y en el eje de las abscisas el tiempo (días julianos), se calcula el área realizando la siguiente operación:

$$AREA = \frac{NDVI2 + NDVI1}{2} * \# \text{ Días transcurrido entre fechas} \tag{2}$$

En la Figura 5 se muestra un ejemplo entre las categorías arroz y cítricos con sus respectivas áreas proyectadas, mostrándose en color rojo el área de la categoría arroz y en color azul el área de los cítricos, de manera que esta variable también aporta información que ayuda a discriminar entre las distintas categorías.

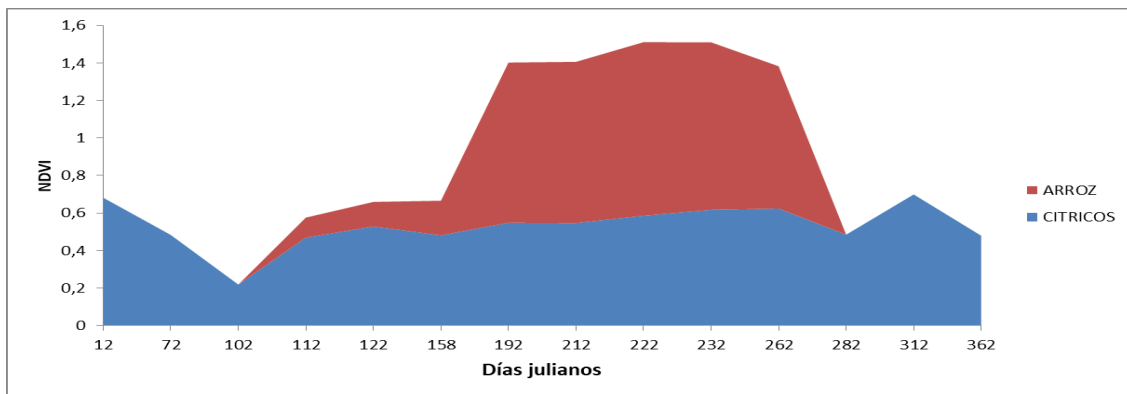


Figura 5. Área bajo la curva entre las categorías arroz y cítricos.

Se observó que el área bajo la curva entre el 1 de mayo y 21 de abril correspondientes a los días julianos 122 y 112 así como del 18 de septiembre y el 10 de julio correspondientes a los días julianos 262 y 192 proporcionan cierta discriminación entre coberturas vegetales por lo que también fueron agregadas como variables temporales, llamándolas AREA_ND1 y AREA_ND2 respectivamente. La Figura 6 muestra un ejemplo del comportamiento del NDVI en todas las categorías, así como también los segmentos de área a ser considerados como nuevas variables de área bajo la curva, indicados en líneas de color rojo.

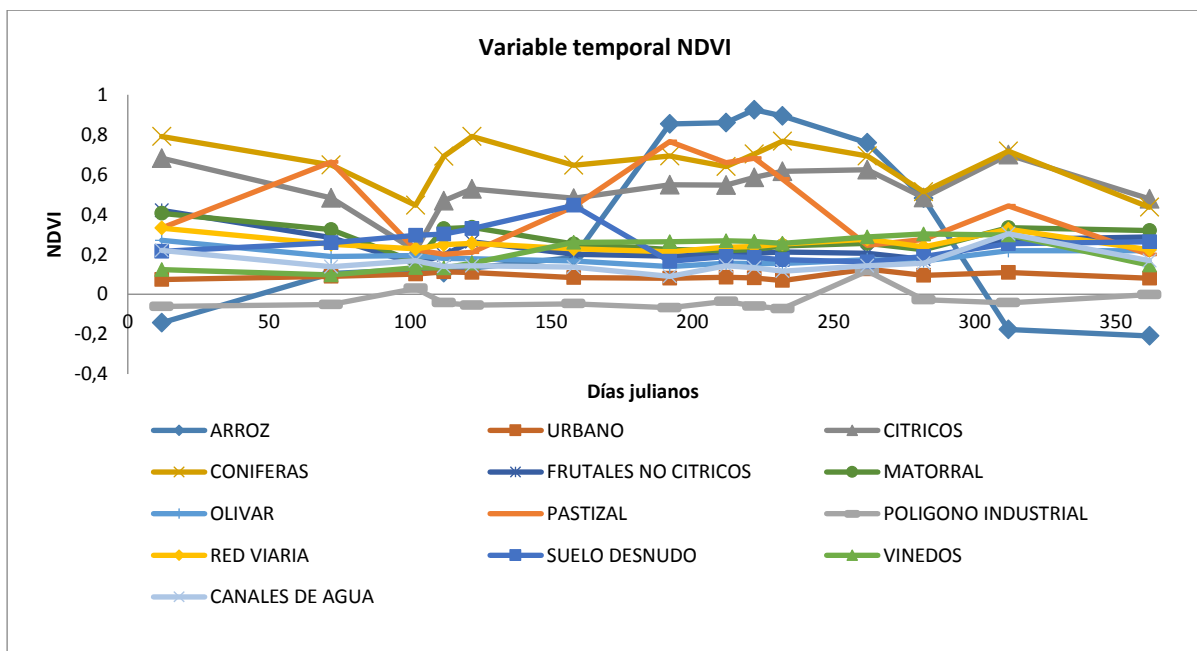


Figura 6. Comportamiento de la variable temporal NDVI en las 13 categorías, en color rojo se muestran los segmentos de área a ser considerados como nuevas variables temporales

Se generaron también datos estadísticos como la media y desviación estándar de las 14 fechas asignadas a cada variable (NDVI, SAVI, EVI, bandas 2, 3, 4 y 8) así como también de sus 13 datos correspondientes a pendientes de cada variable (NDVI, SAVI, EVI, bandas 2, 3, 4 y 8), es decir se consiguieron 28 datos más. Por ejemplo se consiguió la media del NDVI y de su pendiente, su desviación estándar del NDVI como de su pendiente.

En breves rasgos se consiguieron 98 variables de la extracción de información en el archivo csv, adicionalmente se sumaron 91 variables de pendiente, 9 variables de área y 28

variables estadísticas de cada una, acumulando un total de 226 variables.

3.4.2. Selección de variables temporales.

Puesto que los datos parten de distintas fechas y estas a su vez están vinculadas a distintas variables, para simplificar la literatura se enumeraron a las variables en orden cronológico como por ejemplo el NDVI del 12 de enero se lo llamó NDVI_1 hasta llegar al NDVI del 27 de diciembre que será NDVI_14, obteniendo un total de 226 variables generadas.

Al realizar el análisis discriminante de los 98 datos del archivo csv, la banda 3 de fecha 19 de agosto era linealmente dependiente con otras variables por lo que fue descartada del proceso y se ingresaron las 97 variables con lo que se obtuvo un 92,43 % de datos correctamente clasificados. Es necesario verificar que no exista correlación para evitar información redundante. Se generó la matriz de correlaciones entre las variables con lo que se pudo concluir que el NDVI y SAVI al poseer un valor de uno como coeficiente de correlación puesto que SAVI resulta ser combinación lineal a NDVI, una de las 2 debe ser eliminada. Respecto a NDVI y EVI existe una ligera diferencia, pero su correlación es muy fuerte como por ejemplo entre NDVI_1 y EVI_1 al igual que NDVI_13 y EVI_13 poseen una correlación de 0,98 siendo las que menor correlación poseen, el resto de variables poseen una correlación de 0,99 por lo que en la práctica no aportan ninguna información adicional.

De la misma manera se analizaron las correlaciones entre bandas, observándose una alta correlación entre la banda 2 y 3, oscilando entre 0,96 a 0,99; la correlación entre la banda 2 y 4 disminuye respecto a la anterior, oscilando entre 0,97 y 0,76; no existe correlación entre la banda 2 y 8 ya que la mayoría de valores son cercanos a 0. Del mismo modo se analizó las correlaciones de la banda 3 con la 4, que oscila entre 0,98 y 0,83; las correlaciones entre la banda 3 y 8 fluctúan entre 0,91 y 0,18. Las correlaciones entre la banda 4 y 8 oscilan entre 0,89 y 0,22. En resumen existe una alta correlación entre la banda 2 y 3, ligeras correlaciones entre las bandas 2 - 4, banda 3 - 4 y correlaciones muy bajas con la banda 8.

Respecto a los índices se seleccionó al NDVI puesto que en su tabla de clasificación con las 14 fechas obtiene un 72,77 % de datos bien clasificados, SAVI queda descartado por su alta correlación con NDVI. EVI obtuvo en la tabla de clasificación un 67,11 % además de tener una alta correlación con NDVI por lo que se seleccionó a NDVI como el índice más idóneo. En referente a las bandas, se seleccionó a las bandas 2, 4 y 8. Debido a que la banda 2 y 3 tenían una alta correlación y al realizar el análisis discriminante la banda 2 fue la que mejor resultado obtuvo con un 70,33 % de datos correctamente clasificados, la banda 3 obtuvo un 67,08 % de datos bien clasificados además de tener uno de sus datos linealmente dependientes, es decir que uno de sus datos es combinación lineal del resto.

Se realizó el análisis discriminante ingresando las variables previamente seleccionadas NDVI, banda 2, 4 y 8 acumulando 56 variables y se obtuvo un 88,03 % siendo apenas 4,4 % menor con 41 variables menos.

Para disminuir el número de variables se realizó análisis de componentes principales (ACP), así como también análisis discriminante al conjunto de 56 variables consiguiendo reducir a 10 el número de variables siendo las siguientes: NDVI1, NDVI9, B8_10, B2_12, NDVI13, B4_12, B4_3, B4_10, B8_6 y B4_1, con lo que se consiguió un 79,73 % en la tabla de clasificación.

De las 52 variables de pendientes de NDVI – recordando la notación PEN_NDVI_X -, bandas 2, 4 y 8 se un obtuvo un 86,57 % de datos bien clasificados en la tabla de clasificación, se procedió a realizar el mismo procedimiento para amenorar las variables,

consiguiendo 16 componentes principales, seleccionándose el mismo número de variables: PEN_NDVI_6, PEN_NDVI_2, PEN_B4_5, PEN_B2_2, PEN_NDVI_1, PEN_B8_11, PEN_NDV_13, PEN_B8_5, PEN_NDVI_5, PEN_NDVI_7, PEN_B8_10, PEN_B2_10, PEN_B4_7, PEN_B2_7, PEN_NDV_11 y PEN_NDV_12 con las que se consiguió un 76,80 % de datos correctamente clasificados.

Adicionalmente se analizaron las variables media, desviación estándar y área bajo la curva para las variables NDVI, banda 2, 4 y 8, además de la media y desviación estándar de las pendientes anteriormente generadas obteniendo un total de 22 datos. Pero al analizar la correlación entre la media y área bajo la curva la correlación es muy alta por lo que fue descartada área bajo la curva como variable -entendiéndose a la misma como la suma de toda el área, mas no las dos variables mostradas quedando 18 variables en total.

Con las 18 variables se obtuvo 82,05 % de datos bien clasificados, se realizó ACP, resultando cuatro componentes principales de las cuales se seleccionaron 9 variables: DES_NDVI, AVE_NDVI, AREA_NDVI2, AVE_B8, AVE_B2, AVE_B4, PEN_B4_AVE, DES_B8 y PEN_B4_DES que consiguieron 78,14% de datos correctamente clasificados en la tabla de clasificación.

Como último paso se unieron todas las variables pre-seleccionadas teniendo un total de 35 variables que en la tabla de clasificación obtuvieron un 86,69% de datos bien clasificados. Se realizó el mismo procedimiento, resultando ocho componentes principales.

Se aclara que el orden de las 12 variables seleccionadas es de acuerdo a la información que aporta cada variable, siendo en este caso información del índice NDVI e información estadística del mismo como la desviación estándar y media además del NDVI9 – si se observa la figura 3, la fecha del 9 de agosto (día juliano 222) es la que mejor discrimina entre coberturas vegetales - las que mayor información aportan. A manera de ejemplo en la Figura 7 se muestra una de las variables estadísticas AVE_NDVI que representa la media de los valores registrados de NDVI en las 14 fechas con lo cual se evidencia que la información que aporta la media ayuda en la discriminación entre categorías, por ejemplo la media que mayor valor posee de NDVI corresponde a coníferas, seguidos de cítricos, pastizal y arroz, por otra parte los valores de NDVI más bajos ocupan las categorías de urbano y polígono industrial como era de esperarse al no existir vegetación.

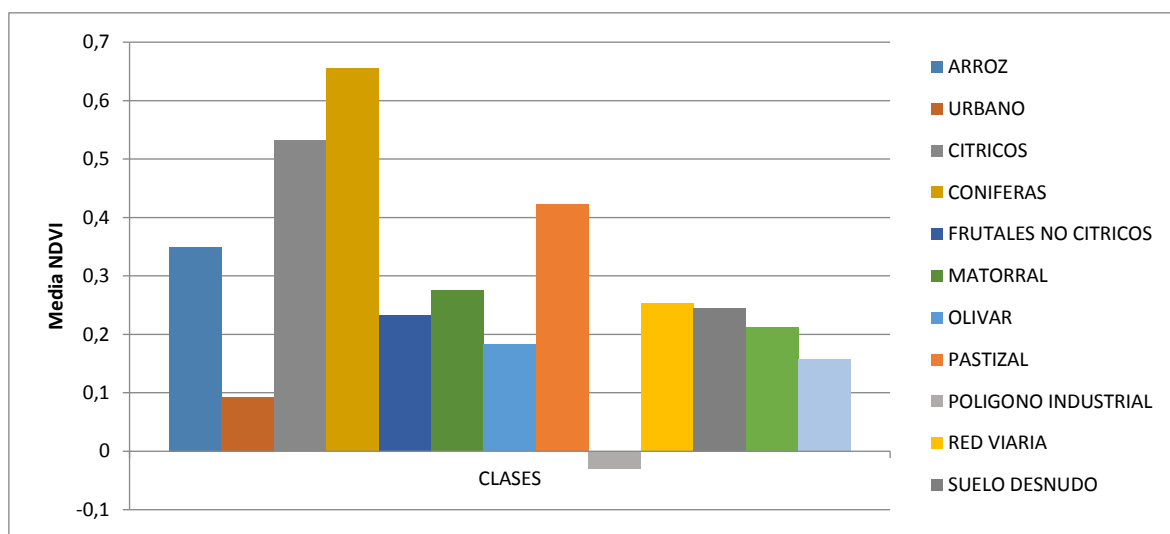


Figura 7. Variable AVE_NDVI correspondiente a la media del NDVI de las 14 fechas del año 2016 en las distintas categorías.

Continuando con la descripción de las 12 variables seleccionadas se encuentra la información aportada por la banda 8 (infrarrojo cercano) del 19 de agosto, banda 2 (azul) del 8 de octubre, la media de las pendientes en la banda 4 (rojo), banda 4 del 8 de octubre, banda 4 del 19 de agosto, media de la banda 8, banda 4 del 12 de enero, desviación estándar de la banda 8 y la banda 2 del 18 de septiembre.

Puesto que existen algunas variables relacionadas con la banda 4 se ilustra como ejemplo en la figura 8 el comportamiento de la banda 4 en las 14 fechas registradas, observándose que la variable B4_12 corresponde a la fecha del 8 de octubre (día juliano 282) que permite discriminar algunas de las clases con cobertura vegetal puesto a que registran valores bajos en esa banda debido a su alta absorción en esa porción del espectro electromagnético como las coníferas, arroz y cítricos; la variable B4_10 correspondiente a la fecha del 19 de agosto (día juliano 232) continua discriminando las anteriores categorías descritas, se observa en la Figura 8 que algunas de las categorías se separan en esta fecha lo que permite discriminarlas de mejor manera como es el caso de los viñedos y olivares; y la variable B4_1 que corresponde al 12 de enero (día juliano 12) en la que se observa que los viñedos registran valores altos a diferencia del resto de clases, el matorral y los cítricos también logran diferenciarse.

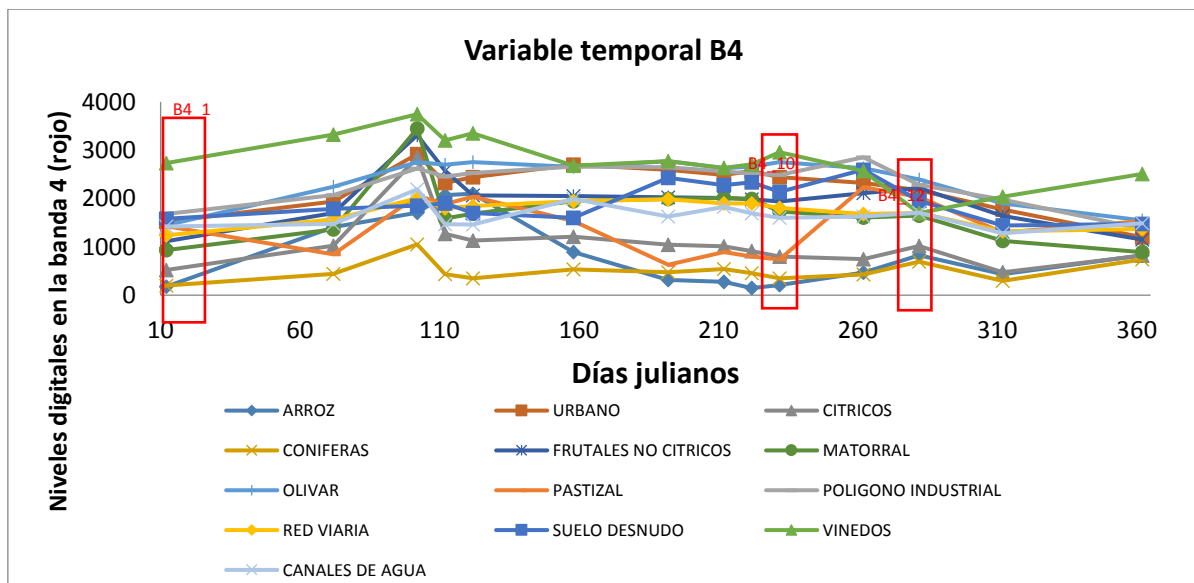


Figura 8. Comportamiento de la Banda 4 (rojo) en las 13 categorías durante el año 2016, en color rojo se muestran las variables B4_1, B4_10 y B4_12.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. DETECCIÓN DE CAMBIO 2008-2015.

La detección de cambios fue llevada a cabo mediante comparación de la clasificación entre el mapa de uso del suelo generado de 2008 y el de 2015. A través de la tabla del archivo en formato .shp del año 2008 se introdujo un campo adicional con la clasificación correspondiente al año 2015, adicionalmente se unieron ambos registros y se procedió a realizar un resumen de las combinaciones existentes y el número de repeticiones de las mismas. De modo que las que permanecían constantes en ambos años fueron ingresadas como no cambio y como cambio a las que sí, la Figura 9 muestra una porción de la tabla del archivo

.shp a manera de ejemplo de los campos correspondientes a la clasificación de uso del suelo del 2008 y 2015 así como la unión de ambos registros y la posterior clasificación entre cambio y no cambio respecto a las clases.

CLASES 08	CLASES15	UNION	CAMBIO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	CITRICOS	CITRICOS-CITRICOS	NO
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI
CITRICOS	Coníferas	CITRICOS-Coníferas	SI

Figura 9. Porción de la tabla del archivo .shp de cambios entre el uso de suelo del 2008 y 2015.

Para evaluar la detección de cambios se decidió escoger una muestra del 5% para zonas detectadas como cambio y otro 5% para zonas detectadas como no cambio. Se escogieron 385 muestras para zonas de cambio y 726 muestras para las zonas de no cambio, dando un total de 1 111 muestras a ser evaluadas por medio de fotointerpretación. Para que en la selección de muestras exista el componente de aleatoriedad, se generaron dos nuevos campos en el archivo .shp que se viene trabajando, con la finalidad de generar un identificador para los cambios y no cambios. Realizado el proceso de fotointerpretación se obtuvo el siguiente resultado mostrado en la matriz de confusión en la tabla 2, obteniendo de ella una fiabilidad global del 84,78 % con respecto a la clasificación entre cambios y no cambios.

Tabla 2. Matriz de confusión de cambios y no cambios entre 2008 y 2015.

	CAMBIO	NO CAMBIO	TOTAL	FIABILIDAD USUARIO	ERROR COMISION
CAMBIO	212	155	367	57,77	42,23
NO CAMBIO	14	730	744	98,12	1,88
TOTAL	226	885	1111		
FIABILIDAD PRODUCTOR	93,81	82,49			
ERROR POR OMISION	6,19	17,51			

La tabla 3 muestra que han cambiado cerca de 7 680 parcelas y el acumulado de su área corresponde a 3 956,08 Ha respectivamente. Las parcelas que no han sufrido cambios son la mayoría a pesar de que en área representan minoría debido a que es su gran parte pertenecen a la categoría de urbano.

Tabla 3. Clasificación de cambio de uso de suelo por parcelas y área en Ha.

	PARCELAS	AREA Ha
CAMBIO	7680	3956,08
NO CAMBIO	14530	2985,88
TOTAL	22210	6941,97

En la matriz de confusión existe una gran cantidad de falso positivos, siendo un 42,23 %, que a nivel de usuario significa que se tendrá clasificado como cambio algo que en realidad no lo es, por otro lado lo clasificado como no cambio existe una gran certeza de predicción tanto como productor y usuario puesto que lo clasificado como no cambio no posee una alta cantidad de falsos negativos es decir, errores de omisión.

Se generó a través de los siguientes indicadores TP (sensibilidad) y FP (1-sensibilidad) extraídos de la matriz de confusión, un punto en el espacio ROC, como se indica en la Figura 10. Se puede observar que al estar cercana a los valores (1,1) y debido al gran número de falsos positivos, la detección de cambios provoca errores por comisión. Los cambios detectados serán necesarios de verificar por fotointerpretación, más los de no cambio no serían necesarios.

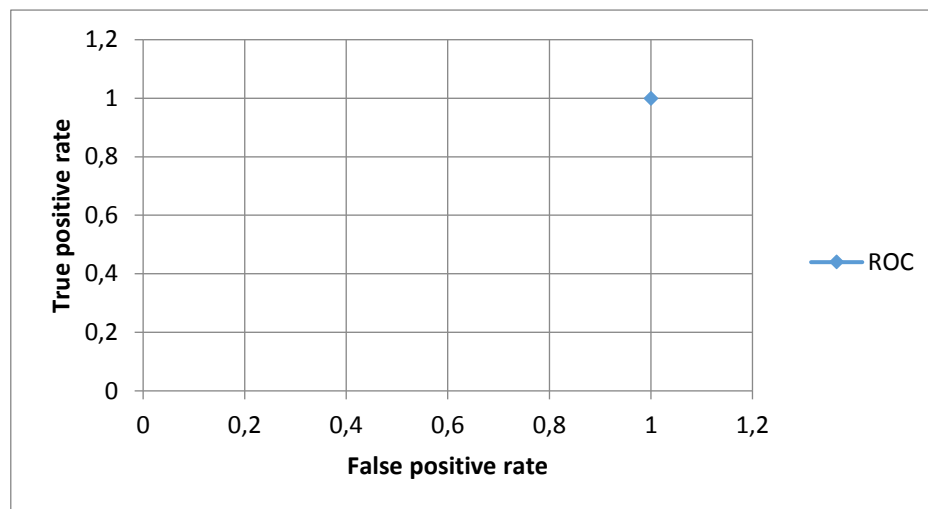


Figura 10. Espacio ROC para clasificador de cambios.

4.2. VARIABLES TEMPORALES PARA SENTINEL-2

Se eligieron 12 variables temporales para el año 2016, seleccionadas por medio del procedimiento descrito en el apartado 3.4.2, el cual usa los métodos de análisis por componentes principales y análisis discriminante: DES_NDVI, AVE_NDVI, NDVI9, B8_10, B2_12, PEN_B4_AVE, B4_12, B4_10, AVE_B8, B4_1, DES_B8 y B2_11, se obtuvo un 83,64 % de datos correctamente clasificados de las 13 categorías en la tabla de clasificación.

4.3. PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN CON DISTINTOS INSUMOS

4.3.1 Clasificación de parcelas con variables espectrales, de textura y forma para el año 2015

De la muestra de 819 parcelas fotointerpretadas, se extrajo información con el software FETEX, explicado en el apartado 3.3.3, del cual fue ingresado al software WEKA para realizar una clasificación con validación cruzada de las características extraídas por Fetex 2.0 (variables espectrales, de textura y forma).

Se utilizaron árboles de decisión entre ellos el clasificador AdaBoost con el algoritmo J48 dando como resultado una fiabilidad de 87,91 % y un coeficiente Kappa de 0,86 en la clasificación de las 12 categorías. La matriz de confusión proporcionada por el software WEKA se muestra en la Figura 11. Se puede observar que existe confusión en la clase de

pastizal, que asigna algunas parcelas a suelo desnudo, así como también lo hace la clase de arroz.

```

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  f  g  h  i  j  k  l  <-- classified as
25  1  0  1  1  0  0  1  4  0  4  0 | a = RED_VIARIA
 1 83  0  3  1  1  0  1  1  2  2  0 | b = MATORRAL
 0  0 110  0  0  1  0  0  0  0  0  1 | c = CITRICOS
 0  1  0  90  0  4  1  4  3  1  0  1 | d = SUELO_DESNUDO
 0  2  0  0  55  0  0  0  0  2  0  0 | e = CONIFERAS
 0  2  2  11  1  9  0  0  0  1  0  0 | f = PASTIZAL
 0  1  0  5  0  0  0  1  0  0  0  0 | g = OLIVAR
 1  0  0  3  0  0  0  19  0  0  0  0 | h = FRUTALES_NO_CITRICOS
 2  0  0  3  0  0  0  1  93  1  0  0 | i = POLIGONO_INDUSTRIAL
 1  0  0  0  4  0  0  0  2  98  0  0 | j = URBANO
 2  2  0  4  0  1  0  0  0  0  91  0 | k = ARROZ
 0  0  0  2  1  0  0  0  0  0  0  47 | l = VINEDOS
    
```

Figura 11. Matriz de confusión con variables espectrales, de textura y forma.

4.3.2 Clasificación de parcelas con variables temporales (SENTINEL-2)

Las 12 variables seleccionadas también fueron ingresadas al software WEKA, utilizando el mismo procedimiento se obtuvo una fiabilidad global de 87,54 y un índice kappa de 0,86 en la clasificación de las 12 categorías. En la Figura 12 se muestra la matriz de confusión proporcionada por el software en donde se observa que la categoría de arroz es perfectamente clasificada, confusiones como matorral y coníferas es entendible que existan puesto que espectralmente, así como temporalmente se comportan un tanto similares.

```

=== Confusion Matrix ===

  a  b  c  d  e  f  g  h  i  j  k  l  <-- classified as
23  3  0  1  0  0  0  0  5  5  0  0 | a = RED_VIARIA
 1 83  2  2  7  0  0  0  0  0  0  0 | b = MATORRAL
 0  1 104  4  0  2  0  0  0  1  0  0 | c = CITRICOS
 0  3  2  91  0  1  0  4  0  2  0  2 | d = SUELO_DESNUDO
 0  5  0  0  54  0  0  0  0  0  0  0 | e = CONIFERAS
 0  1  2  2  0  20  0  0  0  0  1  0 | f = PASTIZAL
 0  0  1  2  0  0  3  0  1  0  0  0 | g = OLIVAR
 0  2  0  4  0  0  1  12  0  4  0  0 | h = FRUTALES_NO_CITRICOS
 3  0  0  1  0  0  0  0  95  1  0  0 | i = POLIGONO_INDUSTRIAL
 4  2  0  2  1  0  2  2  1  91  0  0 | j = URBANO
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 100  0 | k = ARROZ
 0  0  0  2  0  0  0  4  0  0  0  44 | l = VINEDOS
    
```

Figura 12. Matriz de confusión con variables temporales

4.3.3 Clasificación de parcelas con variables espectrales, de textura, forma y temporales (SENTINEL-2).

Se integraron en un solo fichero las variables espectrales, de textura y forma aportadas por FETEX 2.0 así como también las 12 variables temporales seleccionadas para Sentinel-2. Tras realizar el mismo procedimiento en el software WEKA se obtuvo como resultado una fiabilidad global de 91,94 % así como también un índice kappa de 0,90 en la clasificación de

las 12 categorías. En la Figura 13 se muestra la matriz de confusión proporcionada por el software en donde se evidencia que errores en la categoría arroz cometidos tan solo al utilizar las variables dadas de FETEX son corregidos por las variables temporales de Sentinel-2 llegando a clasificar perfectamente esa categoría. De igual forma errores al clasificar la red viaria por parte de variables temporales son corregidas por las variables espectrales, de textura y forma.

```

=== Confusion Matrix ===
  a  b  c  d  e  f  g  h  i  j  k  l  <-- classified as
29  1  0  2  1  0  0  1  3  0  0  0 | a = RED_VIARIA
 0 88  1  0  3  0  0  2  0  1  0  0 | b = MATORRAL
 0  0 111  1  0  0  0  0  0  0  0  0 | c = CITRICOS
 2  0  1 93  0  2  3  3  0  1  0  0 | d = SUELO_DESNUDO
 1  5  0  0 52  0  0  0  0  1  0  0 | e = CONIFERAS
 0  2  1  3  0 19  0  0  0  0  0  1 | f = PASTIZAL
 0  0  1  2  0  0  1  3  0  0  0  0 | g = OLIVAR
 0  1  0  3  0  0  3 16  0  0  0  0 | h = FRUTALES_NO_CITRICOS
 2  0  0  1  0  0  0  0 95  2  0  0 | i = POLIGONO_INDUSTRIAL
 0  2  0  0  1  0  0  0  0 102  0  0 | j = URBANO
 0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 100  0 | k = ARROZ
 0  0  0  2  0  0  0  0  0  1  0 47 | l = VINEDOS
    
```

Figura 13. Matriz de confusión con variables espectrales, de textura, forma y temporales.

5. CONCLUSIONES

Se generó el mapa de uso del suelo para el municipio de Torrente del año 2008 con una fiabilidad global del 90 % y un coeficiente kappa del 0,85 mediante la extracción de variables espectrales, de textura y forma, en ortofotos del mismo año, generadas con software FETEX 2.0. Como muestra se seleccionaron 2 130 parcelas fotointerpretadas en 12 categorías: canales de agua, cítricos, coníferas, frutales no cítricos, matorral, olivar, pastizal, polígono industrial, red viaria, suelo desnudo, urbano y viñedos, se empleó como clasificador árboles de decisión y validación cruzada en el software WEKA.

Se generó el mapa de cambios entre los años 2008 – 2015 con una fiabilidad global de 84,74 % con respecto a la clasificación entre cambio y no cambio a partir de una muestra del 5 % entre cambios y 5 % de no cambios detectados en las parcelas clasificadas en ambos años, seleccionándose 1 111 parcelas en el municipio de Torrente. En cuanto a detección de no cambios las fiabilidades tanto de productor (82,49 %) como de usuario (98,12 %) son elevadas, es decir que existirán escasos errores por omisión y comisión respectivamente; y en la detección de cambios se posee fiabilidades de productor altas (93,81 %) pero la fiabilidad de usuario disminuye (57,77 %), es decir que existen escasos errores por omisión y se encontraran una mayor cantidad de errores por comisión que deberán ser revisados por el foto intérprete.

Para incrementar la fiabilidad de la clasificación de usos de suelo del 2015 se incluyó información temporal de imágenes Sentinel-2, pero al disponer imágenes Sentinel del 2016 se han tomado 819 muestras de parcelas que no han cambiado entre ambos años. Se generaron 226 variables temporales a partir de 14 imágenes Sentinel-2 del 2016, seleccionándose 12 variables tras realizar análisis de componentes principales y análisis discriminante: DES_NDVI (desviación estándar del NDVI), AVE_NDVI (media del NDVI), NDVI9 (NDVI del 9 de agosto del 2016), B8_10 (números digitales registrados en la banda 4 del 19 de

agosto del 2016), B2_12 (números digitales registrados en la banda 2 del 8 de octubre del 2016), PEN_B4_AVE (media de la pendiente de la banda 4), B4_12 (números digitales registrados en la banda 4 del 8 de octubre del 2016), B4_10 (números digitales registrados en la banda 4 del 19 de agosto del 2016), AVE_B8 (media de la banda 8), B4_1 (números digitales registrados en la banda 4 del 12 de enero del 2016), DES_B8 (desviación estándar de la banda 8) y B2_11 (números digitales registrados en la banda 2 del 18 de septiembre del 2016). Se obtuvo una fiabilidad global de 87,54 % al utilizar arboles de decisión como clasificador con validación cruzada.

Al unir variables espectrales, de textura y forma extraídas de imágenes de alta resolución (ortofotos 2015) proporcionadas por el software Fetex con las 12 variables temporales del sensor Sentinel-2 se obtuvo un 91,94 % de fiabilidad global así como también un coeficiente kappa de 0,90 en la clasificación de usos de suelo para las 12 categorías. El porcentaje de fiabilidad global utilizando árboles de decisión como clasificador aumentó un 4,03 % respecto a utilizar variables espectrales, de textura, forma y 4,4 % solo utilizando las 12 variables temporales.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio es parte de una investigación propuesta por el Dr. Luis Ángel Ruiz Fernández, del departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría con la ayuda del Dr. Ángel Antonio Balaguer Beser del departamento de Matemática Aplicada, por parte de la Universitat Politècnica de Valencia.

REFERENCIAS

- European Space Agency. (2017, marzo 7). *ESA*. Retrieved abril 19, 2018, from ESA: https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Introducing_Sentinel-2
- Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección. (2018, Marzo 15). *FETEX 2.0: An Object-based Feature Extraction Software Tool*. Retrieved from Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección: <http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/fetex2web/demofetex/SoftwareFETEX.pdf>
- Huete, A., & Justice, C. y. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. In *Remote Sensing of Environment* (pp. 224-234).
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., & Gao, X. y. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. In 8. *Remote Sensing of Environment*.
- Instituto Nacional de Estadística. (2017). *Población, superficie y densidad por municipios*. Retrieved abril 19, 2018, from <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2851>
- Recio, J. (2009). *Técnicas de extracción de características y clasificación de imágenes orientada a objetos aplicadas a la actualización de bases de datos de ocupación del suelo*. Valencia: dpto. Ingeniería cartográfica, geodesia y fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia
- Ruiz, et. a. (2011). A feature extraction software tool for agricultural object-based image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 284-296.
- The University of Waikato. (2015). *WEKA*. Retrieved abril 20, 2018, from <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>