

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

Andrés Betancourt, Andrea Castro

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
andresbetancourt_10@hotmail.com, andreacastro0996@gmail.com

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

Palabras Claves—Deslizamiento, perceptrón multicapa, RNA.

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

Keywords—Landslides, multi-layer perceptron, NNA.

I. INTRODUCCIÓN

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

II. MÉTODO

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

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

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

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

A. Pendiente y Precipitación

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

B. Redes Hídricas, Fallas Geológicas, y Redes Viales

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

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

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

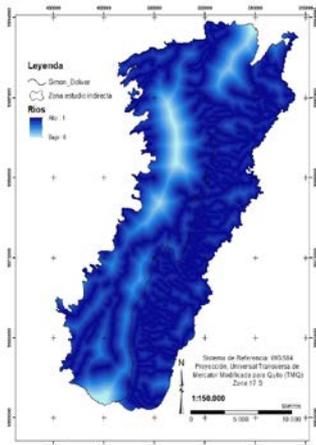


Fig. 1. Mapa de distancia a redes hídricas normalizado

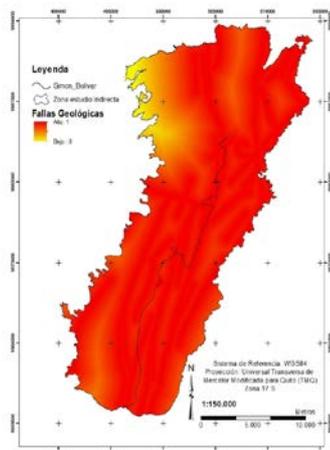


Fig. 2. Mapa de distancia a fallas geológicas normalizado

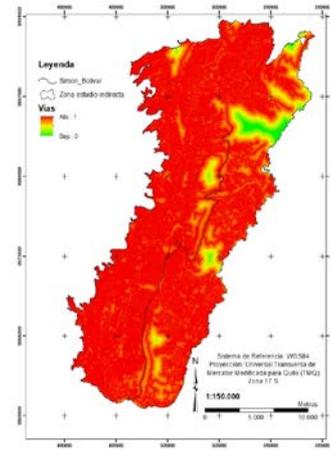


Fig. 3. Mapa de distancia a redes viales normalizado

C. Cobertura Vegetal y Litología

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

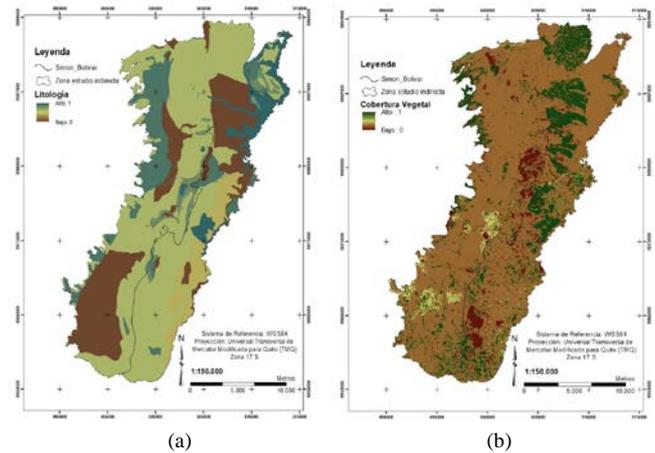


Fig. 4. (a) Mapa de cobertura vegetal ponderado. (b) Mapa de litología ponderado

D. Entrenamiento de la Red Neuronal

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

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

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

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

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

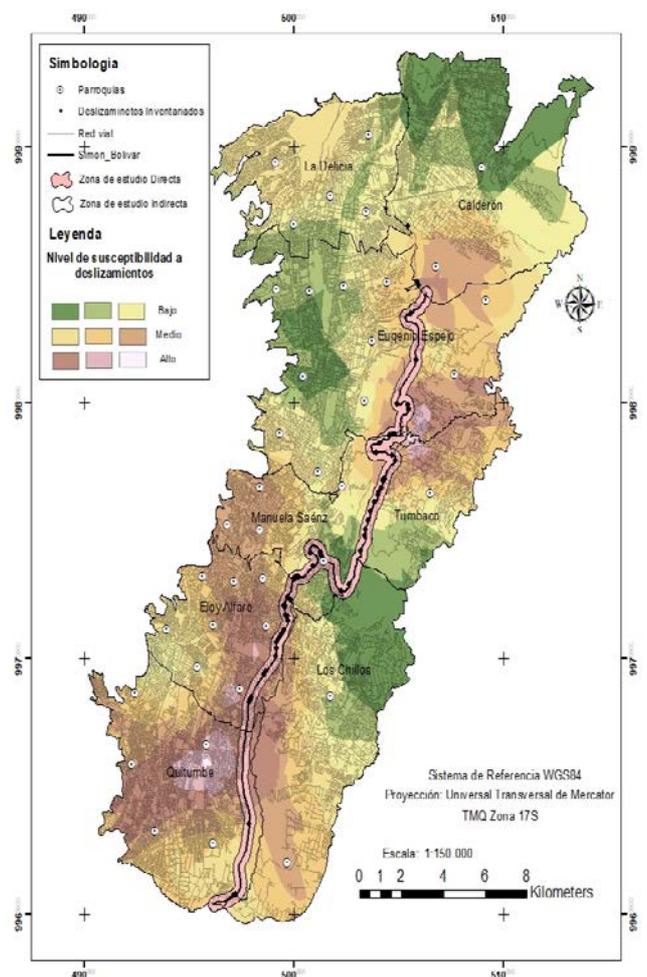


Fig. 5. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos mediante redes neuronales

IV. CONCLUSIONES

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

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

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

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