

# 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 km<sup>2</sup>), 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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>.

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).

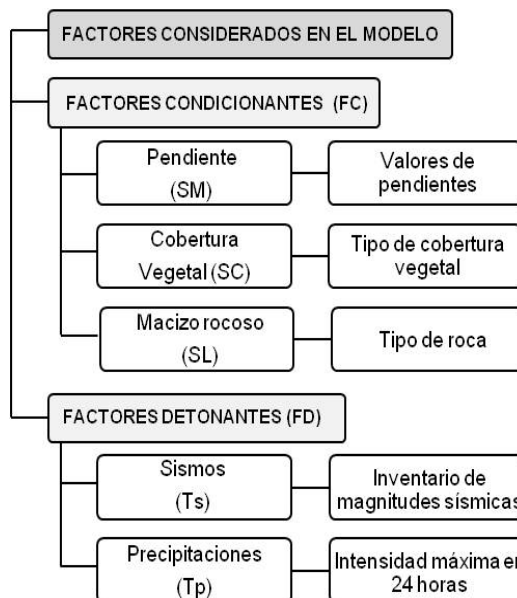
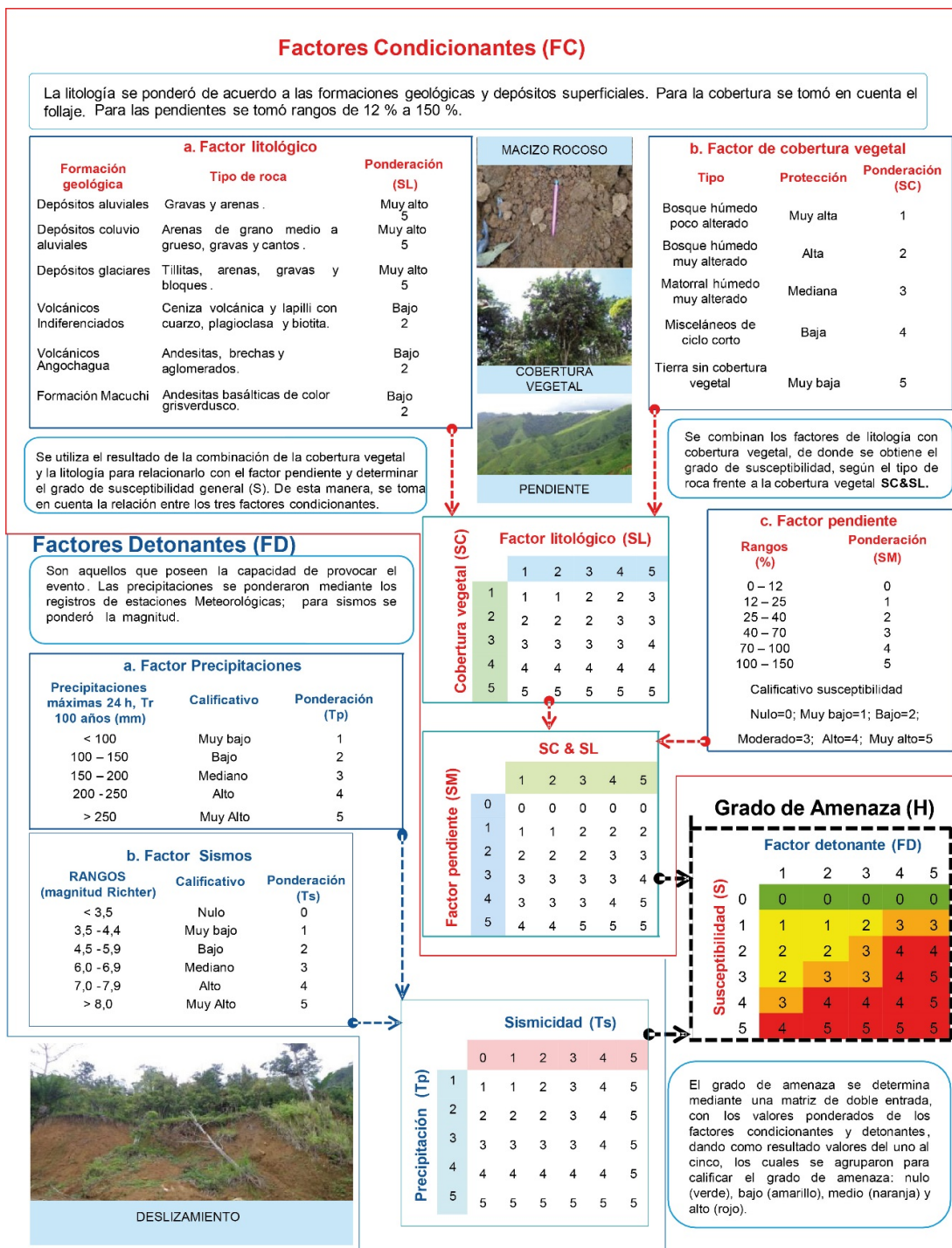


Figura 1. Factores condicionantes y detonantes

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).



#### Grado de Amenaza (H)

		Factor detonante (FD)				
		1	2	3	4	5
Susceptibilidad (S)	0	0	0	0	0	0
	1	1	1	2	3	3
	2	2	2	3	4	4
	3	2	3	3	4	5
	4	3	4	4	4	5
	5	4	5	5	5	5

El grado de amenaza se determina mediante una matriz de doble entrada, con los valores ponderados de los factores condicionantes y detonantes, dando como resultado valores del uno al cinco, los cuales se agruparon para calificar el grado de amenaza: nulo (verde), bajo (amarillo), medio (naranja) y alto (rojo).

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.

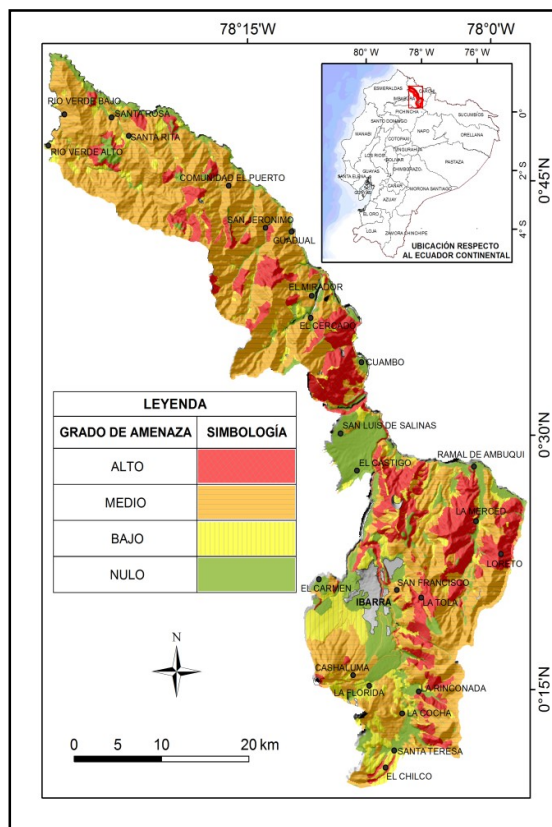


Figura 3. Mapa de amenazas por deslizamientos de tierra.

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.