

Identificación de amenaza por deslizamientos de tierra mediante información geo-espacial en el cantón Ibarra-Ecuador

Identification of hazard for landslides through geo-spatial information in the Ibarra district-Ecuador

Lucía Avilés Ponce (1), Maribel Cañar Muñoz (2), Sergio Andrade Sampedro (3), Julio Moreno Izquierdo (4), Grace Medina Méndez (5), Adriana López Alulema (6), Patricio Pico Carrasco (7)

- (1) Instituto Espacial Ecuatoriano, lucy.aviles2010@hotmail.com
- (2) Instituto Espacial Ecuatoriano, maribel.canar@institutoespacial.gob.ec
- (3) Universidad de Valencia, sdas_1189@yahoo.es
- (4) Instituto Espacial Ecuatoriano, julio.moreno@institutoespacial.gob.ec
- (5) Instituto Espacial Ecuatoriano, grace.medina@institutoespacial.gob.ec
- (6) Instituto Espacial Ecuatoriano, caro_lo9e5@hotmail.com
- (7) Carnegi Ridge Resources, figempato@hotmail.com

Fecha de recepción: 23 de agosto de 2017

Fecha de aceptación: 1 de septiembre de 2017

Resumen

Ecuador, por su ubicación geográfica, posee constante actividad tectónica y volcánica, a nivel macro, y deslizamientos de tierra, a nivel micro; esta última puede traer como consecuencia la pérdida de vidas humanas y afectación a infraestructuras importantes. Por tal motivo, el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), a través del proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional", realizado a escala 1: 25 000, genera información geo-espacial de esta amenaza a nivel cantonal.

El objetivo fue determinar la amenaza a deslizamientos de tierra en el cantón Ibarra (1 100 km²), para lo cual se utilizó Sistemas de Información Geográfica (SIG), además de analizar factores condicionantes (susceptibilidad) y detonantes (disparadores), mediante la metodología de Mora-Vahrson modificada. El modelo resultante fue validado en campo, mediante una matriz de confusión, consiguiendo una fiabilidad global del 78 %; determinándose que el 17 % de su superficie posee grado de amenaza alto.

Palabras clave: Deslizamiento, Amenaza, Metodología de Mora-Vahrson modificada, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Ibarra.

1. Introducción

En Ecuador, los desastres de mayor impacto están asociados a fenómenos hidrometeorológicos,

Abstract

Ecuador due to its geographical location has constant tectonic and volcanic activity in macro level; and landslide in micro level. This last event can lead to loss of human lives and damage to important infrastructures. Consequently, the Ecuadorian Spatial Institute is generating geo-referenced information on this hazard at a district level through the project named "Generation of geo-information for the management of the territory at national level" carried out at a 1: 25,000 scale.

The objective of this study was to determine the hazard of landslides in the 1 100 km² district called Ibarra, using Geographic Information Systems (GIS). In addition, conditioning (susceptibility) and detonating (triggers) factors were analysed applying the modified Mora-Vahrson methodology. The resulting model was validated in the field, through of a confusion matrix, achieving an overall reliability of 78%; where 17% of the area has a high hazard level.

Key words: Landslides, Hazard, modified Mora-Vahrson Methodology, Geographic Information Systems (GIS), Ibarra.

cos, sismos, erupciones volcánicas y deslizamientos de tierra, donde la relación de muertos y desaparecidos por evento entre 1970 y 2010

corresponde principalmente a deslizamientos, sobrepasando las 1 200 víctimas [1].

En estudios realizados en Ecuador por D'Ercole, y Trujillo [2], sobre vulnerabilidad y amenazas, analizados a nivel de unidad administrativa, señalan que en la Sierra Norte del Ecuador, en la provincia de Imbabura, los cantones Ibarra, Cotacachi y Pimampiro tienen un grado de amenaza global alto y muy alto para deslizamientos de tierra. El cantón Ibarra por tener la mayor densidad poblacional que el resto de cantones de la provincia (181 175 habitantes [3]) y por ser capital provincial será objeto de esta investigación. Su localización se encuentra entre las latitudes 0°09' y 0°53' N y entre las longitudes 78°20' y 77°58' W, ocupando una superficie aproximada de 1 100 km².

El Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), en el marco de la ejecución del proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional", a escala 1: 25 000, en coordinación con la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), está realizando el estudio y análisis de amenazas por tipo de movimiento en masa a nivel cantonal.

El objetivo de la presente investigación fue determinar las zonas de amenazas a deslizamientos de tierra en el cantón Ibarra, mediante información geo-espacial, aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG), para coadyuvar en la correcta toma de decisiones en la gestión territorial, y contribuir, de esta manera, a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de este cantón.

2. Método

Para la elaboración del estudio se utilizó información geo-espacial: geomorfológica y de cobertura de la tierra, escala 1: 25 000, generada por el IEE [4]; así como registros de intensidad de precipitaciones (máximas en 24 horas, con periodos de retorno de 100 años) del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [5] y el catálogo sísmico del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), referido a la medición de la magnitud en escala de Richter [6].

Para la cuantificar la amenaza se aplicó el método modificado de Mora-Vahrson -método experto- [7], que incluyó adaptaciones de acuerdo a la información disponible para la ge-

neración del modelo, donde se considera cinco factores (ver figura 1), cada uno de los cuales se ponderaron de acuerdo a su grado de susceptibilidad o de intensidad para generar el evento (ej. 1: muy baja; 5: muy alta) (ver figura 2).

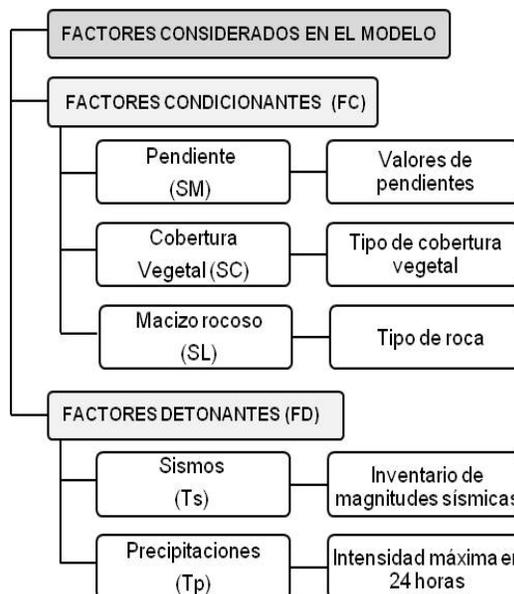


Figura 1. Factores condicionantes y detonantes

La combinación de los factores condicionantes (FC) considera que los fenómenos de remoción en masa ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad [8,9]. Bajo estas condiciones, los factores detonantes (FD) actúan como elementos de disparo, dando lugar a la destrucción de las laderas [8,10,11,12]. De esta forma, se considera que el grado o nivel de amenaza (H) es el producto de la susceptibilidad y la acción de los FD [7].

Los FC (cobertura vegetal -SC-, litología -SL- y pendiente -SM-) se relacionan entre sí, mediante matrices de doble entrada, para obtener el grado de susceptibilidad general (S) [7,13,14]. La misma relación se hace con los FD (precipitaciones -Tp- y sismos -Ts-). La S y el producto de la combinación de los FD se los relaciona mediante otra matriz para obtener H, dando como resultado valores de cero a cinco, los cuales se agruparon para calificar el grado de amenaza en nulo (0), bajo (1 y 2), medio (3) y alto (4 y 5) (ver figura 2).

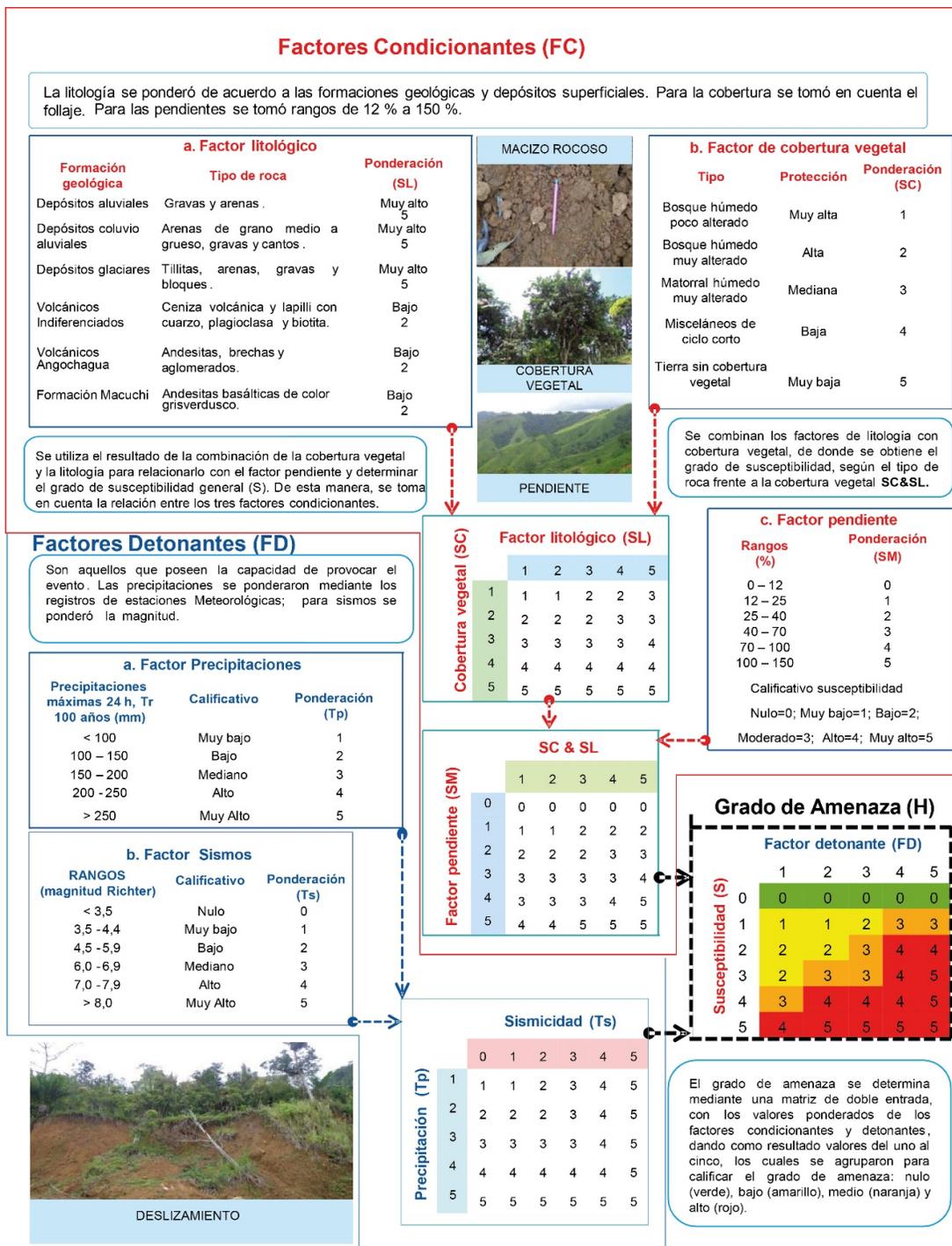


Figura 2. Flujograma de trabajo para obtener la amenaza a deslizamientos de tierra

Para validar el modelo, se seleccionaron aleatoriamente 41 puntos geo-referenciados, planificados de acuerdo a la capacidad logística y de tiempo disponible para el trabajo en campo, utilizando la red vial del cantón, con la condición

de que los puntos se encuentren a un máximo de 300 m de la vía -debido al acceso- y no menos de 1 km entre ellos para minimizar el solapamiento de información -para que no se repita en la misma geoforma-.

La información tomada en campo de estos puntos fue utilizada para aplicar la respectiva matriz de confusión, donde se indica la fiabilidad global del modelo: las columnas indican las clases de referencia evaluadas en campo y las filas las categorías deducidas del modelo; la diagonal de la matriz expresa el número de puntos de verificación, en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (modelo y realidad), mientras los marginales suponen errores de asignación (los residuales en columnas indican errores de omisión y los residuales en filas indican errores de comisión) [15,16].

Asimismo, se aplicó el estadístico kappa, el cual mide la diferencia entre el mapa (modelo) y la realidad observada, prescindiendo del causado por factores aleatorios o azar, estimándose a partir de la fórmula 1 [15].

$$K = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

donde n sería el tamaño de la muestra; X_{ii} el acuerdo observado; y $(X_{i+} X_{+i})$ el acuerdo esperado en cada categoría i.

3. Resultados

De acuerdo al modelo de amenazas por deslizamientos de tierra, se identificaron cuatro niveles de amenazas: alto, medio, bajo y nulo (ver figura 3).

Las zonas con grado de amenaza alto, que ocupan 17,16 % de la superficie total del cantón, se ubican en los sectores San Jerónimo, Loreto y La Tola, asociadas, principalmente, a relieves volcánicos montañosos (vinculados a los volcánicos Angochagua -andesitas, brechas y aglomerados- y sedimentos San Jerónimo-areniscas, lutitas chertosas, calizas y grauvacas-), cuyas pendientes oscilan entre 40 a 150 %, donde la cobertura vegetal predominante es el bosque húmedo poco alterado. Las precipitaciones van desde los 100 a más de los 250 mm. Los sismos son menores a 4,4.

Las zonas con grado de amenaza medio, que ocupan el 27,76 %, están ubicadas al norte y sur del área de estudio, en los sectores Río Verde Bajo, Comunidad El Puerto, San Francisco y Cashaluma, y están asociadas a relieves volcánicos montañosos y relieves colinados muy altos (relacionados geológicamente con los volcánicos Angochagua), cuyas pendientes van de 40 a 100 %. La cobertura vegetal predominante es vegetación herbácea seca muy alterada, donde se registran precipitaciones que alcanzan los 200 mm y sismos inferiores a 4,4.

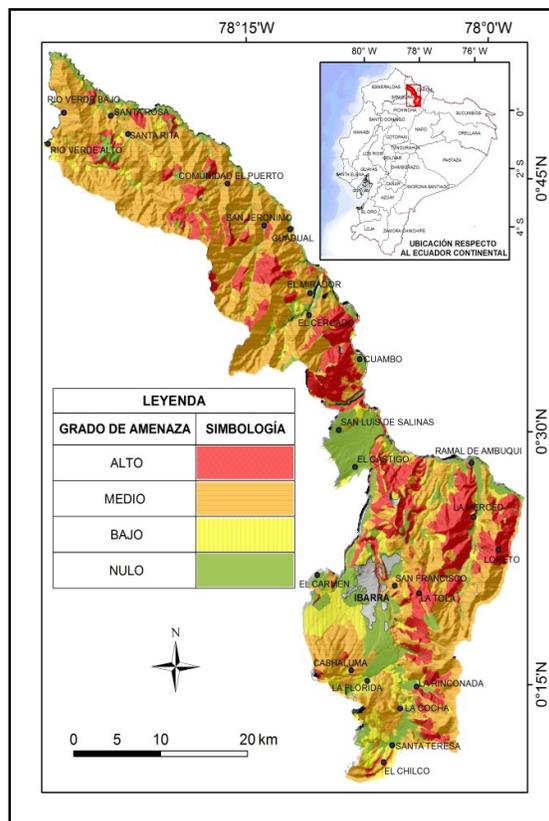


Figura 3. Mapa de amenazas por deslizamientos de tierra.

El grado de amenaza bajo, que ocupa el 37,51 %, se encuentra disperso por el cantón, por los sectores Río Verde Alto, La Florida y El Chilco. Están relacionados, principalmente, a relieves volcánicos altos (litológicamente asociados a volcánicos Imbabura -lavas andesíticas de grano fino a medio, aglomerados y flujos laháríticos- y a las formaciones Macuchi -andesitas basálticas de color gris verdusco- y Silante-conglomerados compactos compuestos por fragmentos subangulares milimétricos a centimétricos-); cuyas pendientes oscilan entre 12 a 70 %. La cobertura vegetal predominante es bosque húmedo poco alterado y vegetación herbácea seca muy alterada. Las precipitaciones son inferiores a los 150 mm y los sismos son menores a 4,4.

El grado de amenaza nulo, que ocupa 13,91 %, se ubica en los sectores San Luis de Salinas, Punguhuaycu, Santa Teresa y en los sitios alejados a los ríos Mira, Verde y Chota; en geofomas cuyas pendientes son menores al 12 %, por ejemplo terrazas aluviales.

Las zonas no aplicables corresponden a ríos dobles, lagunas y centros poblados, ocupando el 3,67 %.

Con respecto a la validación del modelo de amenazas a deslizamientos de tierra, que se lo realizó a través de la matriz de confusión (ver

tabla 1), se obtuvo un grado de fiabilidad global del 78 %. El estadístico kappa obtenido fue del 70 %.

Grado de Amenaza	Nulo	Bajo	Medio	Alto	TOTAL	Exactitud usuario	Error comisión
Nulo	8	1	0	0	9	89	11
Bajo	0	12	0	1	13	92	8
Medio	0	6	2	0	8	25	75
Alto	0	0	1	10	11	91	9
TOTAL	8	19	3	11	41		
Exactitud producto	100	63	67	91			
Error omisión	0	37	33	9			

Tabla 1. Matriz de confusión para amenazas de deslizamientos de tierra

4. Discusión

En el cantón Ibarra se determinó que existe cuatro niveles de amenaza respecto a deslizamiento de tierras: alto, medio, bajo y nulo; donde la pendiente es la variable que mayor influye en el modelo, dentro de los factores condicionantes; mientras que la precipitación, dentro de los factores detonantes, fue la variable de mayor influencia.

Por lo anterior, en las tierras con pendientes mayores a 40 % y con precipitaciones mayores a 100 mm son las que permiten que se desarrollen amenazas altas y medias respecto a los deslizamientos (que corresponde a un 45 % del área total del cantón).

El modelo de deslizamientos de tierra obtuvo una fiabilidad global del 78 % y un índice Kappa de 70 %, que según Landis & Koch [17] tiene un grado de acuerdo sustancial respecto a la realidad.

Esta investigación toma en cuenta, para el análisis de amenazas a deslizamientos de tierra, unidades físicas territoriales, es decir, geomorfológicas, comparadas con las unidades administrativas del estudio de D'Ercole, y Trujillo [2], lo que da una mejor precisión y detalle, de acuerdo a la escala, de la ubicación de los sitios potenciales donde se produciría esta amenaza; lo que permitiría tomar decisiones más eficaces y eficientes al momento de decidir dónde se deberían construir diferentes tipos de infraestructura.

La metodología propuesta tiene limitantes que pueden modificar los resultados parciales y/o finales. Básicamente, dependen de la falta de información secundaria disponible ya que, por

ejemplo, la caracterización geológica de las unidades geomorfológicas se realizó con información, escala 1: 100 000, tomada de la carta geológica de Ibarra [18].

A futuro se puede realizar un análisis cuantitativo de la amenaza con diferentes periodos de retorno [19], tomando en cuenta que el presente estudio es cualitativo y, en el caso de la intensidad de lluvias, con un solo periodo de retorno (100 años).

5. Referencias

- [1] SGR, ECHO, UNISDR. (2012). Ecuador: referencias básicas para la gestión de riesgos 2013-2014. Quito: Secretaría de Gestión del Riesgo. 62-63.
- [2] D'Ercole, R., Trujillo, M. (2003). Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador. Los desastres un reto para el desarrollo. Quito: COOPI/IRD/Oxfam GB.101-102.
- [3] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015). Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- [4] Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). Disponible en: <http://181.211.99.244:8080/visorIEE/composer/>
- [5] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (1965-2013). Registros de precipitaciones máximas en 24 horas.
- [6] Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (1900-2015). Catálogo sísmico.
- [7] Mora, S., Vahrson, W. G. (1993). Macrozonification methodology for landslide hazard determination. Bull. Intl. Ass. Eng. Geology, in press.
- [8] Ayala-Carcedo, F. J., Corominas, J. (eds.). (2003). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG. Fundamentos y aplicaciones en España. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 55.
- [9] Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No.4. 119-159,130.

- [10] Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. // Schuster, R. L., Krizek, R. J. (eds.). Landslides: Analysis and Control. Washington D.C.: Transportation and Road Research Board, National Academy of Science. Special Report 176:11-33.
- [11] Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes. Transportation and Road Research Board, U.S.National Academy of Science. Special Report 247:36-75
- [12] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá: IGAC. 35-47.
- [13] Suárez, J. (2009). Deslizamientos. Tomo II. Técnicas de remediación. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. 292-299.
- [14] Salazar, L. (2007). Modelaje de la amenaza al deslizamiento, mediante EL sistema de información geográfico -ILWIS-, utilizando el método de Mora & Varhson, 1991. Costa Rica: Aplicación GISOROSI_MORA&VARHSON. 6-7.
- [15] Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. España: Planeta S.A. 501-511.
- [16] Tempfli, K., Kerle, N., Huurneman, G., Janssen, L. (eds.). (2009). Principles of Remote Sensing. Enshede: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.306-308.
- [17] Landis, J. R., Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. // Biometrics. 33: 159-174.
- [18] Dirección Nacional de Geología y Minas. (1980). Hoja geológica de Ibarra, escala 1: 100.000 (Hoja 82: CT-ÑII-D).
- [19] Van Westen, C. (2009). Multi-hazard risk assessment. United Nations University – ITC School on Disaster Geo-information Management (UNU_ITC DGIM).

Autores



Lucía Avilés

Ingeniera en Geología por la Universidad Central del Ecuador, en el año 2013. Geomorfóloga en el Consorcio Tracasa-Nipsa (2014). Especialista geomática en el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).



Maribel Cañar

Ingeniera Geóloga Ambiental y Ordenamiento Territorial por la Universidad Nacional de Loja (UNL), en el año 2012. Especialista geomática en el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).



Sergio Andrade

Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), en el año 2012. Estudiante de Máster Universitario en Teledetección Universitat de Valencia (2016-2017).



Julio Moreno

Obtuvo su Ingeniería Agronómica (2001) en la Universidad Central del Ecuador. Su Maestría en Ciencias de la Geo-Información y Observación de la Tierra (2012) la obtuvo en la Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba-Bolivia.

Grace Medina

Ingeniera en Geología y Minas por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; Geólogo en Gran Nacional Minera Mariscal Sucre C.E.M-Proyecto Mompiche (2014). Especialista geomática en el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

Adriana López

Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente por la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), en el año 2014. Ex especialista geomática en el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

Patricio Pico

Ingeniero en Geología por la Universidad Central del Ecuador, en el año 2015. Ex especialista geomático del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE). Consultor para Carnegie Ridge Resources.