Revista Cartográfica 112 | 2026 | Artículos
ISSN (impresa) 0080-2085 | ISSN (en línea) 2663-3981
DOI: https://doi.org/10.35424/rcarto.i112.6017
Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia CC BY-NC-SA 4.0

Generación de cartografía detallada de geomorfología y suelos de la ciudad de Sangolquí, Ecuador

Generation of detailed geomorphological and soil mapping of the city of Sangolqui, Ecuador

Mauricio David Reyes Pozo[1]
Lizeth Carolina Sucunuta Ordóñez[2]
Mónica Mishel Cruz Naula[3]
María Fernanda Albán Aguirre[4]
Marcelo Miguel Zúñiga Salazar[5]

Recibido 20 de junio de 2025; aceptado 25 de agosto de 2025

Resumen

La escasa información geoespacial a detalle en el Ecuador dificulta los procesos de planificación y toma de decisiones por parte de las autoridades gubernamentales en el territorio, infiriendo en varios proyectos a nivel local y regional; es así, que el objetivo de este estudio es generar información geomorfológica y edafológica a escala 1:5 000, mediante el uso de geotecnologías: fotointerpretación digital en tres dimensiones sobre bloques fotogramétricos y la metodología científica de ecología de paisaje con un enfoque

[1] Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador, correo electrónico: mauriciodavidreyespozo@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3255-5815

[2] Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador, correo eelctróico: likar43@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6643-5742

[3] Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador, correo electrónico moncruzn.2489@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-5176-3943

[4] Instituto Geográfico Militar, Quito, Ecuador, correo electrónico: maferalbanaguirre@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7245-7648

[5] Instituto Geográfico Militar, Quito Ecuador, correo electrónico: raizde3@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-8580-0129

geográfico ecológico de la ciudad de Sangolquí, con la finalidad de presentar insumos a escala detallada para la planificación del territorio y utilizarla para la elaboración del modelo de amenazas volcánicas. Está ciudad está asociada, mayormente a geoformas, de origen volcánico como superficies de planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua y superficies de lahar antiguo, abarcando 7 393,39 ha (91,78% del área de estudio); en cuanto a las variables edafológicas se determinó que las texturas dominantes son del tipo franco, franco arenoso y franco arcillo arenoso, de drenaje bueno, sin evidencia de nivel freático y nula pedregosidad. Además, el modelo de amenaza volcánica indica que los paisajes, en su mayoría, poseen un grado de amenaza de medio a alto, información que se convierte en un insumo primordial en la toma de decisiones para la gestión del territorio.

Palabras clave: *Ecología de paisaje, Escala detallada, Geomorfología, Sangolquí, Suelos.*

Abstract

The scarcity of detailed geospatial information in Ecuador hinders the planning and decision-making processes of government authorities in the territory, affecting several projects at local and regional level; thus, the objective of this study is to generate geomorphological and edaphological information at scale 1: 5 000, through the use of geotechnologies: three-dimensional digital photointerpretation of photogrammetric blocks and the scientific methodology of landscape ecology with an ecological geographic approach. The city of Sangolqui is mostly associated with geoforms, photo-interpreted in three dimensions, of volcanic origin such as flat to slightly undulating surfaces on Cangahua and ancient lahar surfaces, covering 7,393.39 ha (91.78% of the study area); In terms of edaphological variables, it was determined that the dominant textures are of the loam, sandy loam and sandy clay loam types, with good drainage, no evidence of a water table and no stoniness. In addition, the volcanic threat model indicates that most of the landscapes have a medium to high degree of threat, information that becomes an essential input in decision making for land management.

Key words: *Landscape ecology, Detailed scale, Geomorphology, Sangolqui, Soils.*

1. Introducción

La cartografía se ha convertido en un instrumento esencial para la investigación científica. En un sentido amplio, la cartografía incluye cualquier actividad en la que la representación y el uso de mapas tiene un interés básico, abarcando un grupo de técnicas que reducen las características espaciales de una gran área para exponerla en forma de mapa y ser observable (Campos *et al.*, 2022). La información cartográfica, geográfica o geoinformación es un insumo fundamental para la planificación, desarrollo y gestión de cualquier país. Sin embargo, en el Ecuador, existe una escasa información de cartografía a detalle (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2016), dificultando la toma

de decisiones por parte de las autoridades gubernamentales, y la planificación de proyectos a nivel local y regional, entre estos la planificación urbana, inventario de recursos naturales y la gestión de riesgos. La falta de información cartográfica detallada, por ejemplo, a escalas mayores a 1:25 000, se debe a múltiples variables, como, por ejemplo: la falta de inversión en tecnología para geoinformación y la falta de personal capacitado en el manejo de herramientas cartográficas, al mismo tiempo, las características fisiográficas del Ecuador como su topografía montañosa y su diversidad geográfica, hacen que la captura de datos sea más compleja y costosa (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SNGR], Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres [UNISDR] y Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea [ECHO], 2012). Así mismo, su ubicación hace que sea muy expuesto al cambio climático y al riesgo de desastres, principalmente a fenómenos naturales como sismos, inundaciones y amenazas volcánicas; estos impactos, sobre todo los fenómenos geológicos, han sido de importancia en el país y de constante recurrencia, representando, por ejemplo, en el terremoto del año 2016, un costo al país en reconstrucción de USD 3 344 millones (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, 2020).

Debido a la importancia de conocer estas características territoriales y sobre todo conociendo la importancia de la necesidad de cartografía a detalle, el Instituto Geográfico Militar (IGM), para coadyuvar al ordenamiento territorial, ejecuta el proyecto "Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1:5 000", generando cartografía multitemática a escala detallada de 200 cabeceras cantonales del país, mediante el uso de geotecnologías, herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicación de modelos heurísticos y ecología de paisaje (Zonneveld, 1989; Gómez & Gómez, 2014). Los principales productos son la generación de cartografía de las temáticas de aptitud física constructiva, la capacidad de acogida y los conflictos de uso. Estos productos se basan en la integración e interacción de variables de las temáticas de geomorfología, suelos y cobertura de la tierra, principalmente.

La geoinformación temática elaborada en el proyecto es un insumo para los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), principales y directos usuarios de estos insumos de diagnóstico y planificación, ya que podrán hacer un mejor análisis sobre la distribución y disposición del territorio, utilizarlos para formular objetivamente los Planes de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) y Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT), por ejemplo, identificando las zonas más idóneas para implementar infraestructura pública o los planes de vivienda de interés social, así mismo, mitigando daños ante peligros naturales. Entre estas temáticas, se encuentran la geomorfología y los suelos, que son elementos fundamentales del ordenamiento territorial, al implicar la identificación, clasificación y descripción de procesos y formas del terreno. La cartografía geomorfológica es crucial para la explotación y gestión de recursos naturales, además proporciona información valiosa sobre la distribución, composición y estructura de las formaciones geológicas y depósitos minerales,

de petróleo, gas o acuíferos subterráneos (Quesada & Peralta, 2023). Mediante su mapeo, comprensión y un análisis holístico, se puede realizar una mejor identificación y gestión de los recursos naturales y los riesgos ambientales (Zinck, 2012; Kwa, 2018).

En este estudio el objetivo es delimitar, a escala detallada (1:5 000), unidades geomorfológicas y sus características físicas de suelos, en la ciudad de Sangolquí, como un insumo para el desarrollo territorial con un enfoque de gestión de riesgos.

1.1. Área de estudio

La ciudad de Sangolquí pertenece al cantón Rumiñahui, la zona de estudio abarca 8 054,67 ha (Figura 1). Sangolquí se ubica a una altitud de entre 2 381 y 3 489 m snm, el clima en la ciudad es cálido templado, con una temperatura media anual de 15 °C, consta de dos parroquias rurales y cuatro urbanas, siendo la cabecera cantonal, es decir Sangolquí, la de mayor superficie en el cantón, en la antigüedad sus tierras eran destinadas a la producción de cultivos, actualmente sufre un gran proceso de expansión urbana (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, 2020). Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010) posee una población de 85 852 habitantes (43 935 mujeres y 41 917 hombres).

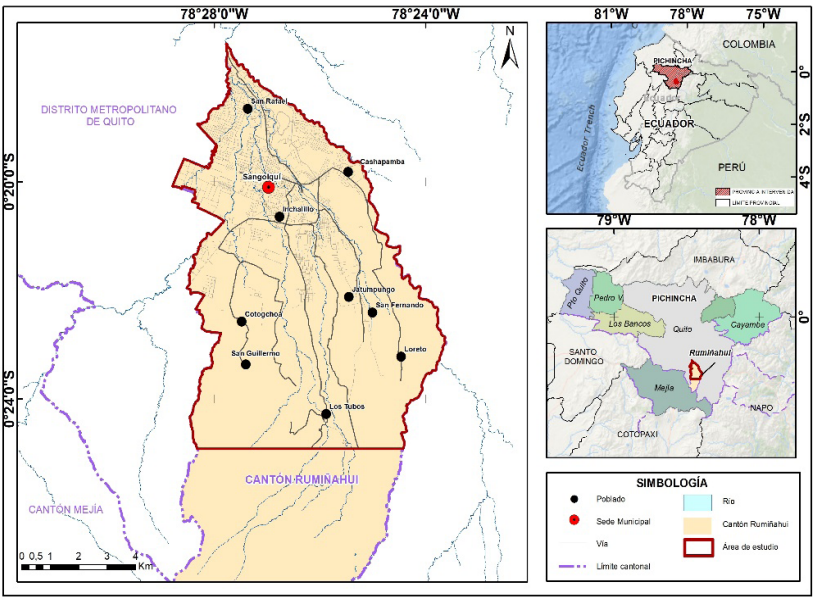

Figura 1. Área de estudio.
Fuente: elaboración propia.

2. Metodología

En este estudio se utilizó como base metodológica científica la ecología de paisaje (Zonneveld, 1989 y Kwa, 2018), donde la unidad mínima de análisis territorial, es la unidad geomorfológica (Zinck, 2012), delimitada a escala de detalle con la finalidad de analizar de una forma holística el territorio. Se generó información a nivel de las temáticas de geomorfología y suelos, además, se elaboró una delimitación de la amenaza volcánica. El estudio se desarrolló en tres etapas: gabinete (se analizó información secundaria y se generó la geoinformación), campo (se obtuvo datos in situ, principalmente de suelos y se validó la cartografía generada), y poscampo (se ajustaron los errores para obtener un mayor acercamiento a la realidad).

2.1. Geomorfología

Fue obtenida a partir de la fotointerpretación digital en tres dimensiones (3D) sobre bloques fotogramétricos ajustados en el *software* ERDAS (extensión LPS). Se utilizaron como insumos: 112 fotografías aéreas (*Ground Soil Distance* [GSD] de 20 cm), generadas por el IGM[1] distribuidas en siete líneas de vuelo, centros de exposición de las imágenes (X, Y, Z, Omega, Phi, Kappa) y los datos de calibración de la cámara métrica, logrando un proyecto ajustado en formato ".blk". Este proyecto permitió la visualización estereoscópica 3D para iniciar el proceso de fotointerpretación y digitalización o trazado de las formas del relieve (geoformas), mediante el uso de la extensión *Stereo Analyst* del *software* ArcGIS y utilizando un *softmouse* (herramienta física de un SIG), para la digitalización a una escala de 1:1 000.

Se utilizó además el Modelo Digital del Terreno (MDT) —otro insumo de pago del IGM, generado en el año 2019—, con tamaño del pixel de 3 m, con el que se generó un mapa de sombras (*hillshade*) y un mapa de pendientes expresado en porcentaje (Tabla 1), así mismo, se utilizó la cartografía de hidrografía, escala 1:5 000 del IGM.

Como insumos referenciales se utilizó el mapa geomorfológico del cantón Rumiñahui, generado por el Instituto Espacial Ecuatoriano en el año 2013, el cual, se encuentra a una escala 1:25 000, las hojas geológicas de Sangolquí y Píntag, de los años 1980 y 1986, respectivamente, elaborados por la Dirección General de Geología y Minas (DGGM), el mapa de paisajes naturales del Ecuador (Winckell *et al.*, 2019) e información bibliográfica.

Para la digitalización se consideró a la geoforma como la unidad básica de análisis territorial (Zinck *et al.*, 2016), combinada por una misma roca o material superficial y con características afines en cuanto a su origen, morfología y morfometría (Zuidam, 1986). Lo que quiere decir que las geoformas son áreas homogéneas, por sus características físicas y su relación con procesos morfogenéticos, siendo el resultado de las combinaciones dinámicas, a veces inestables de elementos físicos, biológicos y antropológicos, que concatenados

[1] Insumos pagados, disponibles en: http://www.geograficomilitar.gob.ec/productos-y-servicios/

hacen el paisaje un cuerpo único, indisociable, en perpetua evolución (Bertrand & Tricart, 1968).

Tabla 1. Parámetros de calificación en geoformas

Parámetros	*Descripción*
Morfogenéticos	Referidos al origen o procedencia de las formas del relieve y su evolución con el tiempo, en respuesta a los diferentes procesos naturales que se encargan de esculpir o modelar la superficie terrestre
Morfológicos	Aspectos cualitativos de las geoformas como forma de la cima y forma de la vertiente
Morfométricos	Aspectos medibles de la morfología como la pendiente (grado de inclinación de las vertientes en relación con la horizontal), desnivel relativo (diferencia de la cota más alta y baja de un relieve), y longitud de vertiente (distancia inclinada desde la parte más alta a la más baja de una forma de relieve)
Morfodinámicos	Procesos dinámicos, activos o que puedan activarse, de la Tierra. Se consideran los tipos de erosión
Geología	Composición de las geoformas en cuanto a su tipo de roca, depósito superficial o depósito volcánico

Fuente: elaboración propia.

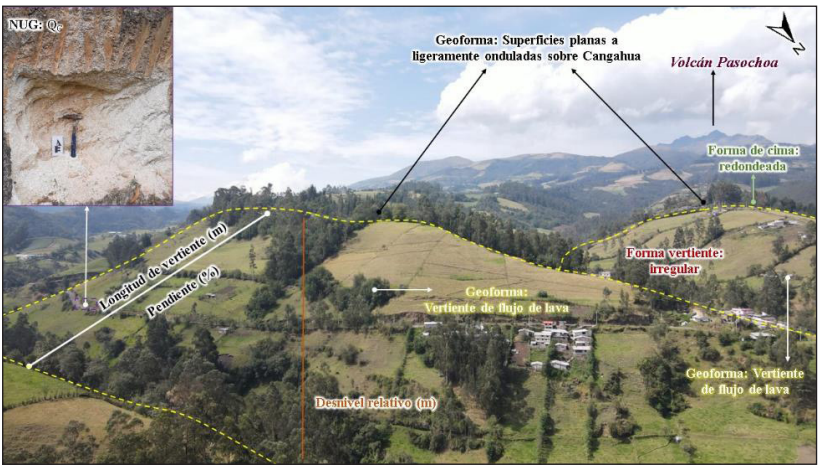

Figura 2. Ejemplos de parámetros morfométricos y morfológicos calificados en cada geoforma.
Fuente: Elaboración propia.

Debido a la escala de trabajo (1:5 000), se consideraron cinco parámetros (Tabla 1), que según Tricart (1965), Villota (2005), Pavlopoulos *et al.* (2009) y Summerfield (2013), son los de mayor importancia para la calificación en las geoformas: morfogenéticos, morfológicos, morfométricos, morfodinámicos

y la geología. La representación gráfica del mapa geomorfológico, es decir, la degradación de los colores, está ligada al ambiente geomorfológico, es decir, a los parámetros morfogenéticos (Figura 3 y Tabla 2), en función a referencias gráficas internacionales y propuestas elaboradas por Martín-Serrano *et al.* (2004) y Gustavsson *et al.* (2006).

2.2. Amenaza volcánica

Para su determinación, dentro de la zona de estudio, se utilizaron insumos a diferentes escalas, como el mapa regional de amenazas volcánicas potenciales del volcán Cotopaxi —zona norte—, elaborado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, 2016), el mapa de peligros volcánicos del Ecuador Continental, del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE, 2011). El procedimiento consistió en el análisis de la información generada por las diferentes instituciones y mediante herramientas de geoprocesamiento de un SIG, principalmente de superposición.

Tabla 2. Categorías de calificación en geoformas

Morfogenéticos	Origen*	Tectónico, tectónico erosivo, volcánico, glaciar, fluvio – glaciar, gravedad y movimientos en masa, erosivo, deposicional erosivo, fluvio-lacustre, deposicional, erosión fluvial, poligénicas y tecnogénesis
Morfológicos	Forma de la cima	Aguda, redondeada, plana y mixta
	Forma de la vertiente	Cóncava, convexa, rectilínea, irregular y mixta
Morfométricos	Pendiente (%)	0 a 2, > 2 a 5, > 5a 12, > 12 a 25, > 25 a 40, > 40 a 70, > 70 a 100, > 100 a 150, > 150 a 200, > a 200
	Desnivel relativo (m)	0 a 2, > 2 a 5, > 5 a 10, > 10 a 15, > 15 a 25, > 25 a 50, > 50 a 100, > 100 a 150, > 150 a 200, > 200 a 250, > 200 a 300, > 300 a 400, > a 400
	Longitud de vertiente (m)	< a 5, > 5 a 15, > 15 a 50, > 50 a 100, > 100 a 300, > 300 a 500, > a 500
Morfodinámicos	Tipo de erosión	Sin evidencia, laminar, en cárcavas, en surcos, antrópica, del cauce y marina
Geología**	Unidad geológica-NUG-	Formación -Fm- Cangahua (Q_C)
	Depósito Volcánico -DVQ-	Volcánicos Pasochoa (P_{PS})
	Depósito Superficial -TDS-	Aluvial, coluvial, laharítico, coluvio aluvial, de glacis

* Se muestran ejemplos de los orígenes establecidos por el IGM (2023).

** Se muestran las NUG, DVQ y TDS, encontradas en la ciudad de Sangolquí.

Fuente: elaboración propia.

El fotointérprete acopló a la fotointerpretación en 3D, basado en los parámetros geomorfológicos (génesis, geoforma) y morfométricos (el desnivel relativo), considerando el tipo de amenaza a lahares y flujos piroclásticos de los volcanes, en este caso, los de mayor influencia, como el Cotopaxi (de estado activo) y Ninahuilca (de estado potencialmente activo), y cuantificó cuatro niveles o grados de amenaza (nulo, bajo, medio y alto).

En campo se verificó la información generada en afloramientos naturales encontrados en ríos, quebradas o generados por apertura de vías para validar las potencias de estos fenómenos.

2.3. Cobertura y uso del suelo

Como parte importante del análisis territorial se realiza también la interpretación visual de la cobertura vegetal sobre productos de sensores remotos como ortofotos e imágenes satelitales, con base en sus colores, tonos, texturas y formas (Chuvieco, 2010; IGM, 2023).

Esta temática se generó a partir de la delimitación geomorfológica, se utilizó, como base conceptual, la interrelación de los cinco factores formadores del suelo (Jenny, 1941): a) material parental; b) relieve; c) clima; d) organismos; y e) tiempo. La fotointerpretación de geomorfología ofrece información referente al primer y segundo factor, personificadas por las variables: génesis, pendiente, nombre de la unidad geológica, tipo de depósito superficial y geoforma; la tercera variable, se encuentra representada por los regímenes de temperatura y humedad del suelo (Soil *et al.*, 2014), los cuales son obtenidos con base en la información de estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI); el cuarto factor por la cobertura vegetal y el tiempo que se encuentra transversal en todas las temáticas. Mediante el uso de herramientas SIG se interrelacionan los factores y se realiza la caracterización edafológica tomando en cuenta la relación suelo-paisaje (Zinck *et al.*, 2016). Las variables edafológicas consideradas para el estudio fueron: a) Profundidad efectiva; b) Drenaje; c) Textura; d) Nivel Freático; y, e) Pedregosidad en la superficie (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros edafológicos

Variables de suelos	*Categoría*
Profundidad Efectiva Se refiere a limitantes en el espesor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales se encuentre un impedimento físico, químico o biológico	Profundos (Sin limitantes) Moderadamente profundos (> 50 a 100 cm) Poco profundo (> 20 a 50 cm) Superficial (> 10 a 20 cm) Muy superficiales (0 a 10 cm)

(*continuación Tabla 3*)

Variables de suelos	*Categoría*
Drenaje Rapidez con que se elimina el agua sobrante en relación con las aportaciones (SENPLADES, 2013), determinada por siete propiedades: estructura, textura, porosidad, existencia de una capa impermeable, permeabilidad, posición del suelo en el paisaje y color (Porta & López, 2005; Universidad Nacional de Tucumán [UNT], 2017).	Excesivo (sin saturación de horizontes) Bueno (sin moteados en los 100 cm superiores o < 2% a 60-100 cm) Moderado (moteados del 2 al 20 % en 60-100 cm) Mal drenado (rasgos gleicos, propiedades estágnicas)
Textura Contenido relativo de las partículas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2010; Soil *et al.*, 2014)	Arcillo-arenoso, arcilloso, arcillo-limoso, franco arcillo-arenoso, franco arcilloso, franco-limoso, franco-arenoso, franco, franco-limoso, arenoso, areno-francosa, limoso.
Nivel Freático (NF) Lámina de agua libre que satura transitoria o permanentemente el suelo (IGAC, 2010; UNT, 2017)	Superficial (NF de 0 a 30 cm) Poco profundo (NF de 30 a 60 cm) Medianamente profundo (NF de 60 a 90 cm) Profundo (NF de 90 a 120 cm) Muy Profundo (NF > 120 cm) Sin Evidencia
Pedregosidad Presencia o ausencia de Fragmentos Gruesos (F) superficiales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2009; Ministerio de Medio Ambiente, 2014)	Nula (No posee F) Muy pocas (< 10% F) Pocas (10 a 25% de F) Frecuentes (25 a 50% de F) Abundantes (50 a 75% de F) Pedregoso (75% de F en la superficie)

Fuente: elaboración propia.

3. Resultados

Se determinó que la ciudad de Sangolquí se encuentra ubicada principalmente sobre dos paisajes morfológicos, el primero, referido a llanuras y valles anchos, planos a ligeramente ondulados cubiertos por los depósitos laháricos del volcán Cotopaxi, desarrolladas sobre depósitos heterogéneos cuyos componentes son exclusivamente volcánicos con una matriz arenosa sin estratificación, parcialmente de origen tobáceo, compuesta por proyecciones piroclásticas finas (cenizas, arena, lapilli); y el segundo, corresponde a flancos inferiores de los volcanes: "glacis-conos" en pendiente suave, de disección débil a moderada con cobertura potente y continua de proyecciones piroclásticas cementadas en Cangahua, este último paisaje procedente únicamente al volcán Pasochoa (estado: extinto o dormido).

Los paisajes están asociados a unidades originadas en ambientes geomorfológicos de tipo: volcánico, deposicional, poligénicas, erosión fluvial, gravedad y movimientos en masa y tecnogénesis. Además, existe una categoría "No aplica" que se refiere a ríos, lagos, lagunas, islas, estanques y reservorios que representan el 0,74%, correspondiente a 59,86 ha (Tabla 4) (Figura 3).

Tabla 4. Geoformas en el área de estudio de Sangolquí y sus características

Geoforma	*Pendiente (%)*	*Desnivel relativo (m)*	*NUG, DVQ o TDS*	*Textura**
Geoformas de origen volcánico 7 393,39 ha (91,78%)				
Superficie de lahar antiguo	< a 25	< 5	Laharítico	F
Vertiente de lahar antiguo	12 a 150	< 50	Laharítico	FA
Superficies de planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua	< a 25	< 5	Q_C	FYA
Vertiente de Cangahua	12 a 150	< 50	Q_C	FYA
Flujo de lava antiguo	25 a 100	2 a 50	P_{PS}	FA
Superficie de flujo de lava antiguo	5 a 12	2 a 5	P_{PS}	F
Vertiente de flujo de lava	12 a 150	2 a 150	P_{PS}	FYA
Abrupto de flujo de lava	100 a 200	10 a 150	P_{PS}	FA
Geoformas de origen deposicional 211,40 ha (2,63%)				
Glacis de esparcimiento	5 a 12	2 a 10	De glacis	YA
Glacis de esparcimiento disectado	12 a 25	2 a 15	De glacis	FA
Terraza alta	2 a 5	5 a15	Aluvial	F
Terraza media	< a 5	< a 5	Aluvial	FA
Terraza baja	< a 5	< a 2	Aluvial	FA
Meandro abandonado	< a 2	< a 2	Aluvial	FA
Geoformas de origen poligénicas 189,65 ha (2,36%)				
Coluvio aluvial antiguo	2 a 12	< a 5	Coluvio aluvial	F
Superficie de coluvio aluvial antiguo	5 a 25	2 a 10	Coluvio aluvial	FYA
Geoformas de origen erosión fluvial 154,48 ha (1,92%)				
Garganta	70 a 150	< a 50	Q_C, P_{PS}, Coluvio aluvial, Laharítico	FYA
Barranco	70 a 150	5 a 15	P_{PS}	FA

(*continuación Tabla 4*)

Geoforma	*Pendiente (%)*	*Desnivel relativo (m)*	*NUG, DVQ o TDS*	*Textura**
Geoformas de origen gravedad y movimientos en masa 25,85 ha (0,32%)				
Escarpe de deslizamiento	100 a 200	5 a 50	P_{PS}, Q_C	FA
Coluvión reciente	40 a 100	2 a 5	Coluvial	F
Coluvión antiguo	25 a 70	< a 10	Coluvial	F
Talud de derrubios antiguo	40 a 100	2 a 15	De derrubios	F
Cono de derrubios antiguo	40 a 70	5 a 15	De derrubios	F

* Clases texturales dominantes por geoforma: FYA: Franco arcillo arenoso, F: Franco, FA: Franco arenoso, YA: arcillo arenoso.

Fuente: elaboración propia.

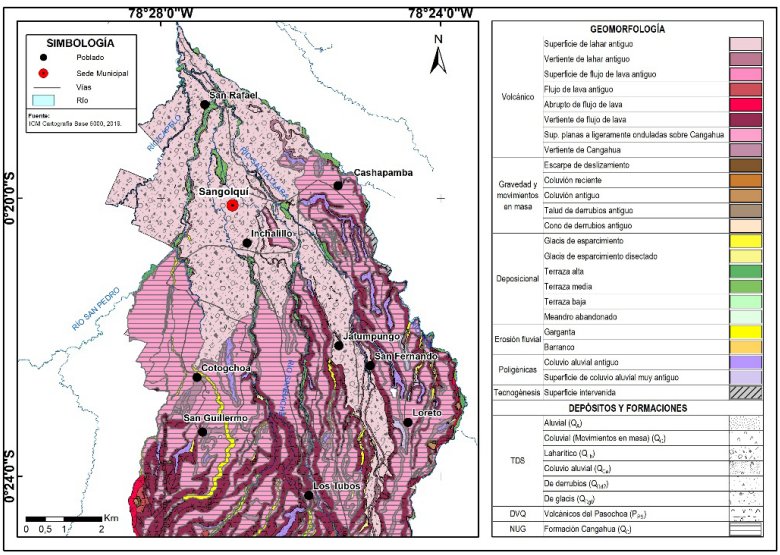

Figura 3. Unidades geomorfológicas de la ciudad de Sangolquí.
Fuente: elaboración propia.

3.1. Ambiente geomorfológico: Volcánico

Son producto de la actividad volcánica y dependerán de factores como el tipo de erupción, los productos eruptivos (flujos de lava o material piroclástico) y de la viscosidad del magma, así como del relieve preexistente de la zona de estudio (Rodríguez y Fernández, 2015). Son las más representativas del área de estudio y han sido producto de la influencia de los volcanes: Cotopaxi y Pasochoa (Tabla 5). En este ambiente se encuentran las siguientes unidades geomorfológicas:

Tabla 5. Geoformas de origen volcánico, por superficie en el área de estudio

Geoforma	*Símbolo*	*Superficie (ha)*
Superficie de lahar antiguo	Slha	2 552,95
Vertiente de lahar antiguo	Vlha	153,87
Superficies de planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua	Ssc	2 697,16
Vertiente de Cangahua	Vssc	318,17
Flujo de lava antiguo	Fla	26,97
Superficie de flujo de lava antiguo	Sfla	2,78
Vertiente de flujo de lava	Vfl	1 597,05
Abrupto de flujo de lava	Aflv	44,44

Fuente: elaboración propia.

Lahares, son corrientes densas de agua y material volcánico que fluye rápidamente desde un volcán, típicamente a lo largo de un valle fluvial. Son los flujos gravitacionales más comunes y destructivos relacionados con los volcanes (Vallance & Iverson, 2015). Provienen del volcán Cotopaxi y se clasifican en: a) superficie de lahar antiguo y b) vertiente de lahar antiguo (Figura 4).

Superficies y vertientes de Cangahua, su origen es en gran parte debida a caída de cenizas, que se deriva de la Formación Cangahua, consiste en cenizas volcánicas, cenizas retrabajadas (especialmente por vientos), sedimentos fluviales y lacustres y suelos incipientes. Gran parte de la ceniza y el polvo volcánico está compuesta por un alto porcentaje de vidrio volcánico, pómez, cristales de minerales volcánicos y un contenido promedio de 65% de sílice, cuyos depósitos han sufrido numerosos procesos de removilización, meteorización y endurecimiento (Mothes, 1991). Se dividen en: a) superficies de planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua y b) vertiente de Cangahua (Figura 5).

Flujos de lava, son corrientes de roca fundida, incandescente y relativamente fluida, cuyas temperaturas pueden superar los 1 000 °C al salir del cráter o de una grieta en el flanco del volcán. Generalmente tienen forma de lengua y viajan preferencialmente en los drenajes hacia las zonas más bajas del relieve cubriendo el perfil topográfico preexistente. Las distancias que un flujo de lava alcanza depende de la viscosidad, composición y el volumen de la lava emitida, además de la pendiente y las barreras geográficas presentes (Mothes, 1991) (Figura 4). Provienen del volcán Pasochoa y se clasifican en: a) flujo de lava antiguo, que, en función a la escala de trabajo, trazado cuando no es posible cartografiar superficie y vertiente, o a la vez presenta una pendiente mayor de 25%; b) superficie de flujo de lava antiguo; c) vertiente de flujo de lava; y, d) abrupto de flujo de lava.

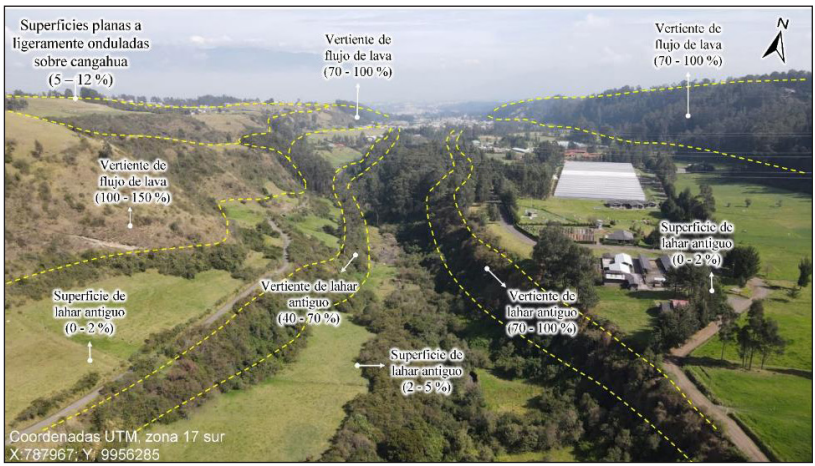

Figura 4. Ejemplos de geoformas: superficie y vertiente de lahar antiguo, superficies planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua y flujos de lava, sector IASA. Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Ejemplos de geoformas: superficies planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua, vertientes de Cangahua y flujos de lava, sector Los Tubos. Fuente: elaboración propia.

3.2. Ambiente geomorfológico: Deposicional

Estas formas son originadas por el depósito de material transportado por agentes erosivos como el agua, viento y cambios bruscos de temperatura (Gutiérrez & Gutiérrez, 2016), cubren una extensión de 211,40 ha correspondientes al 2,63%, cuyas geoformas encontradas en el área de estudio son:

- Glacis de esparcimiento, son superficies planas y suavemente inclinadas (con o sin recubrimiento) que desde las vertientes montañosas se enlazan con el fondo de un valle o depresión (Acaso *et al.*, 2007). Se clasifican en: glacis de esparcimiento y glacis de esparcimiento disectado, cuya escorrentía superficial se muestra concentrada y se aprecia un cierto grado de incisión en dichas formas de drenaje (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGAP], 2015).
- Terrazas, superficies relativamente planas, horizontales o con inclinación suave, ubicadas por encima de los márgenes y a lo largo del curso de un río que corresponden a remanentes de antiguas llanuras aluviales y marcan niveles anteriores de los pisos de un valle (Vargas, 1992), dando lugar a tres tipos diferentes de terrazas (altas, medias y bajas). Ligadas a depósitos aluviales de los ríos: San Nicolás, Sambache, Santa Clara, San Pedro y Pita.
- Meandro abandonado, se caracteriza por su contorno arqueado y configuración alargada, que puede estar abierto o cerrado, semejante a la forma de una herradura. Corresponde a un segmento curvo del cauce principal cuando estuvo activo, que se encuentra desconectado del curso actual debido a la dinámica continua de divagación del mismo, que en algunas ocasiones presenta cuerpos de agua permanentes. El proceso dominante en esta geoforma es la colmatación con sedimentos tamaño arcilla y en algunas ocasiones presenta cuerpos de agua permanente (MAGAP, 2015). Se asocia a depósitos tipo aluvial (Tabla 6).

Tabla 6. Geoformas de origen deposicional, por superficie en el área de estudio

Geoforma	*Símbolo*	*Superficie (ha)*
Glacis de esparcimiento	Ges	10,36
Glacis de esparcimiento disectado	Gesd	11,86
Terraza alta	Ta	20,30
Terraza media	Tm	164,07
Terraza baja	Tb	4,75
Meandro abandonado	M	0,06

Fuente: elaboración propia.

3.3. Ambiente geomorfológico: Poligénicas

Se refiere a los relieves cuya elaboración ha sido precedida por varias fases de estabilidad, de las cuales se conservan sus trazas, y están representados por varios orígenes de geoformas (Abraham & Salomón, 2008, p. 35), siendo las siguientes:

Coluvio aluviales, son un conjunto de depósitos formados por una corriente fluvial que al transcurrir por un valle intercolinado deposita materiales aluviales junto con aportes gravitacionales laterales (Villota, 2005). Se clasifican en: a) coluvio aluvial antiguo, con un área de 164,73 ha; y, b) superficie de coluvio aluvial muy antiguo, cubre una superficie de 24,92 ha.

3.4. Ambiente geomorfológico: erosión fluvial

Richards (1987, como se citó en Gutiérrez, 2008) refiere que "el modelado del relieve producto de la erosión fluvial es originado por la relación entre procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales creados por el transporte de sedimentos" (p. 276). Corresponden a:

- Garganta, es una depresión terrestre profunda y rocosa con lados empinados, donde la erosión fluvial ha jugado un papel importante en su formación. Cubre una superficie de 152,86 ha.
- Barrancos, abarcan un área de 1,62 ha, son canales pequeños y profundamente disectados, tallados por episodios de flujos terrestres, generalmente relacionado con eventos de lluvias severas. Típicamente tiene lados pronunciados (Gutiérrez & Gutiérrez, 2016). Disectan netamente a los flujos de lava provenientes de los Volcánicos Pasochoa.

3.5. Ambiente geomorfológico: gravedad y movimientos en masa

Resultan de la acción de la fuerza de gravedad sobre las masas de rocas o suelos que se desplazan por pendientes o superficies irregulares. Estos movimientos pueden ser rápidos o lentos, y pueden afectar a grandes o pequeñas extensiones de terreno. Los movimientos en masa pueden estar asociados a factores como la erosión, el clima, la vegetación, los sismos, la actividad volcánica o la intervención humana (Forero-Ospino y Duarte-Delgado, 2019). Entre los cuales se encuentran:

- Coluviones, son geoformas que proceden de deslizamientos, derrumbes, flujos terrosos o desprendimientos, depositándose a corta distancia de la fuente, con lo cual los fragmentos no alcanzan a modificar sus formas angulares. Su distribución es caótica, sin sorteamiento ni estratificación (Villota, 2005). Se clasifican en: a) coluvión reciente (0,21 ha); b) coluvión antiguo (8,05 ha); y, c) escarpe de deslizamiento, que corresponde a una geoforma muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original (Suárez, 2009), cubre una superficie de 7,76 ha.
- Conos de derrubios antiguos, cubren una extensión de 3,91 ha, son un conjunto de depósitos de forma semicónica formado al pie de acantilados, escarpes y laderas muy empinadas prácticamente sin suelo ni vegetación (Villota, 2005).
- Talud de derrubios antiguos (5,92 ha), son la sucesión de conos de derrubios formados hacia la base de un escarpe recibe la denominación de talud de

derrubios. Estos depósitos tienden a desarrollar suelo y cobertura vegetal estabilizadora (Villota, 2005). La distribución de las geoformas puede observarse en la Figura 3.

3.6. Ambiente geomorfológico: Tecnogénesis

Superficies intervenidas (20,04 ha), son espacios que han sido modificados por intervención antrópica como áreas aplanadas, taludes, aperturas de vías, entre otros.

Geológicamente las geoformas interpretadas en el área de estudio se componen de: a) Volcánicos Pasochoa (P_{PS}) (1 703,24 ha; 21,15 %), pertenecientes al Pleistoceno – Holoceno (DGGM, 1986), formando los flujos de lava de este volcán; b) Formación Cangahua (Q_C) (3 127,41 ha; 38,82%), dataciones radiométricas indican una edad Pleistoceno superior a Holoceno (Instituto de Investigación Geológico y Energético [IIGE], 2019), asociadas únicamente a las superficies planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua y vertientes de Cangahua, pero son geoformas que han cubierto parcialmente los flujos de lava; y, c) Depósitos laharíticos (2 719,82 ha; 33,77%), considerados como depósitos superficiales del Holoceno (DGGM, 1986) y ligados a los lahares provenientes del volcán Cotopaxi. En menor proporción existen depósitos superficiales tipo: aluvial, coluvio aluvial, de glacis, de derrubios y coluvial.

Los Volcánicos Pasochoa cubren la parte sur del área de estudio, en el sector El Capulí (coordenadas UTM X: 789671; Y: 9956773) (Figura 6) se evidencian lavas andesíticas en la base, seguidamente flujos piroclásticos, mal clasificados,

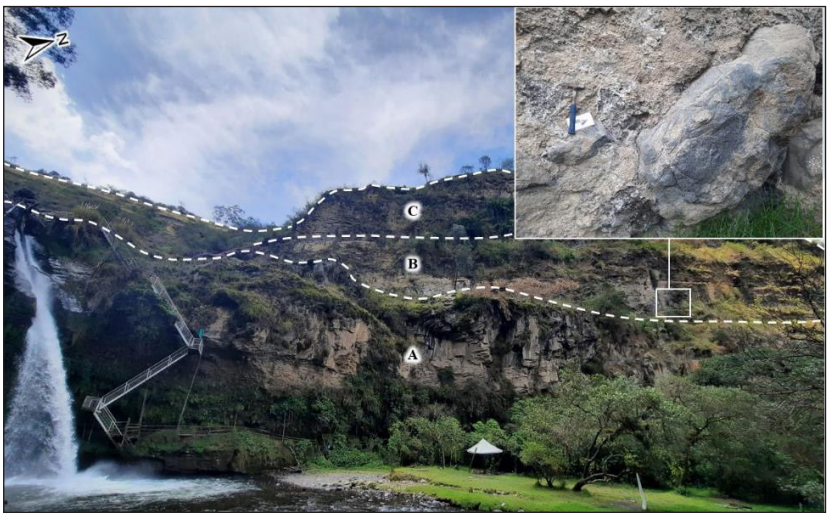

Figura 6. Afloramiento de Volcánicos Pasochoa. A: lavas andesíticas; B: flujos piroclásticos; C: tobas, cenizas y pómez.
Fuente: elaboración propia.

constituidos por lapilli, bloques y bombas, asociados a las vertientes de flujos de lava provenientes de este volcán, flujos que se encuentran cubiertos por la Formación Cangahua.

En la Figura 7 se observa un afloramiento de Formación Cangahua, ubicado en el sector Los Tubos (coordenadas UTM: X: 785830; Y: 9955410). Se encontraron intercalaciones de tobas de grano fino a grueso, pómez y lapilli. Esta formación es la más representativa del área de estudio y cubre gran parte del sector, abarcando los flujos de lava provenientes del volcán Pasochoa.

Además, se encontró depósitos laharíticos (Figura 8) en el sector San Fernando (coordenadas UTM X: 787300; Y: 9958390), se presentan caóticos, pobremente sorteados, constituidos por clastos subangulares con tamaño de arena a grava y ocasionalmente bloques, englobados en matriz fina arcillo arenosa sin estratificación, ligados netamente a las lahares provenientes del volcán Cotopaxi, según la DGGM (1986) éstos se produjeron en la erupción del 26 de junio de 1877, donde las enormes masas sueltas son acarreadas por aguas torrenciales del deshielo depositándose sobre las partes bajas.

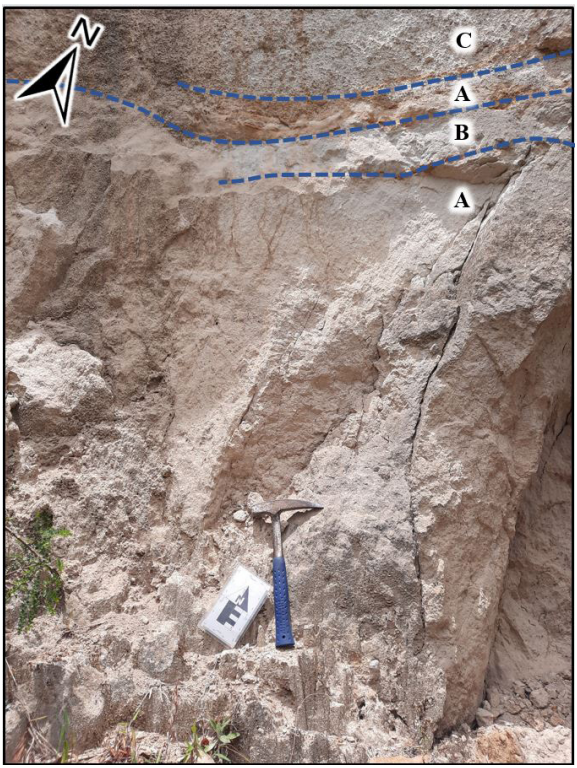

Figura 7. Afloramiento de Fm. Cangahua. A: Tobas de grano fino; B: tobas de grano grueso; C: lapilli y pómez.
Fuente: elaboración propia.

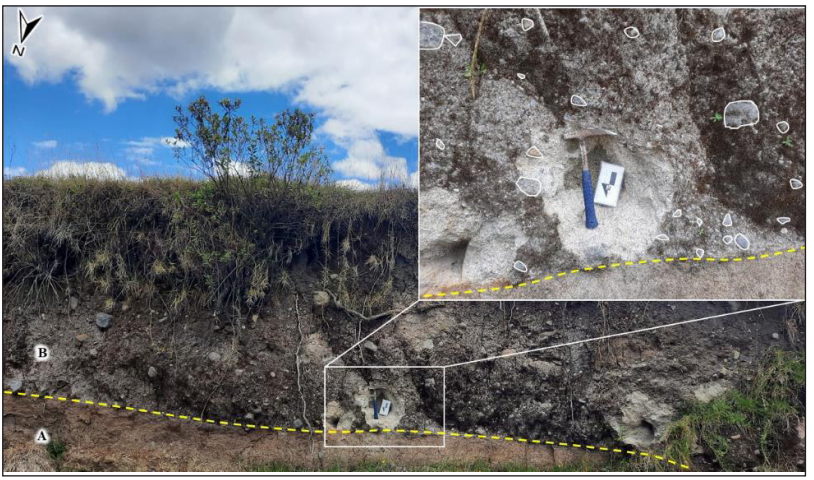

Figura 8. Afloramiento de Depósito laharítico. A: Tobas; B: clastos subangulosos englobados en una matriz fina.
Fuente: elaboración propia.

3.7. Amenaza volcánica

En cuanto a amenaza volcánica se determinaron tres categorías, exclusivamente para lahares: alto (1 711,78 ha), medio (3 400,42 ha) y nulo (2 882,60 ha), la categoría baja no existe en el sector de estudio. Las geoformas que se enmarcaron dentro del grado de amenaza alto, se encuentran bordeando, principalmente, los ríos Pita y Santa Clara, que son los afluentes que transportarían los materiales provenientes del volcán Cotopaxi (estado: activo), según el IGEPN, 2016; y las geoformas que bordean el río San Pedro que es el afluente principal del volcán Ninahuilca (estado: potencialmente activo) (SNGRE, 2011), pero a la escala de trabajo en estudio (1:5 000) es necesario un análisis detallado de los parámetros morfométricos de cada geoforma, siendo así que, según el desnivel relativo de cada una, y al no existir barreras topográficas que dividan las categorías, fue necesario incluir nuevas zonas que se enmarcan en la clase de amenaza alto, ligadas mayormente a las geoformas superficies de lahar antiguo con desniveles relativos de 2 a 5 metros. Así mismo, para el grado de amenaza medio, se determinaron nuevas zonas continuas al grado alto, igualmente, se analizó desnivel relativo y barreras topográficas en caso de existir, se asocian principalmente a geoformas como: superficie de lahar antiguo, superficies planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua, ambas con desniveles relativos menores a 5 m y vertientes de flujos de lava con desniveles relativos de 2 a 100 m.

Finalmente, para el grado de amenaza nulo, delimitadas continuas al grado de amenaza anterior, son áreas que no serán afectadas por la actividad volcánica, al encontrarse alejadas de la zona vulnerable, generalmente son geoformas con desniveles relativos que superan los 50 metros (Figura 9).

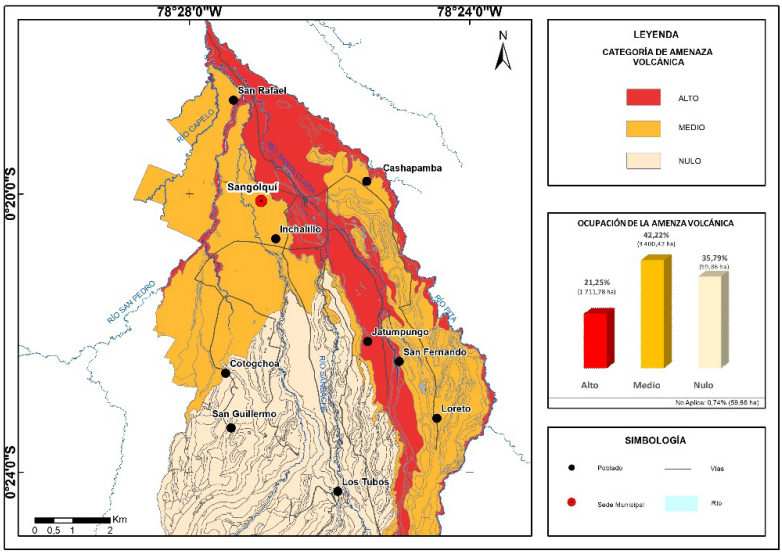

Figura 9. Zonificación de amenaza volcánica de la zona de estudio de la ciudad de Sangolquí.
Fuente: elaboración propia.

3.8. Edafología

En los suelos, se determinaron seis clases texturales, dominando, por superficie, la textura de tipo franco arcillo arenosa (3 900,17 ha), seguida de la franca (2 771,61 ha), en tercer lugar, la textura de tipo franco arenosa (1 276,32 ha) y en menor superficie las de tipo arenosa, franco arcilloso y arcillo arenosa (19,47 ha, 16,31 ha y 10,36 ha, respectivamente). En su mayoría, poseen buen drenaje, abarcando una superficie de 5 975,43 ha, los suelos de drenaje moderado se encuentran en 1 999,33 ha y los de tipo excesivo en 19,47 ha. Así mismo, se determinó que existen cuatro categorías de presencia del nivel freático: poco profundo (1 768,99 ha), medianamente profundo (33,77 ha), profundo (53,84 ha) y sin evidencia (6 132,64 ha). En cuanto a la pedregosidad, se determinaron cinco categorías: nula (3 348,58 ha), muy pocas (1 556,71 ha), pocas (2 602,02 ha), frecuentes (46,51 ha) y abundantes (440,43 ha). Algunos ejemplos de los suelos son presentados en la Figura 10; se puede evidenciar, por ejemplo, texturas tipo franco y franco arcillo arenosa, ligadas al origen volcánico de estos, sin presencia de moteados, lo que refleja un buen drenaje en el suelo.

4. Discusión de resultados

Se generó cartografía temática a escala 1:5 000, mitigando la necesidad de información a este nivel de detalle, ya que, según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2016), en el Ecuador existe una escasa información de cartografía oficial de este tipo; la geoinformación generada

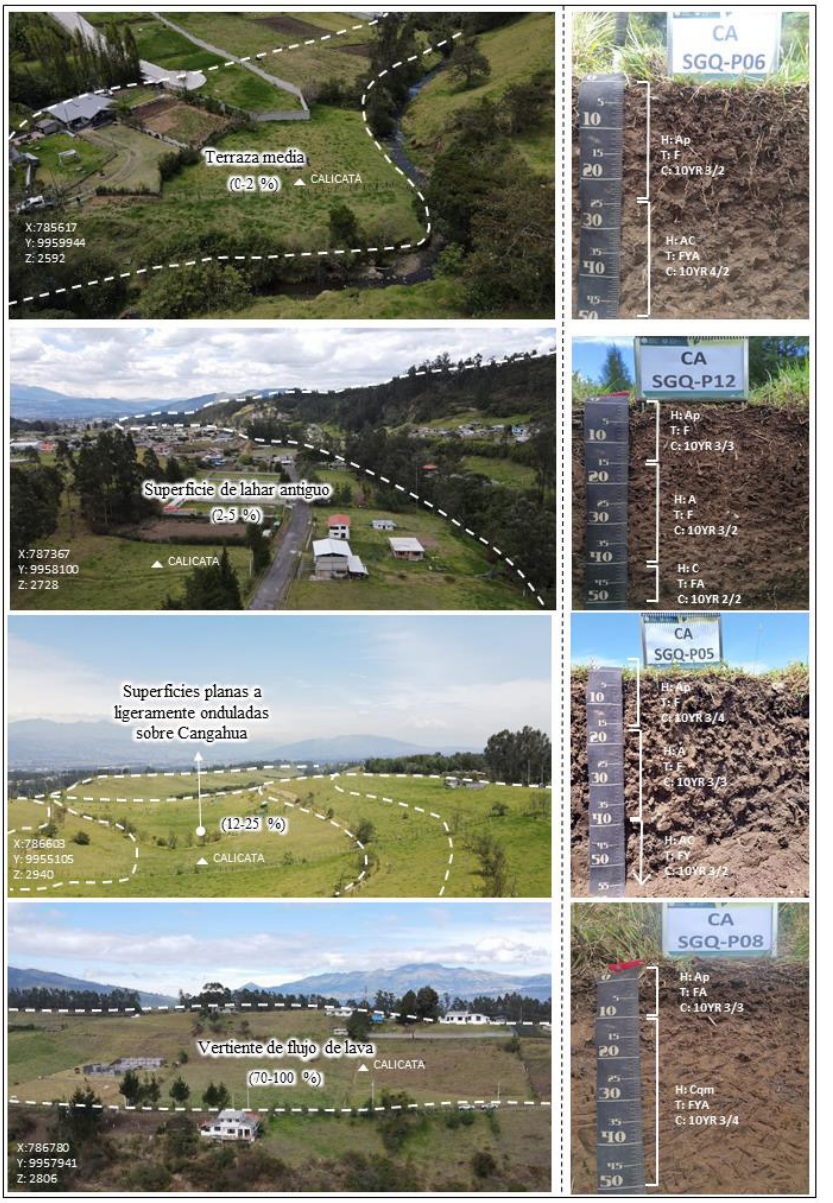

Figura 10. Ejemplos de perfiles de suelos y sus características físicas, descritas mediante la apertura de calicatas. En donde, H: simbología del horizonte; T: textura; C: color Munsell en húmedo.
Fuente: elaboración propia.

aportará a los GAD para el fortalecimiento de sus competencias en todos los ámbitos de la administración pública, así como también al cumplimiento de la política de ordenamiento territorial; complementando, con base al Plan de Desarrollo Territorial, Objetivo 3, (2017- 2021), el cual menciona que la gestión del suelo no debe comprometer su uso y acceso a las futuras generaciones.

Se comprobó que el área de estudio se asienta sobre dos paisajes morfológicos de conformidad con el mapa de paisajes de (Winckell *et al.*, 1997), como: llanuras y valles anchos, planos a ligeramente ondulados cubiertos por los depósitos laháricos del volcán Cotopaxi; y, flancos inferiores de los volcanes: "glacis-conos" en pendiente suave, de disección débil a moderada con cobertura potente y continua de proyecciones piroclásticas cementadas en Cangahua. Paisajes que se asocian mayormente a geoformas de origen volcánico.

En el área Geológica se determinó principalmente la existencia de: a) Volcánicos Pasochoa, constituidos por lavas andesíticas, piroclastos, que forman los flujos de lava de este volcán, éstos, cubiertos por Cangahua, información corroborada con la descrita en la hoja geológica de Píntag (DGGM, 1986); b) Formación Cangahua, compuesta mayormente de tobas coincidiendo con la descripción de la hoja geológica de Sangolquí (DGGM, 1980), asociadas a las superficies planas a ligeramente onduladas y vertientes de Cangahua; y, c) Depósitos laharíticos, provenientes del volcán Cotopaxi, constituidos por clastos subangulares con tamaño de arena a grava y bloques, englobados en matriz fina, sin estratificación, concordando con las hojas geológicas de Sangolquí y Píntag.

La amenaza volcánica a lahares corresponde a los volcanes Cotopaxi y Ninahuilca, afectando principalmente a zonas aledañas a los ríos Pita, Santa Clara y San Pedro, en sincronía con la información publicada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN, 2016), y el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE, 2011), pero a la escala de trabajo en estudio (1:5 000) fue necesario un análisis detallado de los parámetros morfométricos de cada geoforma, siendo así que, según el desnivel relativo de cada una e integrado al análisis de las variables de suelos, como las texturas gruesas y medias encontradas (principalmente franco, franco arenoso y franco arcillo limoso), las evidencias de campo como los depósitos laharíticos (clastos subangulares con tamaño de arena a grava y ocasionalmente bloques, englobados en matriz fina arcillo arenosa sin estratificación) encontrados, y mediante un análisis holístico del territorio, se puede determinar la existencia de la amenaza y calificar su grado en cada unidad de tierra, permitiendo crear un diagnóstico de zonas amenazadas, alertando a las autoridades encargadas de la toma de decisiones y a la población cercana con el fin de que adopten medidas de prevención y puedan minimizar los daños al momento de un suceso (Medina, 2005).

En la zona de estudio, los suelos son generalmente de texturas de tipo areno-francoso, franco y franco arcillo arenoso, concordando con la información obtenida en la descripción de perfiles desarrollados en la zona norte de la Sierra cercanos al volcán Cotopaxi (Espinosa *et al.*, 2020); además, Winckell *et al.* (1997) mencionan que los suelos ubicados alrededor del volcán Cotopaxi, Tungurahua

y Sangay son de textura gruesa, es decir, poco evolucionados, jóvenes y provenientes de cenizas muy recientes.

Las parámetros geomorfológicos y edafológicos considerados dentro de este estudio son indispensables para el desarrollo de modelos para el desarrollo territorial, como el realizado por Oña *et al*. (2023), en el que delimita zonas con condiciones favorables o no, para un desarrollo constructivo; en dicho análisis, se utilizan e interaccionan variables morfométricas, morfológicas, edafológicas y se genera un modelo de la aptitud física constructiva, el cual, en combinación con las amenazas naturales, dan como resultado otro modelo nombrado capacidad de acogida.

5. Conclusiones

El área de estudio de Sangolquí se encuentra principalmente sobre los paisajes: a) llanuras y valles anchos, planos a ligeramente ondulados, cubiertos por los depósitos laháricos del volcán Cotopaxi; y, b) flancos inferiores de los volcanes, representados por geoformas de origen volcánico como superficies de planas a ligeramente onduladas sobre Cangahua, superficies de lahar antiguo y vertientes de flujos de lava. Debido a su origen, el grado a amenaza volcánica a lahares, en su mayoría va de medio a alto.

En superficie el suelo posee texturas del tipo franco arenoso, franco y franco arcillo arenoso, como las más representativas, que corresponden en su mayoría a los suelos de aportes recientes ubicados alrededor del Cotopaxi, conocidos como suelos poco evolucionados, en su mayoría con drenaje bueno.

El estudio geomorfológico y de suelos, a detalle, es el punto de partida para la generación de modelos cartográficos, como amenazas volcánicas en este caso, o pudiendo generar modelos de amenazas a deslizamientos o inundaciones, ya que mapean las características morfométricas, morfológicas y edafológicas que intervienen como condicionantes en el desarrollo de este tipo de fenómenos naturales; información que se convierte en un insumo primordial en la toma de decisiones para la gestión del territorio. Además, nos permite identificar las relaciones que suceden en cada unidad de tierra en cuanto a sus variables físicas e identificar sus posibles comportamientos.

La delimitación de las formas de la tierra con sus características de suelos generada a detalle es también la base para la elaborar el modelo de capacidad de uso de las tierras, el cual es un insumo primordial para la planificación territorial, ya que, con base en las características de cada unidad de tierra, se conocerá su potencialidad y/o restricciones para encaminarla a algún tipo de actividad.

Los insumos geomorfológicos y edafológicos generados a escala 1:5 000 aportan al desarrollo de estudios y/o productos temáticos en diversos análisis, conocer el fenosistema (componentes del paisaje que percibimos) y el criptosistema (elementos que constituyen el paisaje y no percibimos), nos permite tener una idea clara del territorio y aplicar esta información en proyectos agrícolas, de conservación, construcción, entre otros.

Bibliografía

Acaso, E.; Loeches, M., Moya, M., Ruiz, B. & Calonge, A. (2007). Geología y geomorfología del campus. *Cuadernos del Campus Naturaleza y Medio Ambiente N°4.* Universidad de Alcalá, España. ISSN: 1885-625X. https://www.uah.es/export/sites/uah/es/conoce-la-uah/compromiso-social/sostenibilidad-medioambiental/ecocampus/.galleries/documentos/Ecocampus/geologia.pdf

Abraham, E. & Salomón, M. (2008). Componente Morfoedáfico. *Aportes hacia la integración de distintas disciplinas: glosario técnico del Proyecto Indicadores y tecnologías apropiadas de uso sustentable del agua en las tierras secas de Iberoamérica,* 14, 13-43.
https://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/publicaciones/glosario/PDF/comp_11.pdf

Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial (2020). *Estrategia de gestión financiera ante el riesgo de desastres para Ecuador*, Washington, USA. https:// documents1. worldbank. org/curated/en/322961617112468381 pdf/Estrategia-de-Gesti%C3%B3n-Financiera-Ante-El-Riesgo-de-Desastres-para-Ecuador.pdf

Bertrand, G. & Tricart, J. (1968). Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 39 (3), 249-272. https://doi.org/10.3406/rgpso.1964.4776 (hal-02611126).

Campos, N.; Quesada-Román, A. & Granados-Bolaños, S. (2022). Mapping Mountain Landforms and Its Dynamics: Study Cases in Tropical Environments. *Appl. Sci.*, 12, 10843. https://doi.org/10.3390/app122110843

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio* (3a. edición actualizada), Barcelona: Editorial Ariel.

Dirección General de Geología y Minas (1980). Hoja geológica de Sangolquí, escala 1: 50.000 [Hoja 84-SW: CT-ÑIII-B3].
https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-50-000/

Dirección General de Geología y Minas (1986). Hoja geológica de Píntag, escala 1: 100.000 [Hoja 85: CT-ÑIIID-3992].
https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-50-000/

Espinosa, J.; Moreno, J. & Bernal, G. (2022). *Suelos del Ecuador: clasificación, uso y manejo*. Quito, Ecuador: Instituto Geográfico Militar (IGM).
https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/

Ferrando-Acuña, F. & de Luca, F. (2011). *Geomorfología y paisaje en el ordenamiento territorial: valorizando el corredor inferior del río Mapocho* (pp. 65-86). Universidad de Chile. https://doi.org/10.5354/0719-5370.2011.18498

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Cantón Rumiñahui*. Actualización 2020-2025. Sangolquí, Ecuador.
https://www.ruminahui-aseo.gob.ec/wp-content/uploads/PDYOT-2020-2025.pdf

Gómez, D. & Gómez, M. (2014). Marco conceptual para la ordenación territorial y reflexiones sobre el proceso ecuatoriano en la materia. Una visión sobre qué es, para qué sirve, como se hace y como se viene haciendo la ordenación territorial en Ecuador [Resumen de presentación de la conferencia]. IX Simposio Nacional de Desarrollo Urbano y Planificación T erritorial. Cuenca, Ecuador.
https://www.sndu.org/ponencias/panel1/D_Gomez_Orea.pdf

Gutiérrez, F. & Gutiérrez, M. (2016). *Landforms of the Earth*. Zaragoza. Springer International Publishing.

Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Educación.

Gustavsson, M., Kolstrup, E. & Seijmonsbergen, A. C. (2006). A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*, 77 (1-2), 90-111. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.026

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2009). *Guía para la descripción de suelos*, Roma. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54d0348-dfce-413c-bd5d-142b3a14a049/content

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (2016). Mapa regional de amenazas volcánicas potenciales del volcán Cotopaxi -zona norte-, escala 1: 50 000 [Mapa]. https://www.igepn.edu.ec/cotopaxi-mapa-de-amenza-volcanica

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *El ABC de los suelos para no expertos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://www.scribd.com/document/642382344/El-ABC-de-los-Suelos-pdf

Instituto Geográfico Militar (2023). *Memoria Técnica del proyecto Determinación de la capacidad de acogida del territorio con fines de desarrollo urbano mediante la generación de geoinformación temática a escala 1: 5000 de la ciudad de Sangolquí,* IGM. https://www.geportligm.gob.ec/nextcloud/idex.php/s/CA?dir=undefined&path=/2023/PICHINCHA/SANGOLQUI/MEMORIA%20T%C3%89CNICA&openfile=1477026

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2010). Resultados Censo de Población. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Jenny, H. (1941). Factors of soil formation: A system of quantitative Pedology. California: McGraw-Hill Publications in the Agricultural Sciences. University of California, Berkeley.

Kwa, C. (2018). The visual grasp of the fragmented landscape: plant geographers vs. plant sociologist. Historical Studies in the Natural Sciences, 48 (2), 180-222. https://doi.org/10.1525/hsns.2018.48.2.180

Martín-Serrano, A.; Salazar, Á.; Nozal, F. & Suárez, Á. (2004). *Mapa Geomorfológico de España a escala 1:50.000: Guía para su elaboración*. Instituto Geológico y Minero de España.

Medina, Y. (2017). *Zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la cuenca del Rio Patía, Departamento del Cauca* [Tesis de Especialización, Universidad de Manizales , Colombia]. https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/3092

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (2015). Procesamientos de geomorfología. Levantamiento de cartografía temática, escala 1:25.000, Lote 1 y 2. *Glosario de Geoformas*. https://fliphtml5.com/wtae/wxuu/basic

Ministerio de Medio Ambiente (2014). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid: Reprografía CIMA S. L. https://www.researchgate.net/publication/263442244_Guia_para_la_elaborcion_de_estudios_del_medio_fisico_Contenido_y_metodologia_5th_reprint

Moreno, C. (1992). *Fundamentos de geomorfología*. México: Editorial Trillas.

Mothes, P. (1991). *El paisaje volcánico de la Sierra Ecuatoriana*. Quito. Corporación Editora Nacional.

Forero-Ospino, O. & Duarte-Delgado, W. (2019). Caracterización e identificación de la geomorfología (ambientes y unidades geomorfológicas) en la plancha 121-Cerrito, Colombia, aplicado a movimientos en masa, escala 1:100.000. *Boletín de Geología*, 41 (2), 35-44. https://doi.org/10.18273/revbol.v41n2-2019002

Oña, N.; Rodríguez, T.; Mejía, M.; Bastidas, I. & Reyes, D. (2023). Aplicación de geo-tecnologías y ecología del paisaje para la generación de capacidad de acogida, con fines de planificación territorial en la ciudad de Chone-Ecuador. *ProSciences, Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 7 (47), 75-89. https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol7iss47.2023pp75-89

Pavlopoulos, K.; Evelpidou, N. & Vassalopoulos, A. (2009). *Mapping Geomorphological Environments*. Berlín, Springer.

Porta, J. & López, M. (2005). *Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.

Quesada-Román, A. & Peralta-Reyes, M. (2023). Geomorphological Mapping Global Trends and Applications. *Geographies*, 3, 610-621. https://doi.org/10.3390/geographies3030032

Rodríguez, A. & Fernández, J. (2015). Las geoformas volcánicas y su modelado morfométrico con Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (40-48). https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/298958/388232

SENPLADES (2016). *Guía técnica para la generación de Metadatos de Geoinformación*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Quito. https://iedg.sni.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/Guia_tecnica_para_la_generacion_metadatos.pdf

SENPLADES (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida*. Quito. https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/EcuandorPlanNacionalTodaUnaVida20172021.pdf

Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias. (2011). *Mapa de peligros volcánicos del Ecuador-cobertura general, escala 1: 50 000*. https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/mapas-peligros-volcanicos/

SGR, ECHO y UNISDR (2012). *Referencias básicas para la gestión de riesgos 2013-2014. Secretaría de Gestión del Riesgo (*pp. 62-63). https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/54768.pdf

Soil Survey Staff (2014) *Claves para la Taxonomía de suelos*. Décima segunda edición. USDA, NRCS. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf

Summerfield, M. (2013). *Global Geomorphology*. New York: Routledge Taylor & Francis Group.

Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de la Géomorphologie*. Paris, Masson.

Universidad Nacional de Tucumán (2017). *Guía de estudio. Metodología para el estudio de suelos en campo*. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán. http://bit.ly/4or54fU

Vallance, J. & Iverson, R. (2015). *Chapter 37-Lahars and Their Deposits. The Encyclopedia of Volcanoes* (Second Edition), Editor(s): Haraldur Sigurdsson, Academic Press, pp. 649-664.

Vargas, E. (1992). *La fotografía aérea y su aplicación a estudios geológicos y geomorfológicos: principios de percepción remota*. La Paz. Universidad Mayor de San Andrés.

Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/1-00778.pdf

Winckell, A., Zebrowski, C. & Sourdat, M. (1997). *Los paisajes naturales del Ecuador*. Quito. IGM del Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010011845.pdf

Zinck, A. (2012). *Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales*. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Netherlands. https://www.researchgate.net/publication/259935872_Geopedologia_Elementos_de_geomorfologia_para_estudios_de_suelos_y_de_riesgos_naturales

Zinck, J. A.; Metternicht, G.; Bocco, G. & Del Valle, H. F. (2016). *Geopedology*. Springer International Publishing Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19159-1

Zonneveld, I. (1989). The land unit-A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology*, 3 (2), 67-86. https://doi.org/10.1007/BF00131171

Zuidam, R. (1986). *Fotointerpretación aérea en el análisis del terreno y la cartografía geomorfológica.* Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC), La Haya: Smits, Publishers.