

## Aplicación de geomática y análisis de suelo para la determinación de áreas inestables en el cerro Cuchicahua del cantón Chillanes, provincia Bolívar

Geomatics application and ground analysis for the determination of unstable areas in Cuchicahua's hill in the Chillanes region, Bolívar province

Luis Villacis Taco<sup>1</sup> ; Carlos Ramírez Chimbo<sup>1</sup>; Geomayra Meléndez Carrasco<sup>1</sup> ; Mayra Toalombo Tacuri<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal de Bolívar, Av. Ernesto Che Guevara s/n y Av. Gabriel Secaira. Provincia Bolívar, Guaranda Ecuador: lhvillacis@ueb.edu.ec; cramirez@ueb.edu.ec; gmelendez@mail.es.ueb.edu.ec;

\*Autor de correspondencia: maytoalombo@mail.es.ueb.edu.ec

Available from: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.9>

### RESUMEN

El cerro Cuchicahua, en el cantón Chillanes ha venido dando preocupantes muestras de inestabilidad, tanto por la materialización de deslizamientos hacia la vía principal cuanto por la presencia de cárcavas o grietas que de acuerdo a la población han venido aumentando en cantidad y tamaño.

Por esta razón se realizó un estudio de determinación de zonas inestables con base en la morfología del cerro y el tipo de suelo que presenta, para lo cual se utilizó un modelo digital de elevación y el análisis de laboratorio donde se identificó la composición y textura del suelo de varias muestras tomadas en zonas consideradas críticas.

Mediante el uso de la geomática a través del modelo SHALSTAB que trabaja bajo la aplicación de la ley de Mohr-Coulomb se ingresaron los datos del DEM de la zona geográfica en la que se encuentra el cerro, así como el ángulo de fricción y densidad del suelo los cuales fueron obtenidos del análisis de la textura del suelo en laboratorio. Al ser procesados estos datos se pudo determinar que gran parte del cerro presenta una inestabilidad crónica, convirtiéndose en un riesgo potencial para la población, ya que en caso de materializarse un deslizamiento de grandes magnitudes, las afectaciones se verían hasta el centro del área consolidada de la población de Chillanes.

**Palabras clave:** Cuchicahua; inestabilidad; geomática; Chillanes; deslizamientos

### ABSTRACT

Cuchicahua's hill, in the Chillanes region, has been giving preoccupying signs of instability, so much so for the landslides materialization towards the main highway and the formation of gullies or cracks that, according to the local population, has been increasing in quantity and size.

For this very reason, a study of the determination of unstable zones has been made based on the morphology of the hill and the type of ground that it presents, for which a digital model of elevation was used and a laboratory analysis, where the composition and texture of several samples of land was identified in zones considered critical.

Through the use of geomatics, using the SHALSTAB model that works under the Mohr-Coulomb law, the data of the geographic zone of the hill's location was introduced into the *DEM data*, as well as de friction angle and the ground density, which were obtained through the examinations of the samples.

After the data was processed, it could be stated that a big part of the hill presents a chronic instability, that could lead to potential risk for the population, given that in case of landslide materialization of large magnitudes, the affectations would be seen up in the center area of Chillane's consolidated population.

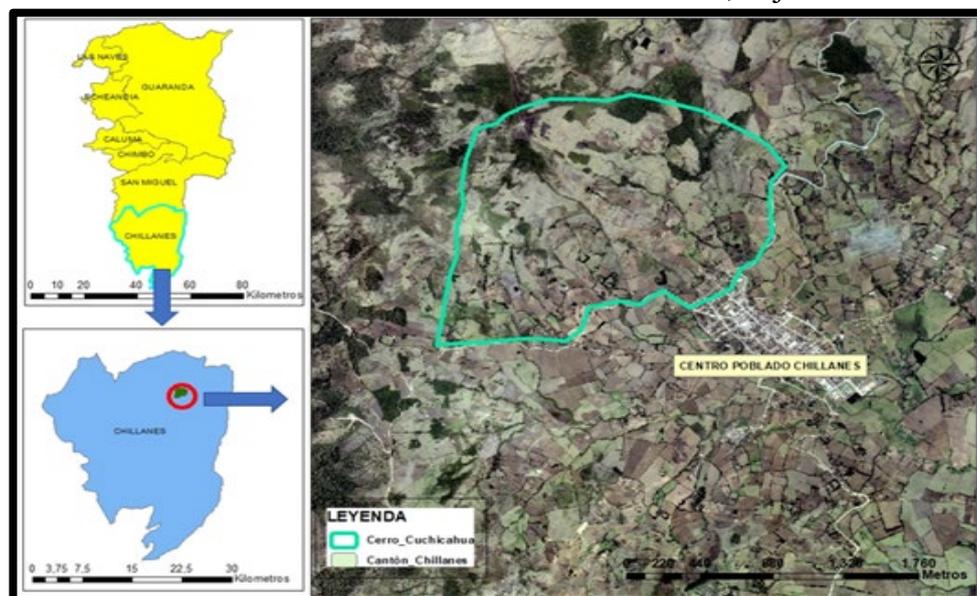
**Keywords:** Cuchicahua; instability; geomatic; Chillanes; landslides

## INTRODUCCIÓN

Ecuador, por ser parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, se encuentra localizado en una zona de intensa actividad sísmica, tectónica y volcánica, lo que ha provocado deformaciones superficiales traducidas en procesos de geodinámica externa que, combinados con factores climáticos, sísmicos y antrópicos, han dado lugar a procesos intensos de erosión, movimientos en masa e inundaciones recurrentes que han causado ingentes pérdidas socio - económicas y vidas humanas<sup>1</sup>.

El cantón Chillanes se encuentra expuesto a amenazas de origen natural y antrópico, las cuales vienen generando importantes afectaciones a la población desde hace varios años. Un caso particular es el riesgo de deslizamiento del cerro Cuchicahua, el cual se encuentra a 480 metros aproximadamente de la vía principal de ingreso al cantón y a una distancia de 1250 metros aproximadamente del parque central; en caso de materializarse un macro deslizamiento afectaría en grandes proporciones al área consolidada del centro cantonal, tanto en la parte de infraestructura, como también interrumpiendo el desarrollo de actividades en la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, manufactura y comercio al cantón en general.

En la figura 1 a continuación se muestra la ubicación del área de estudio, objeto de la investigación.



**Figura 1.** Ubicación de cerro Cuchicahua del cantón Chillanes

Debido a la geomorfología que presenta el territorio del cantón Chillanes, conformada por cerros de mediana altura con fuertes pendientes, las rocas presentan un comportamiento mecánico corriente, que, en combinación con otros factores como la deforestación, la pendiente y los severos fenómenos meteorológicos conforman las causas fundamentales para el desarrollo de los deslizamientos<sup>2</sup>.

En la última temporada de lluvias ocurridas en la provincia Bolívar, sobre todo en el cantón Chillanes, se ha notado una sobresaturación del suelo originando grietas de diferentes dimensiones en el cerro Cuchicahua, las cuales fueron evidenciadas por los moradores del sector, generando mayor preocupación, por lo que se vieron en la necesidad de informar a las autoridades como mediante redes sociales del riesgo potencial que representaría el deslizamiento.

Los deslizamientos son fenómenos gravitacionales provocados por los efectos de los sismos, erupciones volcánicas y lluvias intensas entre otros factores. Estos pueden ocurrir en cuestión de pocos segundos o mantenerse en acción lenta por una semana o, incluso, más tiempo lo cual genera el interés investigativo por la problemática que está presente dentro de la población del cantón<sup>3</sup>.

Para determinar áreas susceptibles de deslizamiento, se pueden aplicar diversas metodologías que dependen de la escala de trabajo o nivel de detalle en el que se quieren obtener los resultados, pudiendo ir desde zonificaciones para territorios geográficamente amplios en escalas pequeñas hasta análisis de estabilidad de taludes y factores de seguridad desde el punto de vista de la geotecnia e ingeniería civil que son trabajos a escalas grandes o de gran nivel de detalle. Para el caso particular del cerro Cuchicachua, por tratarse de una unidad geomorfológica importante se decidió aplicar un estudio de mediana a gran escala como son las metodologías cartográficas, pero combinándolo con análisis de muestras de suelo, lo cual permitió obtener resultados con mayor precisión que fueron validados y verificados en el terreno; todo esto integrado mediante el uso de geomática aplicada.

La Geomática, es un término científico moderno que sirve para expresar la integración sistémica de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis, presentación y distribución de información geográficamente referenciada<sup>4</sup>.

Estos datos espaciales provienen del análisis y de mediciones hechas con diversas técnicas empleadas en disciplinas tales como: la geodesia y la topografía, la cartografía, la teledetección o percepción remota, la fotogrametría, la geoestadística o análisis espacial, los Sistemas de Posicionamiento Global de Navegación por Satélite (GPS) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En el caso específico de este estudio se usó el módulo SHALSTAB, el cual se basa en una forma de pendiente infinita de la ley de falla de Mohr-Coulomb (Estabilidad de ladera) en la que el componente cuesta abajo del peso del suelo justo en el fallo,  $t$ , es igual a la fuerza de resistencia causada por la cohesión (cohesión del suelo y / o fuerza de la raíz),  $C$ , y por la resistencia a la fricción debido a la tensión normal efectiva en el plano de falla<sup>5</sup>.

Por otro lado, la densidad real se define como la densidad de la totalidad de las partículas del suelo. Se expresa como la relación entre la masa de partículas sólidas y el volumen del sólido, excluyendo, por lo tanto, los espacios porosos. Las unidades más comunes de expresión son  $g\ cm^{-3}$  y  $Mg\ m^{-3}$ .

Para la determinación de la densidad real debe conocerse la masa de suelo y el volumen del mismo. La primera es determinada por pesada; el volumen real es un valor más complicado de establecer pues debe eliminarse totalmente el aire del suelo. La determinación es a través de la psicometría, el procedimiento significa la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determina qué volumen de agua desplazan los sólidos al ser sumergidos.

En cuanto al ángulo de fricción crítico  $\phi_c$  se refiere al parámetro del suelo porque es un valor que una vez alcanzado no varía durante el proceso de deformación o de carga. El  $\phi_c$  es una relación de los esfuerzos principales en el estado crítico y es importante para los modelos constitutivos, ya que define el estado crítico o último propio de cada material.

El estado crítico o último de un material está definido como la fase en la cual el material continúa deformándose indefinidamente sin presentarse cambios en el esfuerzo efectivo aplicado y en el volumen.

Tradicionalmente se considera el ángulo de fricción crítico igual que el ángulo de reposo ( $\phi_c = \phi_{rep}$ ). El  $\phi_c$  se obtiene de ensayos triaxiales monotónicos o de ensayos de corte simple. El  $\phi_{rep}$  se obtiene a partir de diferentes métodos; uno de los métodos aplicables a materiales granulares es la construcción de una pila por medio de un embudo.  $\phi_c$  es reemplazado por  $\phi_{rep}$  dado lo dispendioso y complejo de los ensayos necesarios para determinar  $\phi_c$  comparados con los métodos para obtener  $\phi_{rep}$  y la similitud de los resultados obtenidos

(Herle y Gudehus, 1999). Esta simplificación se hace debido a que uno de los objetivos de los modelos constitutivos es obtener los parámetros del suelo de la forma más sencilla posible. Sin embargo, investigaciones previas demuestran que factores como rugosidad de la base, tamaño de la pila, tamaño y distribución de las partículas, densidad de la pila, efectos dinámicos, entre otros, influyen significativamente en el valor de  $\phi_{rep}$ <sup>6</sup>.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo estuvo definido por la obtención y preparación de dos tipos de insumos que se integraron mediante el uso de la geomática. Estas dos fases fueron:

### a) FASE 1: Modelo digital de elevación

Para este apartado fue necesario descargar un raster que cubre el cantón Chillanes mediante un modelo digital de elevación (MDE) con una resolución de 12,5m. El servicio usado corresponde a la NASA a través del sensor ALOS PALSAR. Debido a la ubicación del cantón y el cerro, las imágenes estuvieron disponibles en dos imágenes diferentes consecutivas, las cuales fueron insertadas en el software ArcGIS 10.5 con el fin de mediante la creación de un mosaico obtener un solo producto de MDE.

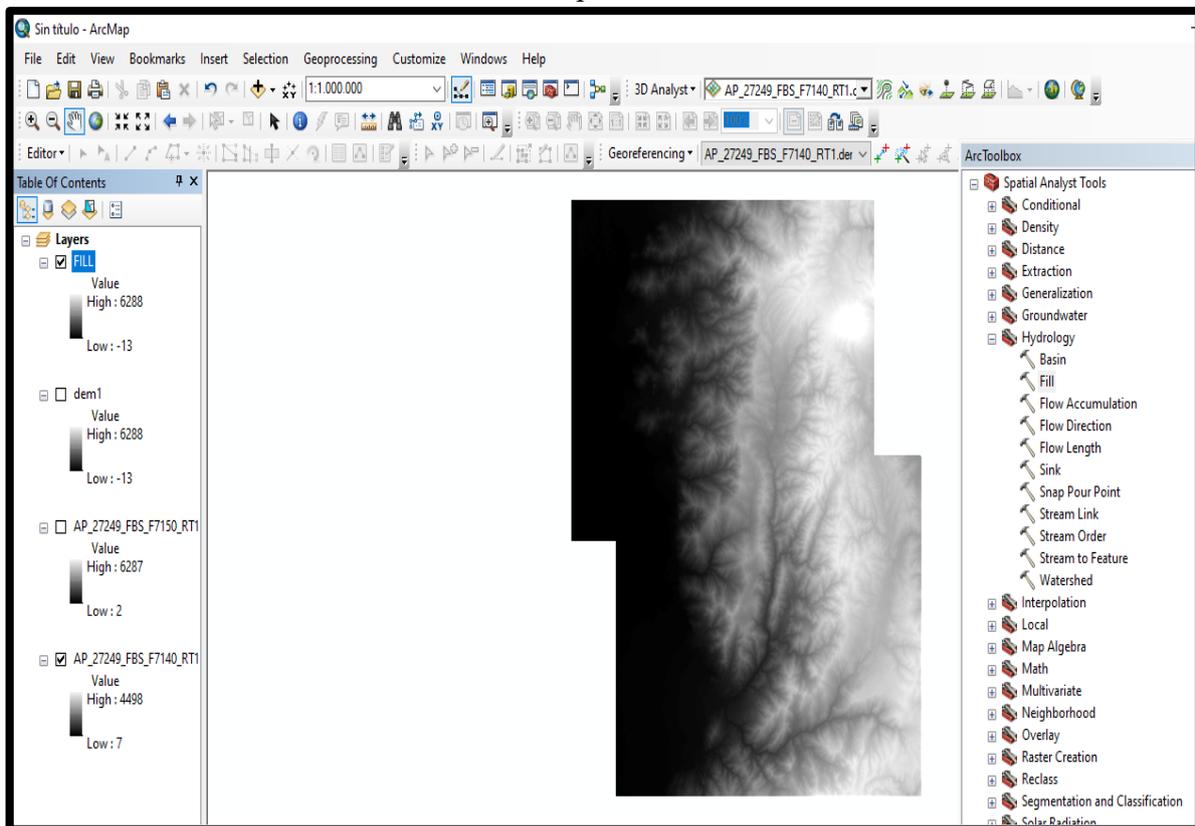


Figura 2. Modelo digital de elevación.

Luego de la obtención del MDE se procede a correr la imagen en la herramienta de shalstab dando como resultado el contorno del mapa, mapa de pendientes y el área de contribución.

### b) FASE 2: Características del suelo

Para este proceso se definieron tres sectores de interés en el cerro Cuchicahua:

- 1.- Deslizamiento materializado,
- 2.- Zona de grietas y
- 3.- Cima del cerro;

de las cuales fueron extraídas muestras de suelo, cada uno de 500g de tierra con la finalidad de realizar el análisis en laboratorio para determinar la textura y densidad real del suelo.

Ubicación	Longitud (°)	Latitud(°)
Punto 1 Deslizamiento	- 79.067833	-1.934862
Punto 2 Grietas	-79.073994	- 1.934256
Punto 3 Cima del cerro	-79.080815	-1.9228794

**Tabla 1. Ubicación de las muestras de suelo**

## Ensayos de laboratorio

Mediante el uso del laboratorio de la Universidad Estatal de Bolívar se implementó la metodología del Picnómetro la cual permite determinar la densidad real del suelo seco y la metodología de bouyoucos determinando la textura del suelo, cada muestra de suelo tiene 3 réplicas de análisis con el propósito de mejorar esta investigación.

El método más común es el uso del picnómetro. Este es un frasco aforado que se cierra mediante un tapón provisto de un capilar asegurando el volumen constante en el interior del aparato. El volumen del suelo se mide en función del volumen de agua desplazada<sup>7</sup>.

Se pesa en balanza de precisión 10 g de suelo tamizado por 2 mm, seco en estufa. Se designa como m1. Luego, se llena con agua destilada un picnómetro de 50 cm<sup>3</sup>, se tapa, se seca bien y se pesa en balanza de precisión; esta pesada se denomina m2. Finalmente, se vacía el picnómetro y se introducen los 10 g de suelo pesado anteriormente (m1), completar el volumen de agua destilada y tapar con cuidado de no dejar burbujas de aire en su interior. Secar y pesar nuevamente obteniéndose m3.

$$D = \frac{m}{v} \quad (1)$$

m1: 20 g de muestra seca v: volumen de la muestra en el interior del picnómetro expresado por la diferencia de masa entre (m1 + m2) – m3. Reemplazando:

$$Dr = \frac{m_1}{(m_1 + m_2) - m_3} \quad (2)$$

El valor promedio de la densidad real en suelos minerales es de 2,65 g cm<sup>3</sup>, densidad del cuarzo, uno de los minerales más abundantes del suelo.

La textura indica el contenido relativo (porcentaje en peso) de partículas de varios tamaños, más específicamente, arena, limo y arcilla en el suelo. La textura influye en la facilidad con la que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad a la que el agua puede entrar y moverse a través del suelo<sup>8</sup>.

Los métodos más usados para determinar la textura en laboratorio son el método de la pipeta de Robinson y el del hidrómetro de Bouyoucos. Ambos métodos se basan en la ley de Stokes, que establece una relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad de sedimentación. Por lo tanto, las partículas se evalúan por sus velocidades de sedimentación en una suspensión en agua que se puede usar para cuantificar el tamaño de las partículas.

En el método de Bouyoucos, el tamaño de los sólidos en suspensión se estima a partir de la densidad de la solución medida con un hidrómetro (densímetro), a diferentes tiempos. Las lecturas son corregidas por la temperatura de la suspensión. A medida que se sedimentan las partículas, la densidad de la solución disminuye.

**Diagrama de implementación**

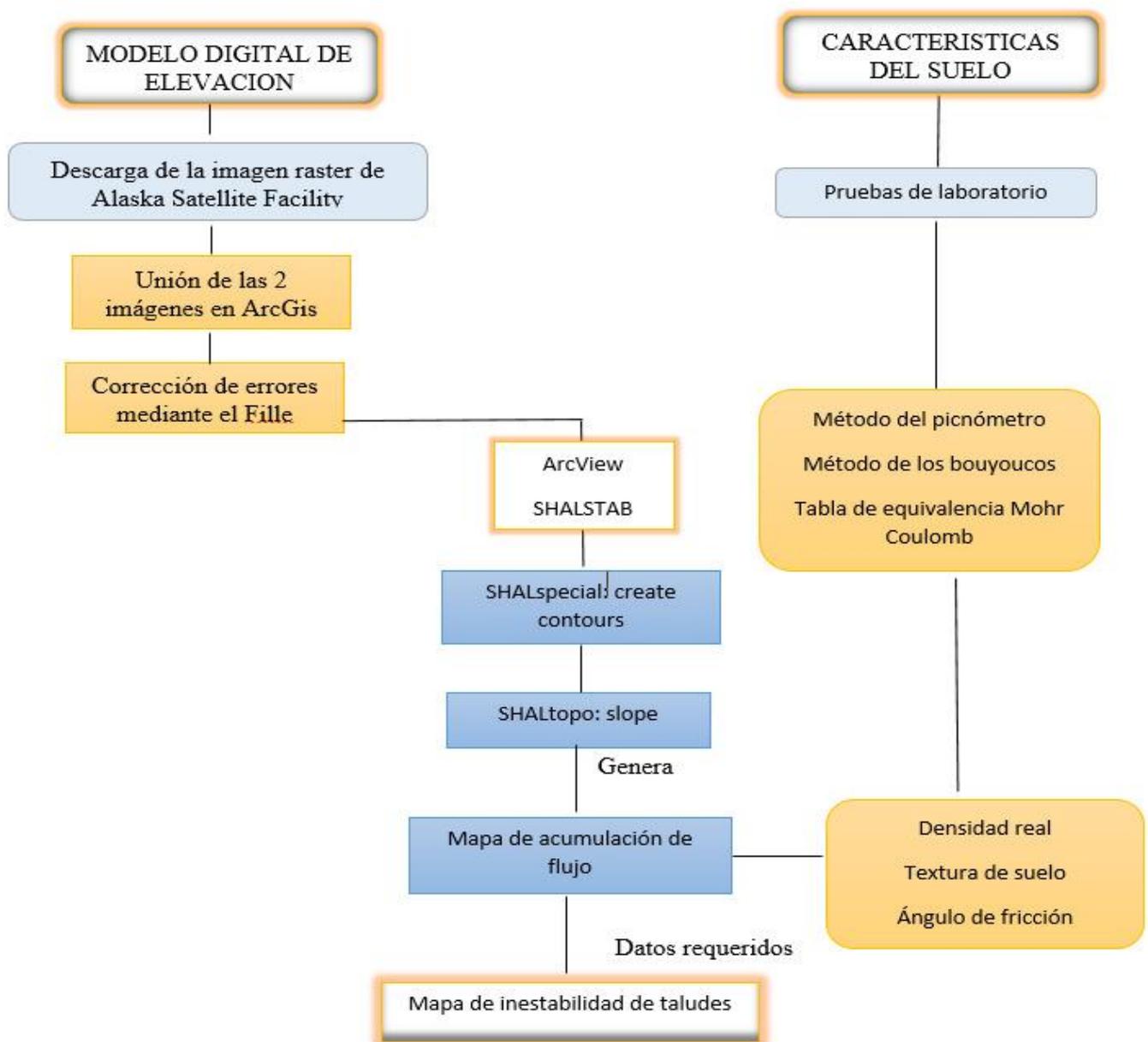


Figura 3. Diagrama de flujo para la implementación de los insumos requeridos

**RESULTADOS**

**Resultados del procesamiento en la herramienta de SHALSTAB**

La imagen MDE es insertada en Arcview con un intervalo de 10 metros, dando como resultado las curvas de nivel del cantón Chillanes.

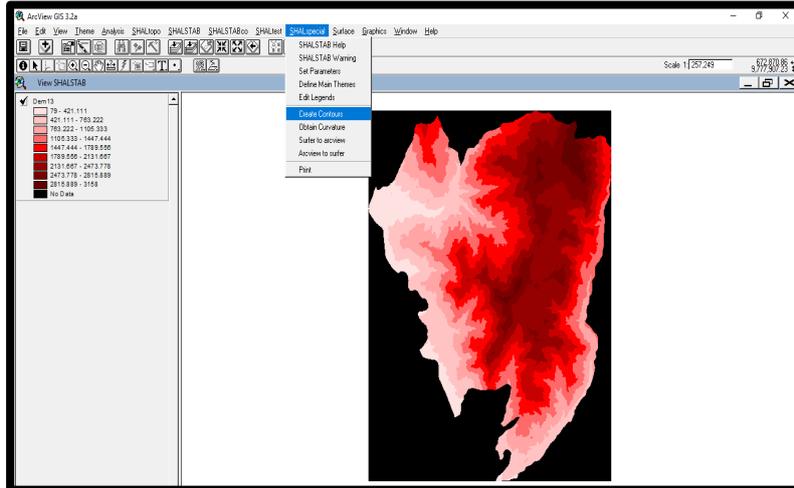


Figura 4. Contorno del mapa del cantón Chillanes.

Con las curvas de nivel se procedió a obtener el mapa de pendientes del cantón.

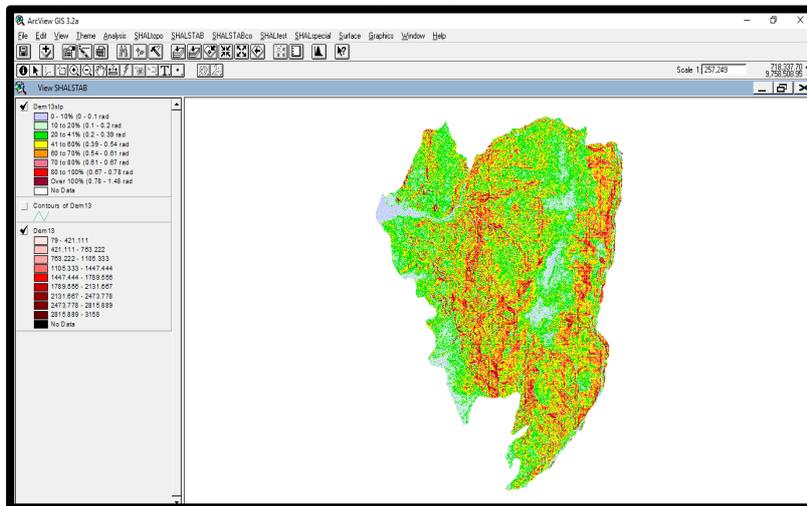


Figura 5. Mapa de pendientes de la zona de Chillanes.

Con el mapa de pendientes listo se dio paso a obtener el área de contribución.

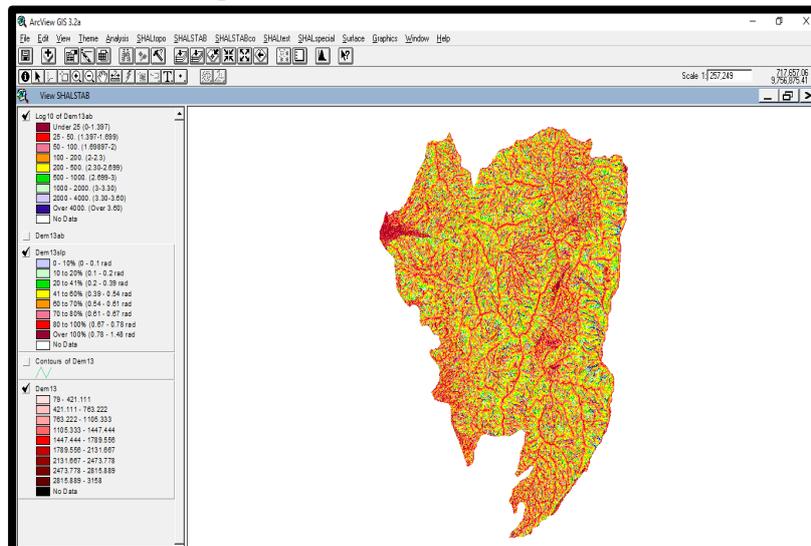


Figura 6. Resultado del área de contribución del cantón Chillanes.

**Resultados de los ensayos de laboratorio**

Con los resultados obtenidos en el laboratorio se procedió a sacar la media para así trabajar con un solo dato.

 <b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>		<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Lagunacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>		Código	FGG12-01	
		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>		Versión	1	
				Año	2022	
				Página	Página 1 de 2	
<b>INFORME N° 141-2022</b>						
<b>DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA</b>						
<b>Solicitante</b>	Geomayra Meléndez- Mayra Toalombo					
<b>Muestra</b>	Suelo Cerro Cuchicahua					
<b>Código asignado UEB</b>	INV 247- INV 248- INV 249					
<b>Estado de la muestra</b>	Sólido					
<b>Envase de recepción</b>	Funda ziploc					
<b>Análisis requerido(s)</b>	Determinación de textura y densidad real					
<b>Fecha de recepción</b>	07/10/2022					
<b>Fecha de análisis</b>	11-12/10/2022					
<b>Fecha de informe</b>	13/10/2022					
<b>Técnico (s) asignado</b>	MIPV					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>						
Código	Identidad de la muestra	Parámetro	Unidad	Método de análisis	Resultado	Promedio
INV 247	Deslizamiento/G asolinera-R1	Densidad Real en suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	Método del picnómetro	1,499	1.467
	Deslizamiento/G asolinera-R2				1,439	
	Deslizamiento/G asolinera-R3				1,463	
INV 248	Grietas- R1	Densidad Real en suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	Método del picnómetro	2,471	2.435
	Grietas- R2				2,407	
	Grietas- R3				2,427	
INV 249	Antenas- R1	Densidad Real en suelo seco	g/cm <sup>3</sup>	Método del picnómetro	1,491	1.353
	Antenas- R2				1,302	
	Antenas- R3				1,267	

Figura 7. Resultados del laboratorio de la densidad del suelo

Código	Resultado
INV 247	1.467
INV 248	2.435
INV 249	1.353
<b>Promedio</b>	<b>1.752</b>

Tabla 2. Promedio final de la densidad del suelo

En este apartado según los resultados del tipo de suelo se escogió el porcentaje más alto que predomina en el cerro Cuchicahua.

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR</b>	<b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b>	<b>LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN</b> <small>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.</small>	Código	FPG12-01
		<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Versión	1
		Año	2022	
		Página	Página 2 de 2	

Código	Identidad de la muestra	Parámetro	Método de análisis	Porcentaje de:		Tipo de suelo
INV 247	Cerro Cuchicahua - Deslizamiento /Gasolinera	Textura	Método de los Bouyoucos	Arena	60	Franco arcillo arenoso
				Lino	16	
				Arcilla	24	
INV 248	Cerro Cuchicahua - Grietas			Arena	70	Franco Arenoso
				Lino	14	
				Arcilla	16	
INV 249	Cerro Cuchicahua- Antenas	Arena	77	Franco Arenoso		
		Lino	12			
		Arcilla	11			

Presentado por:  
**EDGAR MARCELO VILCACUNDO CHAMORRO**

---

Ing. Marcelo Vilcacundo  
**Director DIVIUEB**

Figura 8. Resultados de la textura del suelo

Mediante la incorporación del procesamiento de SHALSTAB y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se tiene como resultado el q/t de las zonas inestables de la zona de estudio.

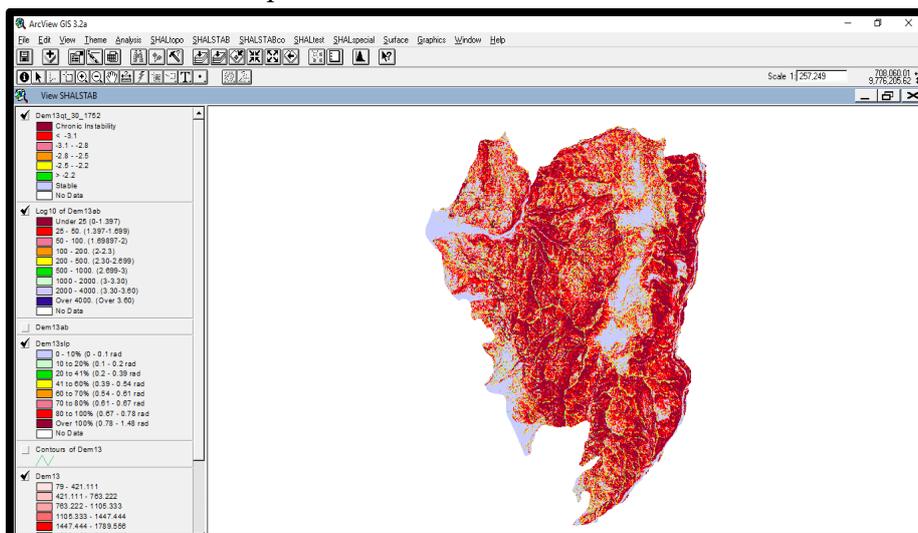


Figura 9. Resultado del q/T estabilidad e inestabilidad del cantón Chillanes.

Con el resultado del q/t (zonas estables e inestables) se procede a cortar en el software de arcgis el mapa del cantón con el cerro Cuchicahua, mediante el cual se pudo determinar y cuantificar los grados de inestabilidad presentes en el área de estudio.

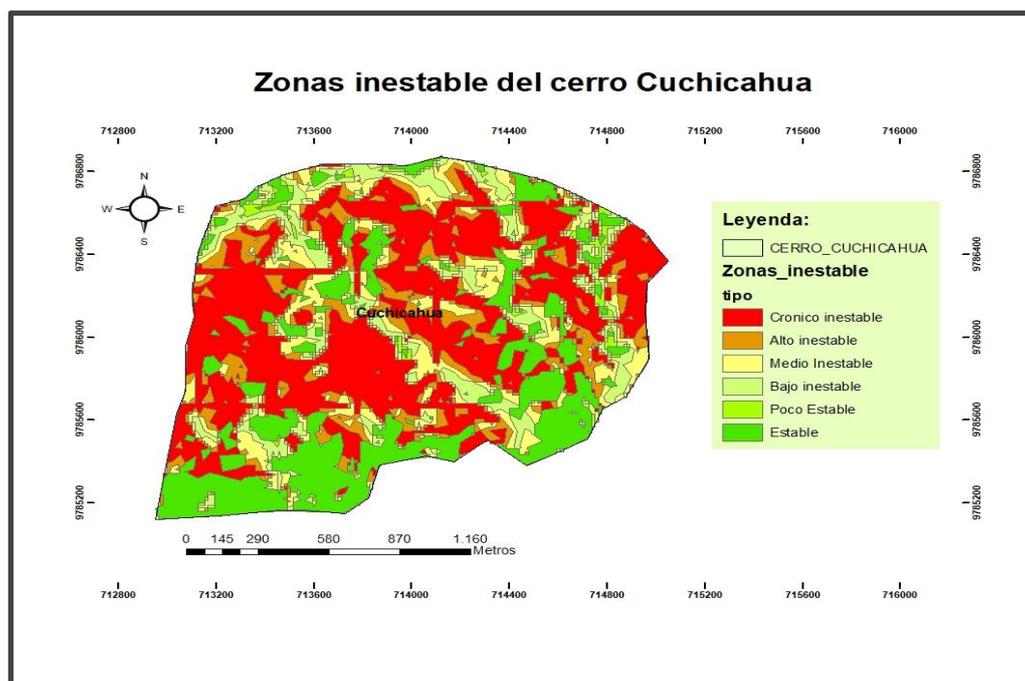


Figura 10. Mapa de identificación de zonas inestables del cerro Cuchicahua

ZONAS INESTABLES	ÁREA HA	%
<b>Crónico inestable</b>	<b>108</b>	<b>40.44</b>
<b>Alto inestable</b>	<b>35</b>	<b>13.10</b>
<b>Medio inestable</b>	<b>36</b>	<b>13.48</b>
<b>Bajo inestable</b>	<b>24</b>	<b>8.98</b>
<b>Poco estable</b>	<b>4</b>	<b>1.49</b>
<b>Estable</b>	<b>60 HA</b>	<b>22.47</b>

Tabla 3. Nivel de vulnerabilidad de las zonas inestables del cerro Cuchicahua

Según los mapas obtenidos mediante SHALSTAB, existen varias zonas del cerro Cuchicahua que presentan mayor valor de inestabilidad, como se puede observar en la figura No 10 el punto 1 resalta como una zona inestable, este lugar fue donde se tomó la primera muestra de suelo el cual presenta un deslizamiento de grandes proporciones que afectó a la vía principal y la gasolinera del cantón Chillanes.

La muestra de suelo punto 2 se encuentra en el lugar donde prevalecen las grietas de diferentes tamaños, este sitio en el resultado resalta con un valor de inestabilidad.

En el punto 4 se toma una imagen evidenciando un deslizamiento cerca de la vía principal haciendo validar una vez más la metodología implementada puesto que en el resultado ese lugar es inestable.

Los factores que intervienen en el deslizamiento del cerro Cuchicahua son la textura del suelo, la densidad real y el ángulo de fricción, datos importantes para desestabilizar el talud.

Según las áreas de afectación como se puede observar en la tabla No 3 la mayor proporción que ocupa dentro del cerro es el nivel crónico inestable con el 108 Ha, mientras que el nivel alto inestable es de 35 Ha, por otro lado, el medio inestable es de 36 Ha, además el bajo inestable tiene un área de 24 Ha, siendo el nivel poco estable el que tenga menos Ha en el resultado con el 4 y solo 60 Ha del cerro es estable.

Finalmente se muestra la ubicación del cerro Cuchicahua frente al casco urbano del cantón Chillanes donde serán identificados y caracterizados los elementos expuestos.

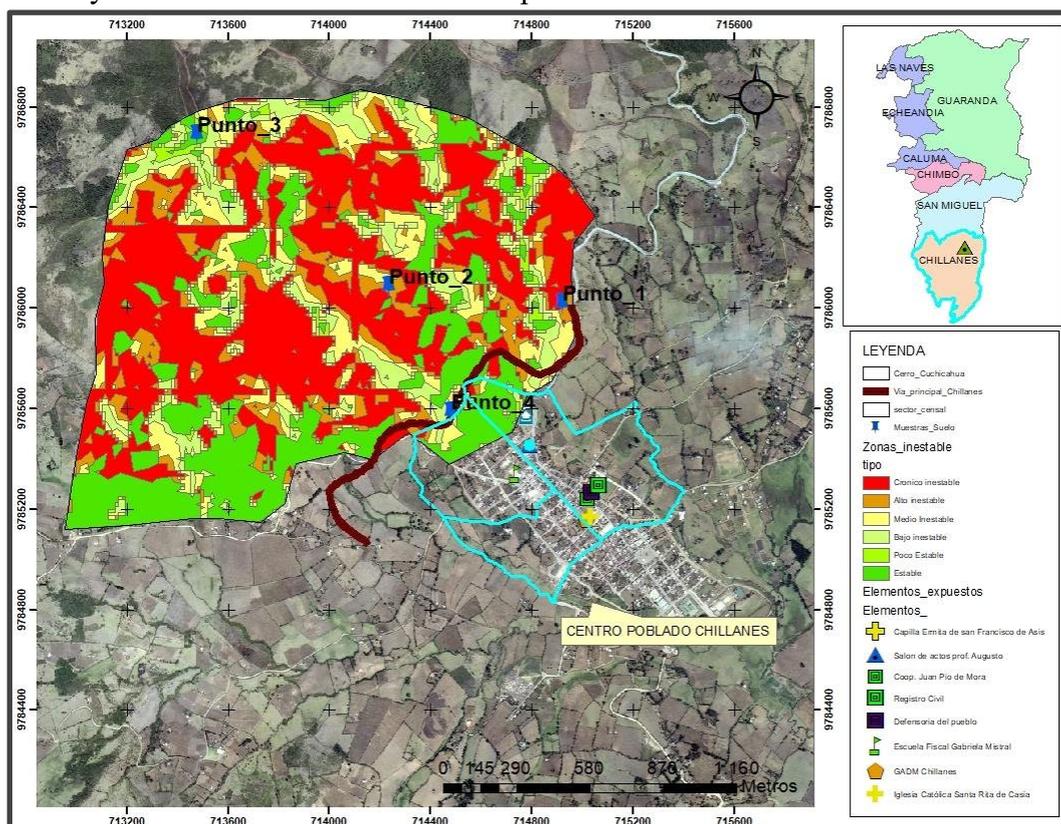


Figura 11. Mapa de inestabilidad frente al casco urbano del cantón Chillanes.

## DISCUSIÓN

Existen varias investigaciones, sea por la parte geomática, o por el análisis de suelo en los que se usan técnicas que individualmente ayudarían a mejorar la precisión de los insumos usados y por ende los resultados finales en la determinación de áreas inestables o propensas a deslizarse.

Una forma de mejorar la precisión del Modelo Digital de Elevación y por ende el relieve del área de estudio es la topografía tradicional en la cual se llegaría a precisiones por debajo del metro (m), lo cual mejoraría sustancialmente la determinación de zonas de acumulación, sin embargo, está sujeta a condiciones climáticas y aumentos considerable de tiempo y recursos de personal. También se podría aplicar técnicas fotogramétricas como el levantamiento mediante fotografías aéreas usando vehículos aéreos no tripulados como drones, los cuales también permiten obtener modelos digitales de elevación con un adecuado pos-procesamiento y puntos de control GNSS en tierra. Finalmente, otra técnica para mejorar la precisión del relieve es obtener mediante plataformas satelitales donde adicionalmente se obtendrían índices de humedad o vegetación que pueden complementar el análisis, arrojando épocas del año donde la susceptibilidad a deslizamientos aumentaría de acuerdo a los últimos parámetros mencionados.

En cuanto a la parte de la caracterización del suelo, para obtener el ángulo de fricción directamente se deberían aplicar ensayos geotécnicos entre los cuales destacan el método de corte, método triaxial o el método SPT, los cuales trabajan directamente con la roca y arrojan un resultado de mayor precisión, sin embargo, no son tan recomendables para zonas extensas por ejemplo si se quiere replicar este tipo de análisis para una zonificación o para el análisis de una vía en donde pueden haber distintos tipos de suelo y roca; para el caso del cerro

Cuchicahua es una opción medianamente válida que se complicaría por la accesibilidad hasta ciertos puntos de la montaña.

Obviamente estas técnicas también implican el incremento de costos y tiempos en la obtención de datos.

En cuanto a la densidad real del suelo se considera que el método del picnómetro usado en esta investigación es totalmente adecuado, puesto que en otro tipo de estudios se trabaja mucho con mapas de suelos, lo cual es aceptable para zonificaciones o áreas de estudio mayores, pero para una unidad morfológica puntual como el cerro Cuchicahua no es recomendable.

Las mejoras en la precisión de los insumos de relieve y caracterización del suelo, conllevarían a tener resultados de mayor exactitud, sin embargo, al demostrar en el presente análisis, que las áreas de mayor inestabilidad en el cerro Cuchicahua obtenidas mediante geomática coinciden plenamente con los puntos donde ya han ocurrido deslizamientos o se están presentando agrietamientos, se plantea que a más de trabajar en estas mejoras de precisión de insumos, se debería incursionar en estudios multitemporales de monitoreo de áreas inestables o inventario de deslizamientos como el caso -Generación de cartografía de deslizamientos de laderas aplicando técnicas de detección de cambios<sup>9</sup>. “que incluyan índices de vegetación y humedad; así como análisis pre y pos deslizamiento -como el caso de la Evaluación de técnicas de ingeniería geomática para investigaciones de deslizamientos de tierra para la seguridad del tráfico” (10). donde las condiciones de relieve principalmente se verían alteradas, y de esta manera tener criterios adicionales para plantear medias de prevención y mitigación más concretas y puntuales dependiendo del escenario.

---

## CONCLUSIONES

Mediante la caracterización de los factores que influyen en el deslizamiento del cerro Cuchicahua, como la textura del suelo (predominio de arena y arcillas), densidad (1752), ángulo de fricción (30) y pendiente, se pudo evidenciar que el cerro Cuchicahua presenta importantes áreas de inestabilidad con el 53.54% de inestabilidad crónica e inestabilidad alta.

La combinación de geomática y análisis de las características del suelo con el relieve de la zona, integrados en el módulo shalstab, arrojó resultados importantes de inestabilidad en el cerro Cuchicahua, los cuales fueron validados mediante trabajo de campo, donde se comprobó que en estas zonas ya presentan deslizamientos recurrentes, grietas y afloramientos de agua, lo que quiere decir que para la escala de trabajo los resultados fueron bastante aceptables.

Esta zonificación de áreas inestables en el cerro Cuchicahua debe servir de base para la actuación de las autoridades y técnicos del cantón Chillanes, tomando en cuenta que para áreas puntuales de mayor peligro se puede combinar con análisis geotécnicos, civiles, entre otros que arrojen resultados de mayor precisión y permitan el planteamiento de medidas estructurales y no estructurales de reducción del riesgo de deslizamiento.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran no tener conflicto de interés

---

## REFERENCIAS

1. Riesgos, Subsecretaría de Gestión de la Información y Análisis de. Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador Continental. [Online].; 2019 [cited 2023 Julio 18]. Available from: <https://es.scribd.com/document/442059115/Metodologia-Susceptibilidad-Movimientos-Masa-Escala-1-25000>.

2. Borja CR. Actualización del Ordenamiento Territorial. [Online].; 2019 [cited 2023 Julio 18]. Available from: [https://chillanes.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/PDyOT\\_Chillanes\\_2020\\_Septiembre17.pdf](https://chillanes.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/PDyOT_Chillanes_2020_Septiembre17.pdf).
3. Ruiz Palacios JP. "SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS EN EL VALLE DE JOA [Tesis] , editor. [Manabí]: Universidad Estatal de Manabí.
4. Aguirre Gómez R. Conceptos de Geomática y estudios de caso de México Mexico] [dGdIUAd, editor. [Mexico]: 978-607-02-0973-4; 2009.
5. Dietrich W, Montgomery D. Theory. [Online].; 1998 [cited 2023 Julio 17]. Available from: <http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/theory.htm>.
6. Solaque Guzmán DP, Lizcano Peláez A. Ángulo de fricción crítico y ángulo de reposo de la arena del Guamo. Revista Épsilon. 2008 Diciembre; 1(11).
7. Pellegrini. POROSIDAD Y AIREACIÓN DENSIDAD REAL Y APARENTE. [Online].; 2019 [cited 2023 Julio 18]. Available from: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj0jezb-u6BAxW1JUQIHauGA8EQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Faulavirtual.agro.unlp.edu.ar%2Fmoodle%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D25660&usq=AOvVaw0bnj7YCMIOanLFWCXteAku&opi=89978449>.
8. Ortega R, Martínez M. MUNDOAGRO. [Online].; 2022 [cited 2023 Julio 18]. Available from: <https://mundoagro.cl/que-nos-indica-la-textura-de-un-suelo-y-como-determinarla/>.
9. Lorenzo de la Cruz J, Ramos Bernal R, Aguilar Gregorio D, Plata Hernández X. Generación de cartografía de deslizamientos de laderas técnicas aplicando la detección de cambios. ResearchGate. 2019 Octubre; 25(12).
10. Mahmoud A, B Samih AR, S Ghayda AR, Sadoun B. Evaluación de técnicas de ingeniería geomática para las investigaciones de deslizamientos de la seguridad del tráfico. ScienceDirect. 2021 Diciembre; 24(3).

Received: 28 September 2023/ Accepted: 15 November 2023 / Published: 15 December 2023

Citation. Villacis Taco L; Ramírez Chimbo C; Meléndez Carrasco G, Toalombo Tacuri M. Aplicación de geomática y análisis de suelo para la determinación de áreas inestables en el cerro Cuchicahua del cantón Chillanes, provincia Bolívar. Revis Bionatura 2023;8 (4) 9. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.04.9>

**Additional information** Correspondence should be addressed to [maytoalombo@mailes.ueb.edu.ec](mailto:maytoalombo@mailes.ueb.edu.ec)

**Peer review information.** Bionatura thanks anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work using <https://reviewerlocator.webofscience.com/>

All articles published by Bionatura Journal are made freely and permanently accessible online immediately upon publication, without subscription charges or registration barriers.

**Bionatura** ISSN. 13909355. **Scopus coverage years:** from 2016 to the Present

**Publisher's Note:** Bionatura stays neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2023 by the authors. They were submitted for possible open-access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).