



# **UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**

**MAESTRÍA EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**MODALIDAD: PROYECTO DE TITULACIÓN CON  
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN APLICADA Y/O DE  
DESARROLLO.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER  
EN PREVENCIÓN Y GESTIÓN DEL RIESGO.**

**TÍTULO:**

**GEOMÁTICA APLICADA EN ZONAS INESTABLES. CASO: "LAS  
PEÑAS" VÍA GUANUJO – ECHEANDÍA, CANTÓN GUARANDA,  
BOLÍVAR - ECUADOR.**

**AUTOR:**

**Ing. ANGEL HERNÁN JIBAJA URBANO**

**TUTOR:**

**Ing. LUIS HERNÁN VILLACÍS TACO. Mgs.**

**GUARANDA – ECUADOR**

**2022**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

### SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR

Guaranda, 16 de enero del 2023

El suscrito Ingeniero Luis Villacís Taco, Director de Proyecto de Investigación de Posgrado de la Dirección de Posgrado y Educación Continua de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente-Tutor.

#### CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado “GEOMÁTICA APLICADA EN ZONAS INESTABLES. CASO: "LAS PEÑAS" VÍA GUANUJO – ECHEANDIA, CANTÓN GUARANDA, BOLIVAR – ECUADOR”. Realizado por: **Jibaja Urbano Angel Hernán** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías, en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad, facultando al interesado dar al presente documento el uso legal que estimen conveniente.



**Ing. LUIS VILLACIS TACO Mgs.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE POSGRADO**

## DECLARACIÓN JURAMENTADA DE AUTENTICIDAD DE AUTORÍA

Yo, Jibaja Urbano Ángel Hernán en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: "GEOMÁTICA APLICADA EN ZONAS INESTABLES. CASO: "LAS PEÑAS" VÍA GUANUJO - ECHIANDA, CANTÓN GUARANDA, BOLIVAR - ECUADOR", modalidad Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo, de conformidad con el Art. 14 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Estatal de Bolívar una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines estrictamente académicos. Conforme a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Bolívar mediante en el Departamento de Posgrado y Educación Continua para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior. El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Guaranda, 26 de Septiembre del 2022



**Jibaja Urbano Angel Hernán**  
**CI: 020249448-0**  
**E-mail: angeljibaja109@gmail.com**



**Notaria Tercera del Cantón Guaranda**

*Msc. Ab. Henry Rojas Narvaez*

*Notario*



...rio

**Nº ESCRITURA 20230201003P00107**

**DECLARACION JURAMENTADA**

**OTORGADA POR:**

**ANGEL HERNAN JIBAJA URBANO**

**INDETERMINADA**

**DI: 2 COPIAS      L.L**

Factura: 001-001-000012735

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día diecisiete de enero del dos mil veintitrés, ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparece el señor ANGEL HERNAN JIBAJA URBANO soltero, domiciliado en el sector de Alpachaca de esta ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, celular número 0990544877, correo electrónico es [angeljibaja109@gmail.com](mailto:angeljibaja109@gmail.com), por sus propios derechos, obligarse a quien de conocerlo doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; bien instruido por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertido de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declara lo siguientes "Previo a la obtención del Título de Magister en Prevención y Gestión de Riesgos, manifestó que los criterios e ideas emitidas en el presente trabajo de investigación titulado "GEOMÁTICA APLICADA EN ZONAS INESTABLES CASO. "LAS PEÑAS" VIA GUANUJO – ECHEANDÍA, CANTÓN GUARANDA, BOLÍVAR – ECUADOR" es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autor. Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad, la misma que la hago para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue al compareciente por mí el Notario en unidad de acto, aquel se ratifica y firma conmigo se incorpora al protocolo de esta Notaria la presente escritura, de todo lo cual doy fe.-

ANGEL HERNAN JIBAJA URBANO

C.C. 020249448-0

**ABG. HENRY ROJAS NARVAEZ**

**NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA**



## **DEDICATORIA**

La investigación realizada es dedicada a Dios por brindarme las ganas para poder culminar y lograr obtener el más anhelado propósito.

A mi madre Carmita Urbano, quien es la fuente principal en mi vida, la cual me ha apoyado en el transitar de la vida, la persona que es mi mayor inspiración y a quien amo mucho.

A mi padre Eleuterio Jibaja, quien ha sido parte de mi vida y a cuál considero mucho por todo el apoyo brindado siempre.

A mi hermana María Borja, quien ha sido criada con los mejores valores y siempre he soñado que me tome como un ejemplo a seguir lo cual se ha reflejado en su vida profesional y a quien amo mucho.

Dedico a mis familiares, quienes de una manera u otra me han brindado su apoyo incondicional el cual me ha servido de mucho en todas y cada una de las etapas de mi vida.

**ANGEL JIBAJA**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios que nunca me ha abandonado y lo he tenido presente, sentidme apoyado siempre.

Agradezco a mi madre Elbia Carmita Urbano Guerrero, que con todos sus consejos y enseñanzas me ha hecho un hombre formado con valores y principios para afrontar cualquier situación que se presente en mi vida.

A mi hermana menor María Nashely Borja Urbano, quien día a día se ha formado en todos los ámbitos de la mejor manera y consiguiendo todo lo que se ha propuesto, sintiéndome el hermano más afortunado del mundo.

A mis familiares que me dieron ese apoyo sincero, motivo inmerso que me llena de mucha satisfacción y felicidad les agradezco mucho.

A mi tutor, Ing. Luis Hernán Villacís Taco. Mgs, quien ha impartido sus conocimientos, siendo de mucha ayuda dentro los términos académicos y sirvió para esta investigación realizada.

A todas y cada una de las personas que aportaron para que este sueño se haga realidad, mis infinitas gracias ya que cada palabra o consejo sirvió de mucha ayuda.

**ANGEL JIBAJA**

## **TEMA**

Geomática Aplicada en zonas inestables. Caso: "Las Peñas" vía Guanujo  
– Echeandía, cantón Guaranda, Bolívar - Ecuador.

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	II
DECLARACIÓN JURAMENTADA DE AUTENTICIDAD DE AUTORÍA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
TEMA .....	VI
ÍNDICE .....	VII
RESÚMEN.....	X
PALABRAS CLAVES .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XIV
CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	1
1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN. ....	1
1.1.Planteamiento del problema:.....	1
1.2.Formulación del problema: .....	2
1.3.Justificación: .....	3
1.4.Objetivo: general y específicos: .....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.Antecedentes investigativos .....	5

2.2.Fundamentación teórica .....	6
2.2.1.Geomática .....	6
2.2.2.Zonas inestables. ....	8
2.2.3.Susceptibilidad del terreno inestable.....	16
2.3.Fundamentación legal .....	19
2.3.1.Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autónomas y Descentralización (COOTAD).....	19
2.3.2.Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025.....	18
2.3.3.Régimen del Buen Vivir.....	19
2.3.4.CÓDIGO ORGÁNICO DE PLANIFICACIÓN Y FINANZAS PÚBLICAS PARAGRAFO 10 .....	20
2.3.5.Ley de Seguridad Pública y del Estado.....	21
2.4.Hipótesis o ideas a defender.....	24
2.5.Variables .....	24
2.6.Operacionalización de variables .....	24
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1.Tipo, nivel y métodos de Investigación .....	26
3.2.Población y muestra .....	26
3.3.Técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	27
3.4.Técnicas de procesamiento, análisis y presentación de datos .....	28

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	42
4.1.Presentación de resultados por objetivos .....	42
4.2.Comprobación de hipótesis o ideas a defender .....	59
CONCLUSIONES .....	59
RECOMENDACIONES .....	61
Bibliografía .....	62
ANEXOS .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de los factores de inestabilidad.....	8
Figura 2 Esquema de caída de rocas y residuos.....	12
Figura 3 Esquema de volcamiento.....	13
Figura 4 Esquema de flujo de tierra.....	13
Figura 5 Esquema de flujo de lodo.....	14
Figura 6 Esquema de reptación.....	15
Figura 7 FACC – Índice de dirección y acumulación de flujo.....	30
Figura 8 Modelo digital de elevación DEM.....	31
Figura 9 Bloque diagrama de un DEM.....	32
Figura 10 Dirección y acumulación de flujo en la zona de estudio.....	33
Figura 11 Índice de humedad topográfica TWI.....	35
Figura 12 Longitud y magnitud de la pendiente - LS.....	37
Figura 13 Zonas inestables utilizando el criterio de Mohr-Coulomb.....	40
Figura 14 Recorrido trabajo de campo.....	42
Figura 15 Modelo digital de elevación – 12.5m.....	49
Figura 16 Mapa de pendiente - slope.....	50
Figura 17 Mapa de zonas de acumulación.....	51
Figura 18 Mapa de acumulación total.....	51
Figura 19 Acercamiento a puntos críticos de zonas de acumulación.....	52
Figura 20 Mapa de zonas estables e inestables.....	53
Figura 21 Acercamiento a zonas estables e inestables.....	53
Figura 22 Mapa de rangos máximos de los índices morfométricos - sumatoria.....	56
Figura 23 Sumatoria identificando los puntos de control.....	56
Figura 24 Índices morfométricos - multiplicación.....	57

Figura 25 Multiplicación final de índices morfométricos.....	57
Figura 26 Mapa de máxima acumulación - sumatoria.....	58
Figura 27 Puntos críticos - sumatoria .....	58
Figura 28 Mapa final - multiplicación .....	59
Figura 29 Puntos críticos – detalle total de la zona de estudio .....	59

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Causas de un deslizamiento .....	15
Tabla 2 Operacionalización de variables – variable independiente .....	24
Tabla 3 Operacionalización de variables – variable dependiente .....	25
Tabla 4 Clases de estabilidad obtenidas con SHALSTAB .....	39
Tabla 5 Histórica de movimientos de masa .....	42

## RESÚMEN

El proyecto de investigación titulado “Geomática aplicada en zonas inestables. Caso: "Las Peñas" vía Guanujo – Echeandía, cantón Guaranda, Bolívar – Ecuador”, tuvo como finalidad identificar zonas inestables mediante el uso de la Geomática en el sector “Las Peñas” vía Guanujo – Echeandía, cantón Guaranda, provincia Bolívar.

La investigación llevada a cabo en la zona de estudio “Las Peñas”, es de tipo no experimental, basada en la observación de las zonas inestables que, mediante la Geomática, nos permite el almacenamiento, procesamiento, análisis y distribución de información geográficamente referenciada.

Se determinó que las zonas inestables existentes en el sitio de estudio, sector “Las Peñas”, constan de pendientes muy pronunciadas lo cual se detalla mediante la aplicación de la Geomática.

La presente investigación está distribuida por capítulos de la siguiente manera:

**CAPITULO I:** este capítulo contiene el problema, planteamiento del problema, justificación y formulación de objetivos.

**CAPITULO II:** se incluye el marco teórico, antecedentes, fundamentación teórica y legal, hipótesis, variables y la operacionalización de las variables.

**CAPITULO III:** se expone el marco metodológico, nivel de investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de información, las técnicas de procesamiento y análisis de resultados.

**CAPITULO IV:** se incluye el análisis e interpretación de resultados obtenidos según los objetivos planteados y la comprobación de la hipótesis a defender.

### **PALABRAS CLAVES**

Geomática, zonas inestables, morfométrico, ladera, deslizamientos.

## INTRODUCCIÓN

Se presenta una revisión general de los métodos de elaboración de mapas previsores de movimientos de ladera mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) a partir de los conceptos básicos. En la actual era de potentes ordenadores y uso difundido de los SIG, igualmente se analizan los criterios actuales para obtener la dimensión temporal del mapa o establecer las consecuencias de los movimientos de ladera, sobre la base de ejemplos seleccionados para identificación de zonas inestables. Chacon J, (2005)

En el Ecuador existen deslizamientos naturales y antrópicos, provocando daños materiales y pérdidas de vida. Estos tipos de deslizamientos son ocasionados por fenómenos internos y factores ambientales como son: pendientes, tipo de suelo, clima, movimientos sísmicos, y por la mano del hombre, que realiza diferentes actividades como la construcción de caminos, produciendo debilidad del suelo.

La vía Guanujo – Echeandía perteneciente a la provincia Bolívar, es un nexo directo con los cantones de estudio y poblaciones que se encuentran aledañas, la misma que une a la Sierra con el Subtrópico de la provincia para el transporte diario y la comercialización de productos.

La presente investigación tiene como finalidad la determinación de zonas inestables mediante la aplicación de la geomática, herramientas SIG; donde se aplicó el criterio de Mohr - Coulomb, que nos ayuda para mostrar zonas críticas susceptibles a deslizarse, caracterizando los elementos expuestos ante esta amenaza, de modo que se establecerá medidas de prevención y mitigación para minimizar pérdidas económicas, de vida humana, de infraestructuras (viviendas, carreteras, etc.)

Siendo común el cierre de la misma y de esta necesidad, surge la idea para poder plantear este trabajo de investigación para tener en consideración medidas a ejecutar y como se puede intervenir en la zona de estudio. Antes de la Constitución del 2008 en el Ecuador, la Gestión del Riesgo era entendida como actividades de respuesta a emergencia de toda índole, a partir de aquello la Constitución del 2008 se posibilita la construcción de un sistema.

La Geomática es un término científico moderno, el cual es empleado para expresar la integración sistémica de metodologías y técnicas de adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis, presentación y distribución de información geográficamente referenciada.

Al mencionar zonas inestables se hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa y erosión lineal intensa, la caída de rocas o tierra desde una ladera, en forma lenta o rápida, que debido a la magnitud, su geomorfología y sus pendientes pronunciadas, destruye todo lo que se encuentra a su paso. En la Costa, Sierra y en la región Oriental existen zonas inestables porque Ecuador es un país montañoso. Cuando el suelo recibe una gran cantidad de agua, la tierra se ablanda, lo que produce que se precipite pendiente abajo.

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

#### **1.1. Planteamiento del problema:**

Los estudios realizados en algunos sectores sin tomar en consideración su geomorfología, su tipo de suelo y la pendiente, influyen de manera directa en las zonas inestables, cuando realizan excavaciones que desestabilizan las laderas.

El sector “Las Peñas” perteneciente a la provincia Bolívar en el tramo de la vía Guanujo – Echeandía, es considerado una zona inestable con un rango de mayor riesgo, especialmente en el kilómetro 12 y 19 debido a que en estos puntos se han evidenciado mayor número de afectaciones. Las consecuencias negativas de este problema se observan en la vialidad; lo que perjudica directamente a la economía de los pobladores. Ya que no pueden comercializar sus productos; siendo un nexo directo con el cantón Echeandía ya que el principal sustento económico depende de la agricultura (cacao, banano, naranja, mandarina, caña de azúcar y sus derivados, etc.)

Como antecedente reciente se puede mencionar la caída casi total de la plataforma en dicho sector en el 14 km, lo que conllevó a tomar cartas en el asunto y adoptar medidas de respuesta ante tal evento, se encuentran realizando trabajos frente a tal cuestión y se espera una respuesta de parte de las autoridades frente al mismo.

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Guaranda (PDOT), por tener una topografía con laderas de fuertes pendientes, un

clima húmedo y presencia de erosión, debilitan al suelo, siendo más perjudicial para las personas que transitan por el sector, afectando a la economía, bienes y vialidad.

La falta de información técnica y pocos estudios que determinen zonas inestables ha afectado en las vías y el desconocimiento de las autoridades en cuanto se refiere al tema de gestión de riesgos y de deslizamientos es evidente; por lo que es importante identificar y determinar las zonas inestables, para establecer medidas de prevención y mitigación que contribuyan al mejoramiento vial y económico del sector.

El presente trabajo de investigación da a conocer que medidas y cuál sería el plan a revisar al presentarse o suscitarse dicha amenaza, siendo como tal, un apoyo para que nuevas generaciones tomen como iniciativa y deseen darle continuidad a dicho documento sirviendo de apoyo.

## **1.2. Formulación del problema:**

En función de la actual amenaza que es evidente dentro del área de estudio, existe una historia importante en cuanto a las afectaciones generadas por movimientos de masa, que han azotado de manera recurrente y drástica, causando grandes afectaciones como aspecto general.

Considerando lo anteriormente mencionado, esta investigación plantea la siguiente pregunta:

¿Es posible que, mediante la utilización de la Geomática Aplicada, permitirá identificar las zonas inestables en el Sector “Las Peñas”, en los

kilómetros 12 – 19, vía Guanujo – Echeandía, cantón Guaranda, Bolívar – Ecuador?

### **1.3. Justificación:**

El proyecto de investigación se desarrolla en base a que en la zona de estudio se han registrado un sin número de movimientos de masa, donde la Geomática Aplicada que es la integración sistémica de técnicas y metodologías de adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis, presentación y distribución de información geográficamente referenciada, nos permite calificar el terreno, para la identificación de zonas inestables, siendo la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa y erosión lineal intensa, debido a que el mismo permite analizar, evaluar y dar posibles soluciones a las distintas variables del problema, permitiendo una toma de decisiones acertadas.

Al realizar el proyecto de investigación, debido a que en el sector “Las Peñas”, debido a su ubicación geográfica cuenta con fuertes pendientes, a causa de ello, la investigación tiene gran relevancia, ya que será de mucha utilidad en la identificación de zonas inestables, donde puedan tener una respuesta efectiva.

Partiendo del presente documento las autoridades competentes, podrán implementar medidas de prevención y mitigación basándose en la zonificación y así actuar de una manera eficaz, brindando seguridad y confianza a los transeúntes del sector.

Al culminar con este documento el sector se beneficiará mediante la geomática que ayuda a identificar las zonas inestables caso “Las Peñas” en el tramo del kilómetro 12 -19, para que las futuras estudios puedan realizar

investigaciones y profundizar el tema propuesto.

#### **1.4. Objetivo: general y específicos:**

##### **Objetivo general:**

Determinar las zonas inestables ante la amenaza de movimientos gravitacionales de ladera en el sector “Las Peñas”, mediante el uso de Geomática Aplicada.

##### **Objetivos específicos:**

- Elaborar un inventario histórico de los movimientos en masa que han existido en la vía Guanujo – Echeandía, desde el km 12 al 19.
- Identificar zonas inestables y elementos expuestos ante deslizamientos mediante la aplicación de dos métodos de Geomática Aplicada; utilizando el criterio de Mohr - Coulomb y el Modelo Morfométrico.
- Establecer escenarios de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo de la vía estudiada y recomendar medidas estructurales para su reducción.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes investigativos**

La Geomática Aplicada, es una Ciencia muy actual utilizada para determinar espacialmente la dinámica de las variables ambientales que modifican los paisajes en medio de la utilización de los Sistemas de Información Geográfica, la Teledetección y Modelación Numérica. Es una Ciencia que actualmente es utilizada en las Ciencias de la Tierra, Ingenierías, Arquitectura, Ambiental, Sociología, Economía y otras Ciencias que utilizan Georreferenciación. Bajo este contexto, la Geomática aplicada utiliza las denominadas Herramientas Activas para la planificación territorial, que son alta precisión, rápida aplicación, de uso público y de alto detalle. Este tipo de herramientas ha acelerado con mucha eficiencia, precisión y bajo costo la ubicación espacial de zonas susceptibles ante inundaciones en el recinto de estudio.

El proyecto de investigación abordará teorías y conceptos epistemológicos de diferentes autores como: (Quezada Roman A. , 2018) quien menciona que, para la determinación de las zonas inestables que es necesario comprender las formas de relieves con una homogeneidad relativa, con respecto a su génesis, dinámica, evolución y morfología. De tal manera el aporte científico que brinda este autor es un análisis de mapas geomorfológicos y de zonificación con respecto a posibles escenarios de zonas inestables.

(Quezada Roman & Barrantes Castillo, 2017) Mencionan que, los riesgos extensivos aumentan por diferentes factores como la degradación ambiental, la

pobreza, la desigualdad; las vulnerabilidades de los medios de vida rurales siendo estas las que ocasionan que existan zonas inestables. Para lo cual el aporte de ambos autores toma en consideración a dos factores: la precipitación y el modelo de elevación del terreno.

(Español Mariño, 2017) Señala que, para que se generen movimientos en masa es necesaria la presencia de factores condicionantes (laderas, pendiente, relieve y vegetación) y detonantes (precipitación, actividad sísmica y antrópicas). Por consiguiente, la contribución del mismo es la utilización y aplicación de factores similares para la identificación de las zonas inestables.

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. Geomática**

#### **Concepto**

(FONACIT, 2014) Se refiere a la Geomática como, un método integrado para la medición, análisis y uso de los datos terrestres, denominados datos espaciales (geoespaciales), los cuales provienen de satélites que orbitan la tierra, sensores marinos y aerotransportados, mapas, bases de datos, así como de equipos de medición terrestre.

La Geomática es un término científico moderno que hace referencia a un conjunto de técnicas que se integran para capturar, procesar, analizar, interpretar, publicar y guardar información geográfica.

#### **Importancia**

(CIEFAP, 2020) Afirma que, la geomática, combinada con las tecnologías de la información y comunicación, lo cual permite representar en forma detallada y

comprensible el mundo físico en el que vivimos, brindándonos una oportunidad sin precedentes de interpretar nuestro lugar en el mundo.

Esta interpretación multi - escala permite un punto de vista incrementado que favorece la gestión del territorio. Se cree que la incorporación de las nuevas tecnologías por parte de la comunidad científico - tecnológica y el público en general son fundamentales para un cambio de conciencia y mayor compromiso en el desarrollo de nuestra sociedad.

### **Aplicación**

La geomática tiene gran aplicación en el estudio y administración de los recursos naturales, aunque también tiene impacto en la vida diaria. (CIEFAP, 2020) Menciona que, al resolver problemas con datos cuya referencia geoespacial es importante para encontrar una solución, usamos geomática. Ejemplos sencillos podrían ser el uso de Google Earth para ver cómo es la vegetación en una determinada región, sistemas de navegación en automóviles o dispositivos móviles, geoetiquetado de fotografías y videos, y, por supuesto, el uso de cualquier tipo de mapa.

Los términos geomática, geoinformática y ciencias de la información geográfica (GIScience) son esencialmente sinónimos. La geomática se trata de una área multidisciplinaria que reúne a la teledetección, la fotogrametría, los sistemas de información geográfica, la geodesia y la agrimensura, entre otras.

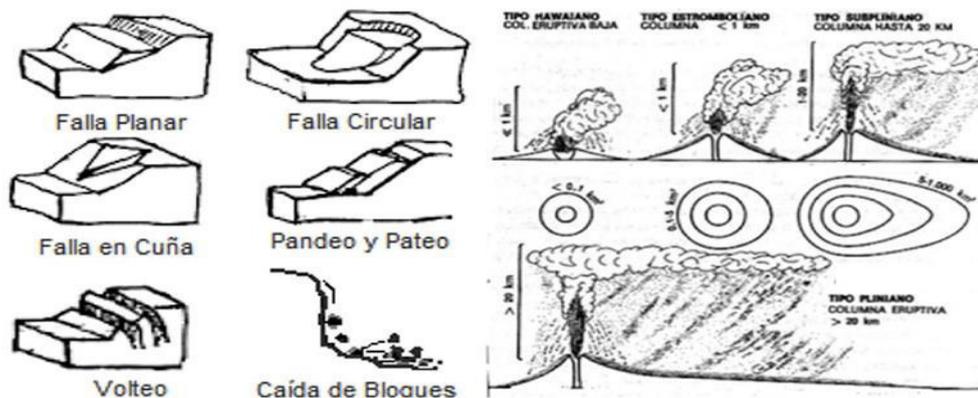
### 2.2.2. Zonas inestables.

Es una expresión utilizada para calificar el terreno donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa y erosión lineal intensa puede calificarse entre alta y muy alta.

Los movimientos de masa se dividen en tres tipos fundamentales:

- **Desprendimientos:** Es cuando el movimiento implica la caída libre de fragmentos sueltos de cualquier tamaño, comúnmente se presenta en pendientes muy empinadas donde el material no puede adherirse a la superficie.
- **Deslizamientos:** Es cuando el material se mueve a lo largo de la superficie, como puede ser: una falla.
- **Flujo:** Es cuando el material saturado con agua, se desliza pendiente abajo en forma viscosa.

**Figura 1:** Clasificación y factores de inestabilidad



**Nota:** se da a conocer la clasificación de inestabilidad, considerando sus factores que pueden influir en movimientos de masa. (Highland & Bobrowski, Manual de

derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

### **2.2.2.1. Factores que influyen en la estabilidad de taludes y laderas**

La estabilidad de los taludes y laderas depende de los siguientes factores:

#### **Factores geológicos**

Los factores geológicos están relacionados a la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud. Estos factores se clasifican en:

- Estratigrafía
- Litología
- Estructuras geológicas
- Discontinuidades. (Geocuantics, 2019)

#### **Factores geométricos**

Los factores geométricos tienen que ver con la altura e inclinación del talud, se clasifica en:

- Altura del talud
- Inclinación del talud. (Maldonado, 2016)

#### **Factores hidrogeológicos**

Los factores hidrogeológicos se relacionan con la presencia de agua en los taludes, se clasifica en:

- Presencia de agua. (Maldonado, 2016)

#### **Factores geotécnicos**

Los factores geotécnicos se relacionan al comportamiento mecánico de rocas y suelos que conforman el talud, además de la resistencia y deformidad de

los materiales, se clasifica en:

- Comportamiento mecánico de las rocas
- Comportamiento mecánico de los suelos
- Resistencia
- Deformabilidad. (Maldonado, 2016)

#### **2.2.2.2. Factores que influyen en la inestabilidad de taludes y laderas.**

La firmeza de taludes y laderas, está definido por factores capaces de transformar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno. A continuación, se dará a conocer los tipos de factores con sus respectivas clasificaciones:

##### **Factores condicionantes o pasivos.**

(Perez, 2019) Afirma que, estos factores son exclusivos a los materiales naturales, los cuales se clasifican en:

- Estratigrafía y litología
- Estructura geológica y discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales
- Propiedades físicas, resistentes y deformaciones
- Tensiones naturales y estado tenso – deformacional.

##### **Factores desencadenantes o activos**

(Perez, 2019) Afirma que estos factores ocasionan la rotura sobre el suelo y se clasifican en:

- Sobrecargas estáticas
- Cargas dinámicas
- Cambios en las condiciones hidrogeológicas
- Factores climáticos.

### **2.2.2.3. Factores que inciden a la clasificación de los deslizamientos**

Es necesario el estudio de la clasificación de los deslizamientos para estudiar los diferentes factores incidentes; para que mediante el mismo se concrete diferentes medidas a tomar. Según (Arias Torres, 2012) menciona los siguientes factores que inciden en la clasificación de deslizamientos:

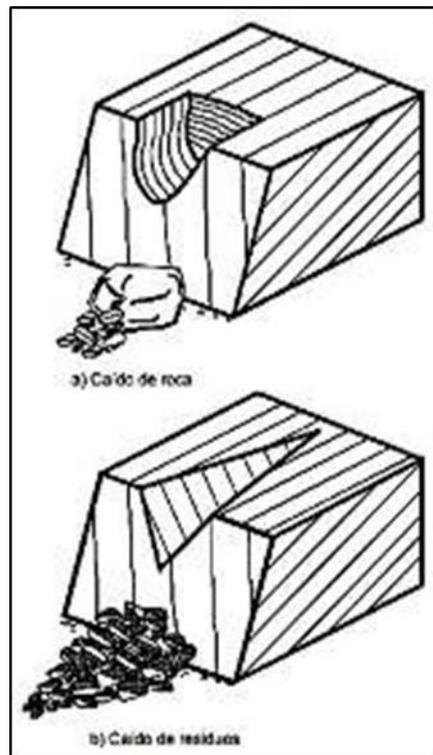
- **Clima:** Tropical, peri glacial, etc.
- **Humedad:** Saturado, seco, mojado
- **Mecanismo de disparo:** Lluvias, terremoto, etc.
- **Tipo de movimiento:** Falla, deslizamiento, flujo
- **Velocidad del movimiento:** Lento, muy lento
- **Geometría del deslizamiento:** Longitud, profundidad, altura
- **Geomorfología:** Pendiente, meteorización
- **Material:** Suelo, roca, litología, estructura, propiedades geotécnicas

### **2.2.2.4. Clasificación de movimientos de masa**

#### **Caída**

Una caída empieza con el desprendimiento de suelo, masas, tierra o roca en una pendiente muy inclinada. El material cae principalmente a través del aire por caída, rebotando o rolando. Ocurre en forma rápida sin dar tiempo a eludirlas. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

**Figura 2:** Esquema de caída de rocas y residuos

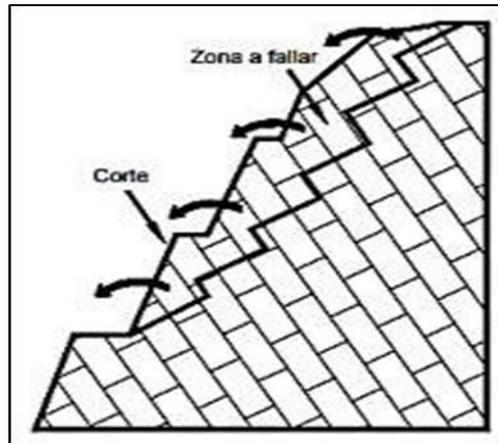


**Nota:** nos muestra el tipo de caída que puede tener considerando la inestabilidad y sus factores que pueden influir en movimientos de masa. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

### **Volcamiento**

Un volcamiento consiste en una rotación hacia delante de una masa de suelo o roca con un giro por debajo del centro de gravedad. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

**Figura 3:** *Esquema de volcamiento*

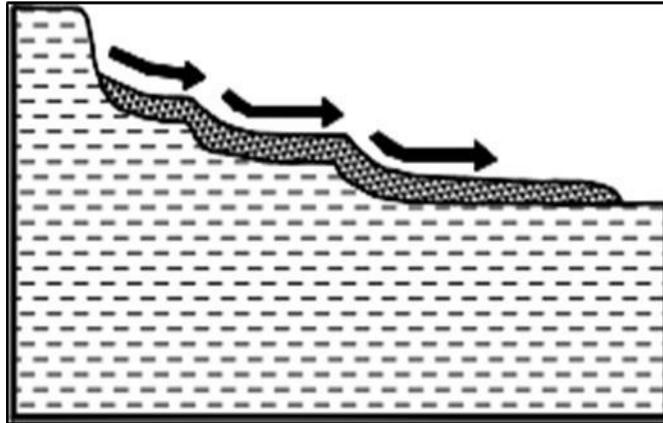


**Nota:** como se aprecia nos da a conocer los que tiende a ser la zona a fallar que esta en la parte superior y su corte dentro de la caída de movimientos de masa. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

### **Flujo de tierra**

Los flujos de tierra son movimientos de materiales finos y su consistencia en líquida, arrastrando parte de la capa vegetal. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

**Figura 4:** *Esquema de flujo de tierra*

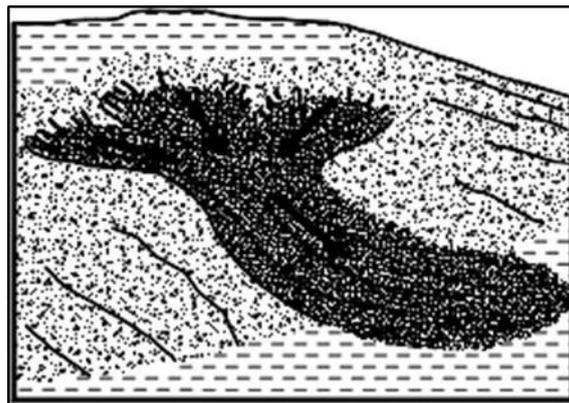


**Nota:** muestra la acumulacion de tierra que puede ceder en una superficie casi plana. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

### **Flujo de lodo**

Los flujos de lodo son movimientos extremadamente rápidos con viscosidad, debido a la intensidad de la lluvia debilitando a la tierra y a la vegetación. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

**Figura 5:** *Esquema de flujo de lodo*

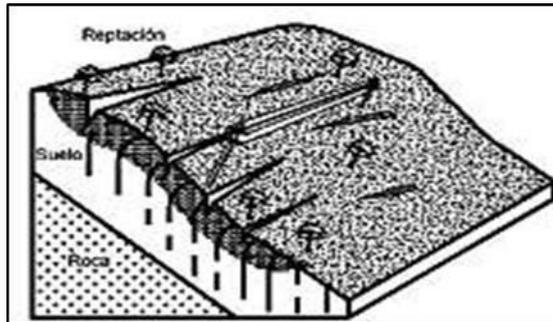


**Nota:** caída de lodo con una rapidez y viscosidad a causa de lluvias. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

## Reptación

La reptación es cuando los movimientos de la superficie son lentos o muy lentos por acción de la gravedad. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

**Figura 6:** Esquema de reptación



**Nota:** movimientos de masa muy lentos de acuerdo a la gravedad del sitio. (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008)

### 2.2.2.5. Causas de un deslizamiento.

Los deslizamientos son causados por la acción del hombre y la acción de la naturaleza, las causas más relevantes son:

**Tabla 1:** Causas de los deslizamientos

CAUSAS	
POR LA ACCIÓN DEL HOMBRE	POR LA ACCIÓN DE LA NATURALEZA
Deforestación	Fuertes lluvias
Inadecuadas formas de siembra	Movimientos sísmicos
Malas construcciones de carreteras	Movimientos de placas
Inadecuadas construcciones de viviendas en las faldas de la montaña.	

**Fuente:** (Highland & Bobrowski, Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes, 2008) **Elaborado por:** Jibaja, A (2022)

Los deslizamientos también son causados por:

### **Causas internas**

Según (Arias Torres, 2012) las causas internas están conectadas con la disminución de la firmeza al corte de la masa del suelo, así como:

- Acción del agua subterránea.
- Cambios en el nivel freático.
- Licuefacción espontánea.
- Cambios estructurales progresivos.
- Cambios en la cobertura vegetal.
- Ciclos estacionales y cambio en la humedad del suelo.

### **Causas externas**

Según (Arias Torres, 2012) menciona que las causas externas incrementan la dificultad de corte del suelo, tales como:

- Sobrecargas por acciones derivadas a construcciones.
- Técnicas de construcción.
- Excavaciones y condiciones climáticas.
- Manejo y uso de la tierra.

#### **2.2.3. Susceptibilidad del terreno inestable.**

La susceptibilidad es la distribución espacial de masa de tierra en una zona inestable existente o que pueda ocurrir, en una zona de ladera con inestabilidad. Retarda la probabilidad temporal de ocurrencia, para así poder comprobar los factores detonantes de inestabilidad (lluvia, sismos); mediante esto, el análisis de susceptibilidad permite identificar Dónde y Cuándo ocurrirá la amenaza. (Osorio

Marin, 2019)

La susceptibilidad del terreno se define como el equivalente entre el ambiente físico y los elementos de la masa de terreno y superficie, como son: pendiente, geología, geomorfología, entre otros, ante la ocurrencia de la amenaza. (Navarro Vidal, 2012)

### **2.2.3.1. Variables para identificar zonas susceptibles**

**Uso de suelo:** El uso de suelo es una opinión por escrito, mediante el cual la autoridad municipal o la oficina de planeación, informa a la persona interesada sobre el uso o usos que son permitidos en un predio, todo con conformidad con las normas urbanísticas del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). (Velázquez, 2014)

**Precipitación:** La precipitación se produce a través de las nubes, al ascender se expanden y se enfrían alcanzando el vapor de agua, el punto de rocío conjuntamente con la condensación, mientras que; si el aire es suficientemente caliente las partículas de hielo se funden y llegan al suelo en forma de lluvia. (Ramis, Homar, & Romero, 2008)

**Pendiente:** Una pendiente es la relación que existe entre el desnivel y la proyección sobre un plano horizontal de la distancia que los separa. (Moreno, 2010)

**Clima:** Es la interacción que existe entre la atmósfera, océanos, continentes, la vida del planeta; mediante condiciones meteorológicas por periodos de tiempo. (Martinez Arroyo, 2013)

**Deslizamiento:** Es el desplazamiento de rocas o suelo controlado por la

gravidad, con velocidades que varían entre lenta y rápida, provocando daños superficiales o profundas en la pendiente. (Servicio Geológico Militar, s.f.)

**Discontinuidades sísmicas:** Se producen en las zonas cuando existen cambios de velocidades en las ondas al producirse un sismo. (Biología & Geología, 2014)

**Estratigrafía:** Es la rama de la geología, es la encargada del estudio, interpretación, identificación y descripción de rocas estratificadas, sin antes mencionar; que también estudia la cartografía y correlación de rocas en un tiempo determinado, durante la historia de la Tierra. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

**Estructuras geológicas:** Es el desarrollo del relieve terrestre, están relacionadas con todos los accidentes tectónicos; originados por movimientos epirogénicos y orogénicos. (Rodríguez, 2011)

**Fallas geológicas:** Es la fractura que existe a lo largo de la corteza terrestre. (Red Sismológica Nacional, 2014)

**Geología:** Es la ciencia básica y fundamental que estudia la estructura, composición, dinámica e historia de la Tierra, para que mediante la misma se entienda las necesidades de la sociedad. (Universidad del País Vasco, 2014)

**Geomorfología:** Es la ciencia que estudia el origen y evolución de la Tierra, basándose en la historia y en los procesos de la corteza terrestres. (Gobierno Vasco, 2016)

**Geotecnia:** Es la ciencia que estudia la interacción que existe entre las construcciones y el terreno (propiedades hidráulicas, mecánicas e ingenieriles de suelos y rocas). (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

**Licuefacción:** Es el transcurso que tiene el gas natural al transformarse en líquido, después de su extracción. (Perez, 2008)

**Litología:** Es el estudio de las propiedades químicas y físicas de rocas, que ayudan a conocer más sobre un relieve. (Perez, 2008)

**Meteorización:** Es la desintegración o la descomposición de una roca en la superficie terrestre, facilitando el proceso de erosión. (Infogeología, 2018)

**Movimientos epirogénicos:** Son movimientos verticales que van de ascenso y descenso, produciéndose lentamente en la corteza terrestre. (Pérez, 2017)

**Movimientos orogénicos:** Son movimientos horizontales o verticales que se producen rápidamente en la corteza terrestre. (Pérez, 2017)

### **2.3. Fundamentación legal**

#### **2.3.1. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autónomas y Descentralización (COOTAD)**

**Art. 140.- Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos.** - La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecta al territorio se gestionará de manera concurrente y de forma articulada por todos los niveles de gobierno de acuerdo con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la constitución y la ley. (COOTAD, 2010)

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la

naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial. (COOTAD, 2010)

### **2.3.2. Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025**

#### **Objetivos del eje de seguridad integral**

#### **Objetivo 9. Garantizar la seguridad ciudadana, orden público y gestión de riesgos.**

Se busca fortalecer la gestión de riesgos identificando aquellos que afecten al territorio ecuatoriano, generar la difusión de información oportuna y coordinar las acciones pertinentes a fin de prevenir, enfrentar y mitigar los riesgos. Esto conlleva a plantear medidas de prevención, reducción, preparación y atención de desastres de manera oportuna por parte del Estado.

- Impulsar la reducción de riesgos de desastres y atención oportuna a emergencias ante amenazas naturales o antrópicas en todos los sectores y niveles territoriales. (Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025)

### **2.3.3. Régimen del Buen Vivir**

#### **Sección Novena**

#### **Gestión de Riesgo**

**Art. 389.-** El estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, economías y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

El sistema nacional descentralizado de gestión está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional.

El estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afectan al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejora las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencia en el territorio nacional.
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo. (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA

DEL ECUADOR 2008)

**Art. 390.-** Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respecto a su autoridad en su territorio t sin revelarlos de su responsabilidad.

(CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008)

### **2.3.4. CÓDIGO ORGÁNICO DE PLANIFICACIÓN Y FINANZAS PÚBLICAS PARAGRAFO 10.**

De la inversión pública y sus instrumentos.

**Art. 64.-** Preminencia de la producción nacional en incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo. – En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de vulnerabilidad y riesgos antrópicos y naturales.

### **2.3.5. Ley de Seguridad Pública y del Estado**

#### **Capítulo 3**

#### **De los órganos ejecutores**

**Art. 11.-** Los órganos ejecutores del sistema de seguridad pública y del estado estarán a cargo de las acciones de defensa, orden público, prevención y de gestión de riesgos conforme lo siguiente:

- 1.** De la defensa: Ministerios de Defensa, Relaciones Exteriores y Fuerzas Armadas.

– La defensa de la soberanía del Estado y la integridad territorial tendrá como entes rectores al Ministerio de Defensa y al de Relaciones Exteriores en los ámbitos de su responsabilidad y competencia. Corresponde a las Fuerzas Armadas su ejecución para cumplir con su misión fundamental de defensa de la soberanía e integridad territorial.

**2.** Del orden público: Ministerio de Gobierno, Policía y Cultos, y, Policía Nacional. - La protección interna, el mantenimiento y control del orden público tendrán como ente rector al Ministerio de Gobierno, Policía y Cultos. Corresponde a la Policía Nacional su ejecución, la que contribuirá con los esfuerzos públicos, comunitarios y privados para lograr la seguridad ciudadana, la protección de los derechos, libertades y garantías de la ciudadanía. Apoyará y ejecutará todas las acciones en el ámbito de su responsabilidad constitucional para proteger a los habitantes en situaciones de violencia, delincuencia común y crimen organizado. Coordinará su actuación con los órganos correspondientes de la función judicial.

**3.** De la prevención: Entidades responsables. – En los términos de esta ley, la prevención y la protección de la convivencia y seguridad ciudadanas, corresponde a todas las entidades del estado.

**4.** De la gestión de riesgos: - La prevención y las medidas para contrarrestar, reducir y mitigar los riesgos de origen natural y antrópico o para reducir la vulnerabilidad, corresponde a las entidades públicas y privadas, nacionales y locales, la rectoría la ejercerá el estado a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (Ley de Seguridad Pública

y del Estado, 2014)

#### 2.4. Hipótesis o ideas a defender

Basados en la Geomática Aplicada que combina dos mecanismos para simular un evento real como son (Shalstab + Método Morfométrico), se podrá identificar zonas de inestabilidad en la vía Guanujo – Echeandía.

#### 2.5. Variables

**Variable Independiente:** Uso de la Geomática Aplicada.

**Variable Dependiente:** Identificación de las zonas inestables.

#### 2.6. Operacionalización de variables

**Tabla 2:** Operacionalización de variables. Variable Independiente,

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala	Técnicas e instrumentos
<b>Independiente</b> : Uso de la Geomática Aplicada.	Conjunto de técnicas que se integran para capturar, procesar, analizar, interpretar, publicar y guardar información geográfica.	Caracterización de la susceptibilidad a zonas inestables.	1. Ubicación geográfica del sector de estudio. 2. Tipo de suelo. 3. Clima y Temperatura. 4. Modelamiento de escenarios por susceptibilidad a zonas inestables mediante la Geomática.		Tabla resumen de resultados.  Cuadrícula de modelamiento  Mapa de zonificación de amenaza de zonas inestables. (Google Earth y ArcMap)

**Elaborado por:** Jibaja, A (2022)

**Tabla 3:** Operacionalización de variables. Variable dependiente.

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala	Técnicas e instrumentos
<p><b>Dependiente:</b></p> <p>Identificación de las zonas inestables.</p>	<p>Terreno donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa y erosión lineal intensa</p>	<p>Efectos de daños mediante la identificación de zonas inestables.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Caracterización de la zona de afectación.</li> <li>2. Determinación de la cantidad de un aproximado de usuarios que circulan por la vía.</li> <li>3. Ubicación geográfica de organismos de respuesta cercanos.</li> </ol>		<p>Matriz de susceptibilidad de pérdida de vidas humanas y afectación a la línea vial.</p>

**Elaborado por:** Jibaja, A (2022)

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo, nivel y métodos de Investigación**

El tipo de investigación se ha definido en primer lugar por el Objetivo Principal, y según éste, corresponde a un tipo de investigación Aplicada ya que combina dos mecanismos de Geomática Aplicada para simular un evento real (Shalstab+ Método Morfométrico). También por el tipo de datos utilizados, esta tesis tiene un nivel de investigación Cuantitativa, ya que se utilizan parámetros numéricos de cantidad de lluvia ( $q$ )/cantidad de agua que puede almacenar un talud ( $T$ ) para desestabilizar el mismo, además de obtener parámetros morfométricos para determinar la cantidad de celdas del Modelo Digital de Elevaciones que son capaces de concentrar flujos de agua de la escorrentía superficial que pueden erosionar los taludes y generar coluviones e inundaciones en las zonas bajas en donde está construido el tramo de la vía.

#### **3.2. Población y muestra**

En esta investigación de tesis, la población total de análisis corresponde a todo el kilometraje de la vía Guanajujo – Echeandía, e incluyendo a todos los deslizamientos históricos ocurridos. Ocurridos históricamente a lo largo de la vía Guanajujo – Echeandía. De esta población total se ha tomado una muestra para análisis de deslizamientos dentro del tramo entre el kilómetro 12 al 19, tramo en el que han ocurrido frecuentes, más que en los otros tramos de la vía total.

### 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

- **Objetivo 1:** Elaborar un inventario histórico de los movimientos en masa que han existido en la vía Guanajujo – Echeandía, desde el 12km al 19km.

Dentro del primer objetivo planteado se toma en consideración realizar una matriz de los eventos suscitados por movimientos de masa; siendo una consulta histórica donde se identifiquen los mismos con ayuda de información y así obtener datos relevantes, para lo cual nos ayudamos de datos expuestos por revistas, noticias, periódicos, también se hace un recorrido de campo y así poder evidenciar.

- **Objetivo 2:** Identificar zonas inestables y elementos expuestos ante deslizamientos mediante la aplicación de dos métodos de Geomática Aplicada; utilizando el criterio de Mohr-Coulomb y el Modelo Morfométrico.

Para determinar este objetivo se utiliza dos criterios que nos ayudan a obtener datos como son de las zonas inestables y elementos expuestos que se encuentren en el sector de estudio, mediante la implementación del criterio de Mohr-Coulomb y el Modelo Morfométrico respectivamente en el análisis.

- **Objetivo 3:** Establecer escenarios de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo de la vía estudiada y recomendar medidas estructurales para su reducción.

Para obtener los escenarios que estén susceptibles a movimientos de masa nos basamos en la aplicación del segundo objetivo ya que este nos ayuda a identificarlos y así determinar niveles de afectación e implementar escenarios que se puedan

suscitar y se pueda adoptar medidas estructurales en la zona de estudio ya que se daría a conocer puntos críticos y observar cómo está compuesto el sector.

### **3.4. Técnicas de procesamiento, análisis y presentación de datos**

**3.4.1. Objetivo 1:** Elaborar un inventario histórico de los movimientos en masa que han existido en la vía Guanaju – Echeandía, desde el km 12 al 19.

En referencia a este objetivo, a continuación, se presenta en la Tabla 5, el inventario histórico de deslizamientos de masa en el tramo de estudio.

La visita de campo para comprobar los deslizamientos actuales, los mismos que comprueban los modelos numéricos aplicados en la metodología, se presentan en la siguiente secuencia de fotografías en los resultados del objetivo 1.

**3.4.2. Objetivo 2:** Identificar zonas inestables y elementos expuestos ante deslizamientos mediante la aplicación de dos métodos de Geomática Aplicada; utilizando el criterio de Mohr-Coulomb y el Modelo Morfométrico.

**3.4.2.1. El Modelo Morfométrico y el criterio de Mohr-Coulomb.**

**3.4.2.1.1. Obtención de Índices Morfométricos utilizando SAGA GIS.**

(Cando Jacome, 2019) La importancia de realizar nuevos modelos de flujo de este tipo de aluviones es el objetivo de este estudio y sus resultados permitirán

direccionar acciones importantes a favor de la población que habitan en las zonas vulnerables.

Para determinar las trayectorias de flujos capaces de generar aluviones, desde zonas de desfogue en el cauce y flujos de agua en quebradillas cercanas y contribuir con la actualización del mapa de amenazas por estos fenómenos, en este estudio se presenta como complemento al modelo hidráulico IBER, el Método Morfométrico. Este Modelo ha servido para mejorar la trayectoria de los flujos de agua que provocan zonas inundables y contribuyen a aumentar la fuerza con la que viajan los aluviones, en base de la extracción de Parámetros e Índices Morfométricos como la Pendiente, Orientación de la Pendiente, Curvaturas, Acumulación y Dirección de Flujo de la escorrentía superficial del agua de precipitación (FCC), el Índice de Humedad Topográfica (TWI) y la Longitud-Magnitud de la Pendiente (LS). Parámetros e índices que permitieron ubicar espacialmente las rutas secundarias de aporte y embalsamiento de flujos de agua en zonas de intersección de drenajes, determinar la capacidad de una geoforma de almacenar agua según su morfología y ubicar las geoformas que pueden perder suelo en función de la longitud y magnitud de la pendiente. El software utilizado para obtener estos parámetros e índices fue el System for Automated Geoscientific Analysis (SAGA).

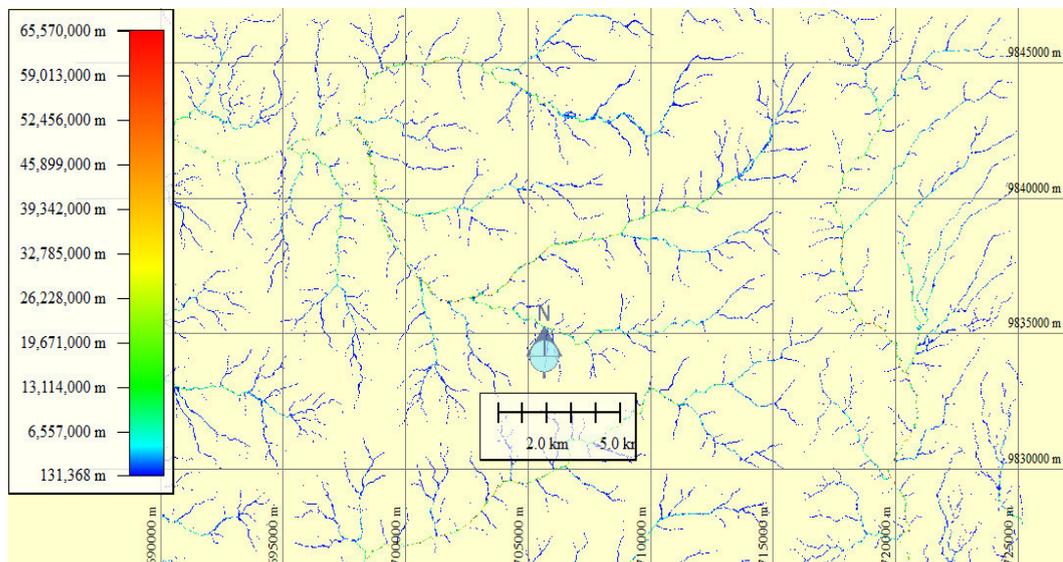
Los Índices Morfométricos principales estudiados fueron los siguientes:

#### **3.4.2.1.2. Índice Dirección y Acumulación de Flujo-FACC.**

(Cando Jacome, 2019) La Acumulación y Dirección de Flujo de la Escorrentía Superficial del agua de precipitación, se calculó como el área de

contribución ascendente (captación) utilizando el modelo hidrológico D8. El resultado es un ráster de flujo acumulado para cada celda, determinada por la acumulación del peso de todas las celdas que fluyen hacia cada celda sifón del Modelo Digital de Elevaciones-MDE con pendiente descendente o utilizando la línea de Máxima Pendiente. El flujo acumulado se basa en el número total de celdas, o una fracción de ellas que fluye a cada celda en el ráster de salida (sifón).

**Figura 7:** Índice Dirección y Acumulación de Flujo (FACC)



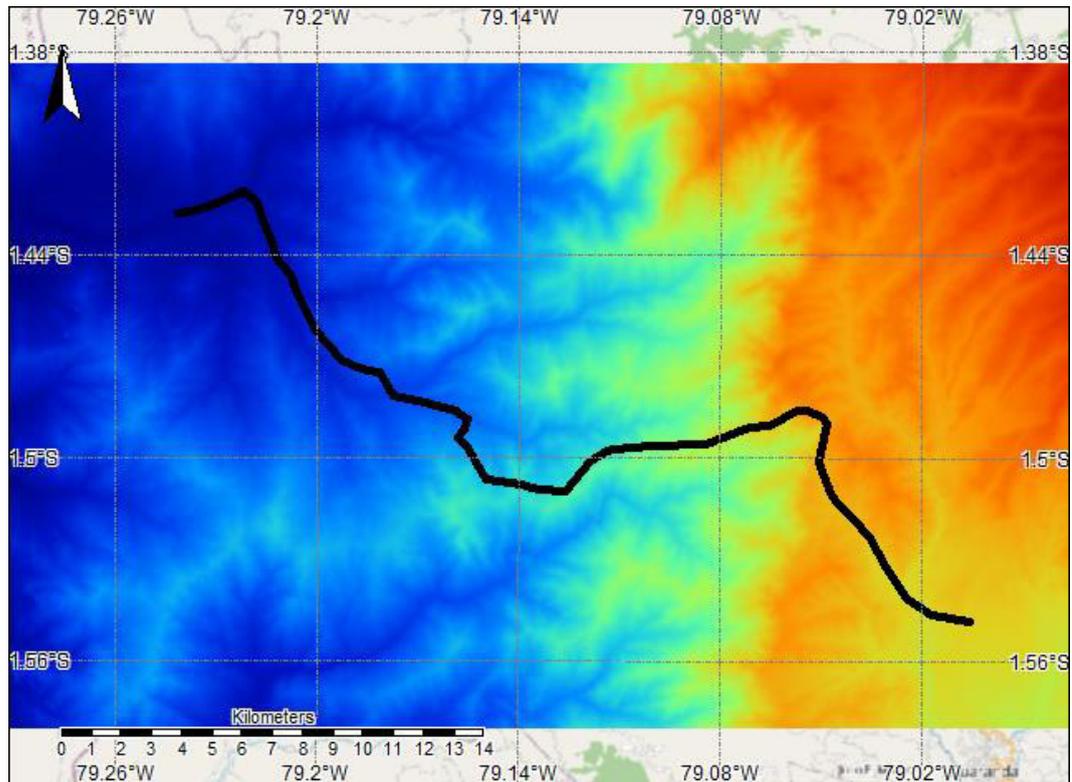
**Nota:** En la Figura 7 se puede ver un detalle de la Dirección y Acumulación de Flujo, flujos capaces de erosionar los márgenes de la río y producir deslizamientos.

Jibaja, A (2022)

SAGA GIS. Dirección y Acumulación de Flujo-FACC. Los valores más altos (tendencia al color azul intenso) representan mayores acumulaciones de flujo y áreas de acumulación de flujo capaces de generar aluviones.

En la Figura 8, se puede ver un bloque diagrama de una retícula de celdas de altura de un Modelo Digital de Elevaciones-MED. A partir de este bloque se puede explicar de manera rápida el funcionamiento del Modelo Hidrológico D8.

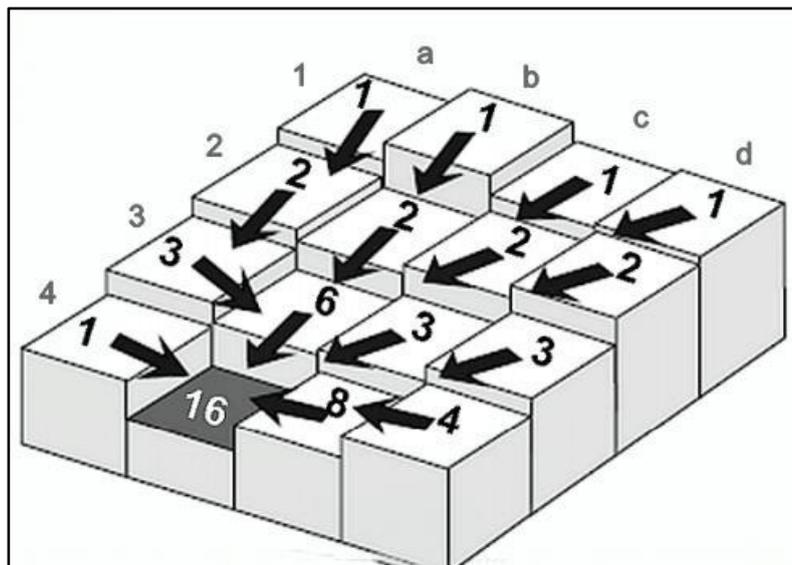
**Figura 8:** Modelo Digital de Elevación (DEM)



Las líneas de acumulación y dirección de flujo de la escorrentía del agua precipitada, empiezan en la zona alta de la malla del relieve, y a partir de la celda con cota más alta, en función de la Línea de Máxima Pendiente, traza un vector de dirección de flujo y calcula cuantas celdas concurren o acumulan agua en esa celda. Por ejemplo, en referencia al gráfico de la Figura 9, en donde la celda (b,4) es la que tiene la cota más baja de la malla (empezando por las filas superiores en las celdas (a,1... d,1), todas las celdas superiores tendrán un valor de acumulación de flujo de 1 ya que solo ellas son acumuladores, siendo (b,1) la celda con la cota más alta. Las celdas (a,2...d,2), tendrán la dirección de flujo hacia las celdas de cotas menores y pendientes máximas y un valor de acumulación de 2 ya que acumulan agua tanto de las celdas (a,1...d,1), como de las propias celdas, siendo la celda (b,2)

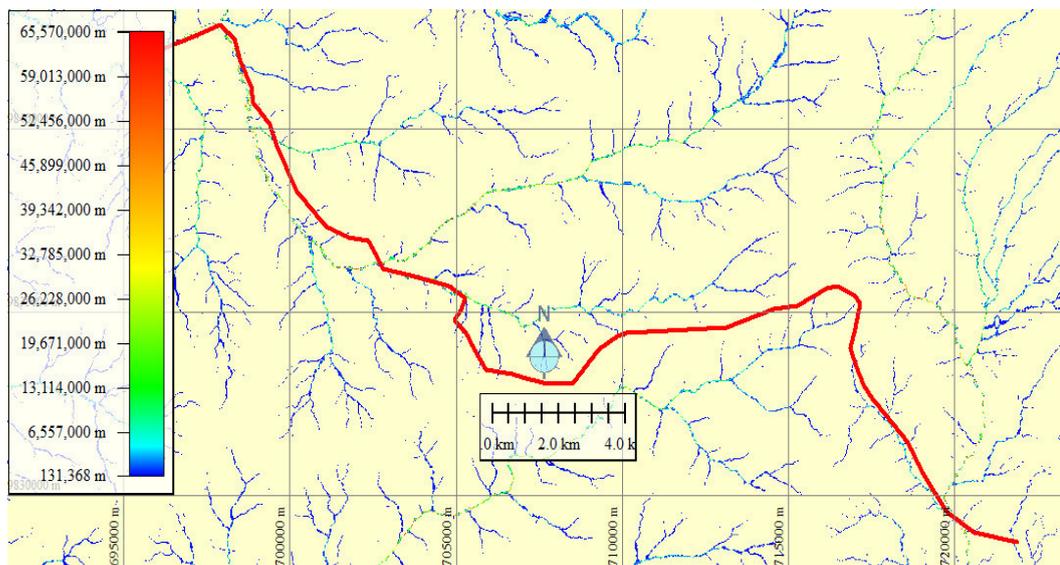
la de más baja cota en esa fila por lo que tiene un comportamiento de sifón. En la fila (a,3...d,3), la dirección de flujo de la columna (a,1...a,4) se corta en (a,3) ya que (a,4) está en cota más alta que (a,3) por lo que el flujo se dirige hacia (b,3) que es la celda de cota más baja en esa fila. Los valores de acumulación de flujo en (a,3) es 3, ya que es la suma de los valores de (a,1)+(a,2)+(a,3). En (b,3) será igual a 6 ya que es resultado de (a,1)+(a,2)+(a,3)+(b,2)+(b,2)+(b,3). La celda (a,4) más alta que (a,3) dirigirá el flujo hacia el sifón (b,4) continuo. En las celdas de columna (c,1...c,4) más altas que las celdas de la columna (b,1...b,4), la dirección de flujo se dirigirá hacia (c,4) la celda más baja en esa columna, celda que recibirá el flujo de agua que viene de la columna (d,1...d,4) columna más alta que la (c,1...c,4) por lo que en la celda (c,4) se acumulará el flujo de 8 celdas incluida ella misma de esta manera: (c,1...c,4)+(d,1...d,4). Finalmente en la celda sifón (b,4) confluirán todas las celdas (a,1...a,4)+(b,1...b,4)+(c,1...c,4)+(d,1...d,4) obteniéndose un valor de 16 celdas que se acumulan o fluyen hacia dicha celda.

**Figura 9:** Bloque diagrama de un Modelo Digital de elevación.



Nota: Bloque diagrama de un Modelo Digital de Elevaciones y funcionamiento del Modelo Hidrológico D8 a partir de las cotas más altas para determinar la Dirección y Acumulación del Flujo de la Escorrentía Superficial del agua de precipitación. (Modificado de Jenson et al, 1988)

**Figura 10:** Dirección y Acumulación de Flujo en la zona de estudio.



**Nota:** En la figura 10 se ha representado la Dirección y Acumulación de Flujo en la zona de estudio. Los valores más altos (tendencia al color azul intenso) representan mayores acumulaciones de flujo y áreas de flujo concentrado que pueden usarse para identificar canales de cursos de agua de llenado rápido y soporte de las rutas de aluviones. Jibaja, A (2022)

### 3.4.2.1.3. Índice de Humedad Topográfica-TWI.

(Cando Jacome, 2019) El Índice de Humedad Topográfica - TWI modela la dinámica de los flujos superficiales y subterráneos basándose en el control topográfico de la escorrentía que ofrece una mejor perspectiva en relación con la

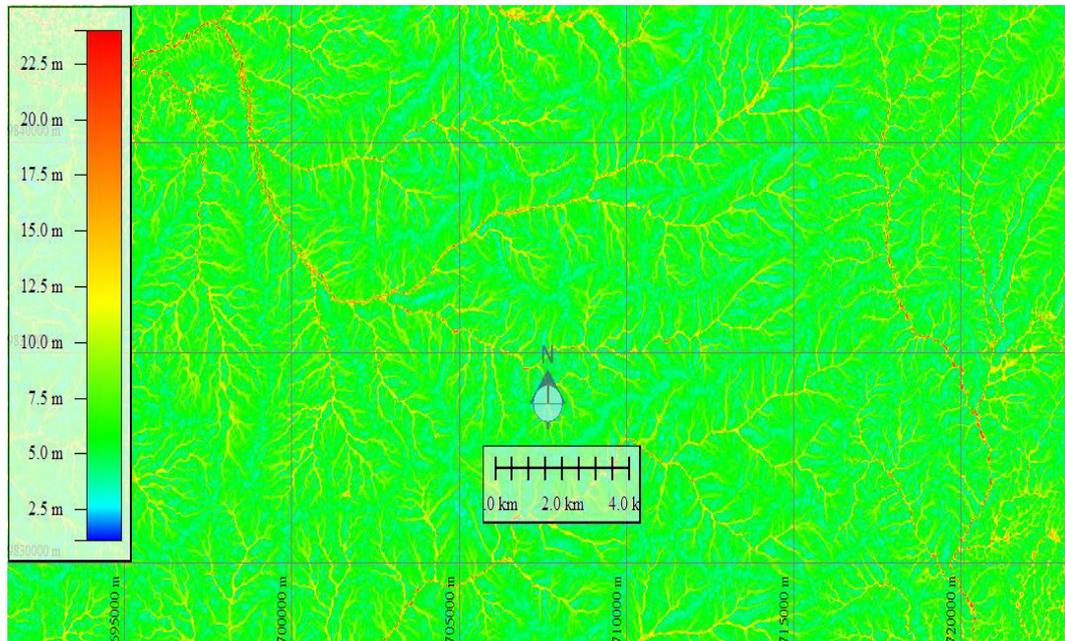
predicción de los sitios donde la saturación y la alta concentración de escorrentía pueden actuar como rutas de flujo iniciales de aluviones con proyección hacia procesos mayores de inundación. (Figura 11). El TWI combina la contribución a la escorrentía de un área local drenada y su pendiente, y se usa comúnmente para cuantificar el control topográfico en procesos hidrológicos y se define como:

$$\mathbf{TWI} = \text{Ln} (af/\tan \beta) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde **af** es el área local drenada para un punto de cálculo, y **tan  $\beta$**  es la pendiente direccional de la celda de interés (y de los ocho vecinos en el caso de utilizar un algoritmo D8). Ln es logaritmo natural.

Los valores más altos con tendencia al color azul, representan depresiones y geoformas capaces de acumular agua, formar flujos-guías de agua, ríos y quebradillas. Los valores más bajos con tendencia al color café oscuro, representan crestas y pequeñas divisorias de aguas en las facetas geomorfológicas desde nacen los flujos de agua que se depositan en las partes bajas.

**Figura 11:** Índice de humedad topográfica - TWI



**Nota:** Índice de Humedad Topográfica-TWI. Los valores más altos con tendencia al color azul, representa depresiones y geformas capaces de acumular agua y los valores más bajos con tendencia al color café oscuro, representan crestas y pequeñas divisorias de aguas por donde nacen los flujos que se depositan en las partes bajas.

#### **3.4.2.1.4. Índice Longitud y Magnitud de la Pendiente-LS.**

(Cando Jacome, 2019) Conociendo la dirección y el área de acumulación de flujo o área de captación específica obtenidos del Modelo Hidrológico D8, el factor LS determina el potencial de erosión del suelo debido a la escorrentía superficial. El factor L da el impacto de la longitud de la pendiente, mientras que el factor S explica el efecto de la inclinación de la pendiente. El cálculo del índice de longitud de pendiente (LS) es utilizado por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), basado originalmente en la pendiente y el área de captación específica.

El Índice LS es adimensional, con valores iguales y mayores que 0. Para calcular este El programa SAGA calcula el Índice LS utilizando los algoritmos propuestos por (Desmet & Govers, 1996)

Esta es una combinación de la pendiente y la longitud de la pendiente, que es útil para predecir el potencial de erosión. El componente longitud de la pendiente, L, calcula el efecto de la longitud de la pendiente sobre la erosión, y el componente magnitud de la pendiente, S, calcula el efecto de la pendiente sobre la erosión.

(Wischmeier & Smith, 1978) Definieron el factor L como la relación entre la pérdida de suelo de la longitud de una pendiente horizontal y la pérdida correspondiente de la longitud de la pendiente de una parcela unitaria (22,13 m). De acuerdo con esta definición, la longitud de la pendiente es la distancia desde el punto de origen del flujo terrestre hasta el punto donde el gradiente de la pendiente disminuye lo suficiente como para que comience la deposición o que las aguas de escorrentía fluyan hacia un canal. Según esta simple definición, el factor L se puede representar como:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \quad (\text{Ecuación 2})$$

En donde  $\lambda$  es la longitud de la pendiente en metros y m es equivalente a 0,5 para pendientes superiores al 5%, 0,4 para pendientes entre 3% –4%, 0,3 para pendientes entre 1% –3% y 0,2 para pendientes inferiores al 1%.

En este estudio, para calcular el factor magnitud de la pendiente S, se adoptó el algoritmo de Renard y col. (1997) en RUSLE para la estimación del factor S basada en el gradiente de pendiente:

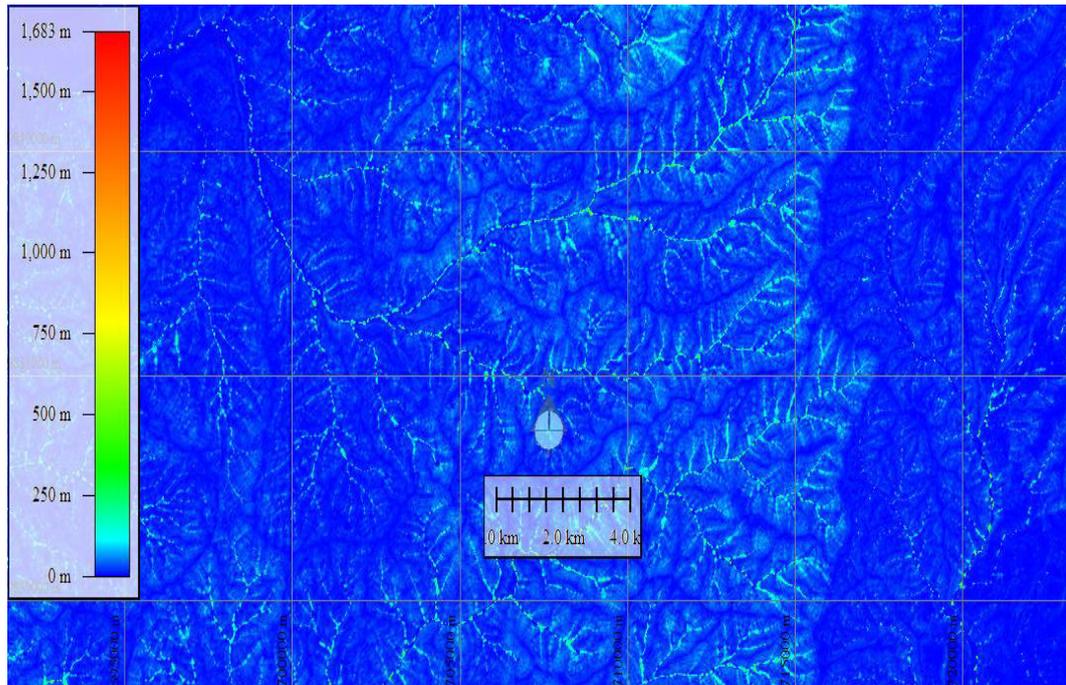
$$S = 10,8 \times \sin \Theta + 0,03, \text{ donde gradiente de pendiente } < 0,09 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$S = 16,8 \times \sin \Theta - 0,5, \text{ donde gradiente de pendiente } \geq 0,09 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde  $\Theta$  es el gradiente de pendiente en grados.

En la Figura 12, los valores más altos de color hacia el café oscuro representan una mayor susceptibilidad a la erosión.

**Figura 12:** Longitud y magnitud de la pendiente – LS.



**Nota:** Longitud y Magnitud de la Pendiente-LS. Valores más altos con tendencia a color azul oscuro representan zonas de mayor erosión.

#### **3.4.2.1.5. Determinación del Índice de estabilidad utilizando el software SHALSTAB en base de la teoría Mohr-Coulomb.**

(Cando Jacome, 2019) Este procedimiento, realizó el análisis de estabilidad de los taludes de los márgenes del río y zonas cercanas para definir áreas potenciales de generación de coluviones a través de procesos de erosión y eliminación masiva del suelo que pueden acumularse en el cauce y producir embalses artificiales. El programa Shallow Slope Stability - SHALSTAB fue utilizado para mapear terrenos inestables poco profundos, combinando las características de flujo estacionario del

subsuelo (flujo de agua que se mueve a poca profundidad debajo de la superficie del suelo con una velocidad constante), considerando la relación morfología-hidrología. El software de susceptibilidad por deslizamientos de tierra poco profundos Shallow Slope Stability-SHALSTAB, basado en la teoría Mohr - Coulomb y sus parámetros: grado de saturación interna del suelo ( $h/z$ ) y precipitación efectiva ( $q/T$ ). Parámetros necesarios para desestabilizar una ladera.

En base a esa relación, SHALSTAB utiliza dos tipos de modelos numéricos para determinar zonas inestables: el modelo de estabilidad de taludes y el modelo hidrológico.

**El modelo de estabilidad de taludes** utilizado por SHALSTAB, está basado en la teoría del talud infinito, que simula el grado de estabilidad de una determinada porción del suelo localizada sobre el afloramiento rocoso. Puede ser representado por la siguiente ecuación: Ecuación (5).

$$\frac{h}{z} = \frac{C}{\rho_w g z \cos \theta \tan \theta} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left[ 1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi} \right] \quad (\text{Ecuación 5})$$

En donde  $h$  es la altura de la columna de agua en el subsuelo (m);  $z$  es el espesor del suelo (m);  $C$  es la Cohesión del suelo (kpa);  $g$  es la aceleración de la gravedad ( $\text{cm/s}^2$ );  $\rho_s$  y  $\rho_w$  son las densidades del suelo y de la columna de agua respectivamente ( $\text{kg/m}^3$ );  $\varphi$  es el ángulo de fricción interna de la masa del suelo (grados) y  $\theta$  es el ángulo del talud natural del terreno (grados). Este modelo supone, por lo tanto, que las resistencias al movimiento a lo largo de los lados y extremos del deslizamiento de tierra no son significativas.

**El modelo hidrológico** determina la relación entre la concentración de agua y la transmisividad del suelo para determinar la condición de saturación. Este modelo puede ser expresado a partir de la ecuación 6:

$$W = \frac{Q}{T} \frac{a}{b \sin \theta} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:  $W$  representa el Índice de Humedad del suelo, que puede ser dado también en función de la razón «h» (grosor capa de suelo)/ $z$  (altura de la columna de agua en el subsuelo);  $Q$  es la intensidad de la lluvia (mm);  $T$  es la Transmisividad del suelo ( $\text{m}^2/\text{día}$ ), es decir, el producto entre la conductividad hidráulica saturada y el grosor del suelo;  $a$  es el área de contribución o el área drenada dado en  $\text{m}^2$ ;  $b$  es el largo de contorno unitario (resolución de la grilla dado en m) y  $\theta$  es la pendiente local medida en grados.

El análisis de la estabilidad en las laderas del río con SHALSTAB a través de la relación hidrológica  $Q/T$ , intensidad de la precipitación,  $Q$ , en relación con la capacidad del subsuelo para transmitir agua a lo largo de las laderas  $T$  (Transmisividad) determinó que, cuánto cuanto mayor sea  $Q$  en relación con  $T$ , más probable será que el suelo esté saturado y mayor será el número de sitios con pendientes inestables. Esta relación utilizó la clasificación de píxeles con valores positivos estables a valores casi estables y crónicamente inestables con valores negativos de acuerdo con las 7 clases de estabilidad que aporta SHALSTAB ilustradas en la tabla 1.

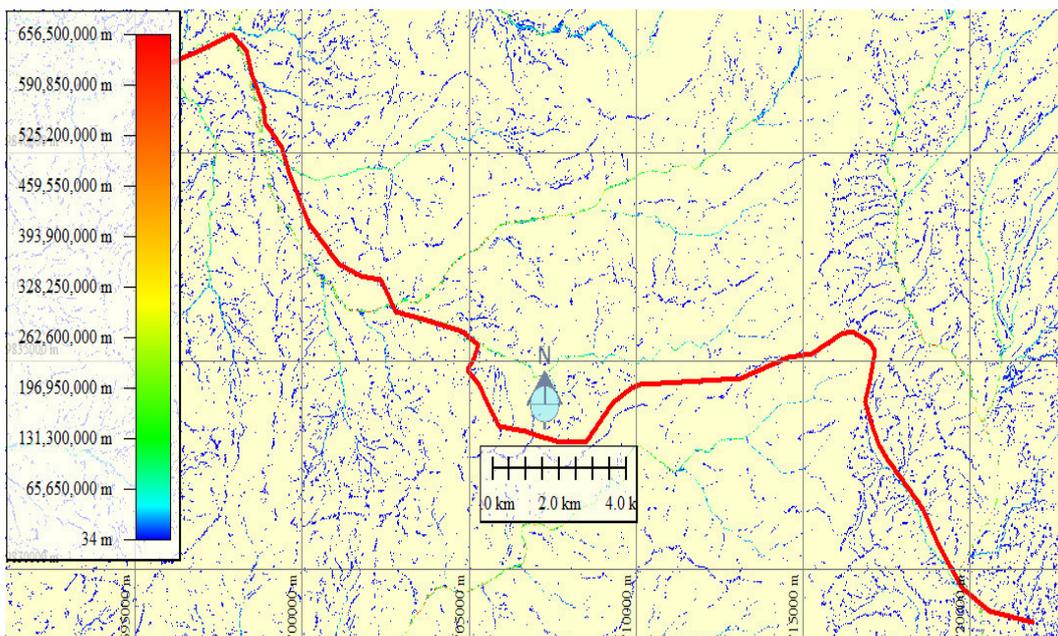
**Tabla 4:** *Clases de estabilidad obtenidas con SHASTAB*

<b>Clases SHALSTAB</b>	<b>Interpretación de las clases</b>
Inestabilidad crónica	Incondicionalmente inestable y saturado
$\text{Log } Q/T -1 < -3,1$	Incondicionalmente inestable insaturado
$3,1 < \text{Log } Q/T -1 < -2,8$	Inestable y saturado
$-2,8 < \text{Log } Q/T -1 < -2,5$	Inestable e insaturado

$-2,5 < \text{Log } Q/T - 1 < -2,2$	Estable e insaturado
$\text{Log } Q/T - 1 > -2,2$	Incondicionalmente estable e insaturado
Stable	Incondicionalmente estable y saturado

La susceptibilidad de zonas inestables se puede ver en la Figura 13. El margen derecho permanece más estable posiblemente por la acción estabilizadora de los taludes que provoca el canal revestido de hormigón de desvío de lodos desde la bifurcación hasta llegar a la piscina de lodos. Aguas arriba los taludes en este margen son más inestables.

**Figura 13:** Zonas inestables utilizando el criterio de Mohr-Coulomb.



Zonas inestables utilizando el criterio de Mohr-Coulomb. En los márgenes del río son los sitios en donde existe erosión y coluviones que taponan el cauce, producen embalses artificiales que luego provocan aluviones por acumulación de agua precipitada-sedimentos coluvionados.

**3.4.3. Objetivo 3:** Establecer escenarios de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo de la vía estudiada y recomendar medidas estructurales para su reducción.

De la integración de los mapas que se realizó por producto punto escalar (ráster \* escalar) con lo que se obtuvieron los siguientes escenarios en función de la intensidad de los valores más críticos, tanto de flujo de dirección y concentración del agua de escorrentía, generación de embalses por flujo de escorrentía, zonas de máxima erosión y la relación  $q/T$  (cantidad de lluvia que puede almacenar un talud para su desestabilización).

**3.4.3.1.** Escenario 1: Rangos máximos de los índices morfométricos (FACC + TWI + LS) \*  $(-q/T)$  que representan los valores de máxima acumulación de flujos de agua de la escorrentía (FACC), máxima generación de embalses por concentración de flujo (TWI), concentración de sedimentos erosionados (LS) y máxima inestabilidad  $(-q/T)$ . este resultado se puede ver en la figura..... Las cruces significan puntos de control de campo, en donde se ha verificado que la vía tiene puntos de control de campo PC1, PC2 y PC3.

**3.4.3.2.** Escenario 2: El segundo escenario es un posible relaciona los valores de los factores los valores de máxima acumulación de flujos de agua de la escorrentía (FACC), máxima generación de embalses por concentración de flujo (TWI), concentración de sedimentos erosionados (LS) y máxima inestabilidad  $(-q/T)$ .

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Presentación de resultados por objetivos

**4.1.1. Objetivo 1:** Elaborar un inventario histórico de los movimientos en masa que han existido en la vía Guanajujo – Echeandía, desde el km 12 al 19.

En referencia a este objetivo, a continuación, se presenta en la Tabla 5, el inventario histórico de deslizamientos de masa en el tramo de estudio.

**Tabla 5:** *Histórico de movimientos de masa.*

<b>HISTÓRICO DE MOVIMIENTOS DE MASA</b>					
<b>Vía Guanajujo – Echeandía</b>					
<b>#</b>	<b>Día</b>	<b>Mes</b>	<b>Año</b>	<b>Tipo</b>	<b>Estado</b>
<b>1</b>	12	Abril	2017	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>2</b>	10	Febrero	2019	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>3</b>	26	Enero	2020	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>4</b>	16	Marzo	2021	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>5</b>	30	Enero	2022	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>6</b>	1	Febrero	2022	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>7</b>	2	Febrero	2022	Deslizamiento	Vía cerrada
<b>8</b>	11	Marzo	2022	Deslizamiento	Vía cerrada

**Fuente:** (Ministerio de Transportes y Obras Públicas, s.f.)

La visita de campo para comprobar los deslizamientos actuales, los mismos que comprueban los modelos numéricos aplicados en la metodología, se presentan en la siguiente secuencia de fotografías dentro de la figura 14.

**Figura 14:** *Salida a trabajo de campo.*

**FOTOGRAFÍA # 1**

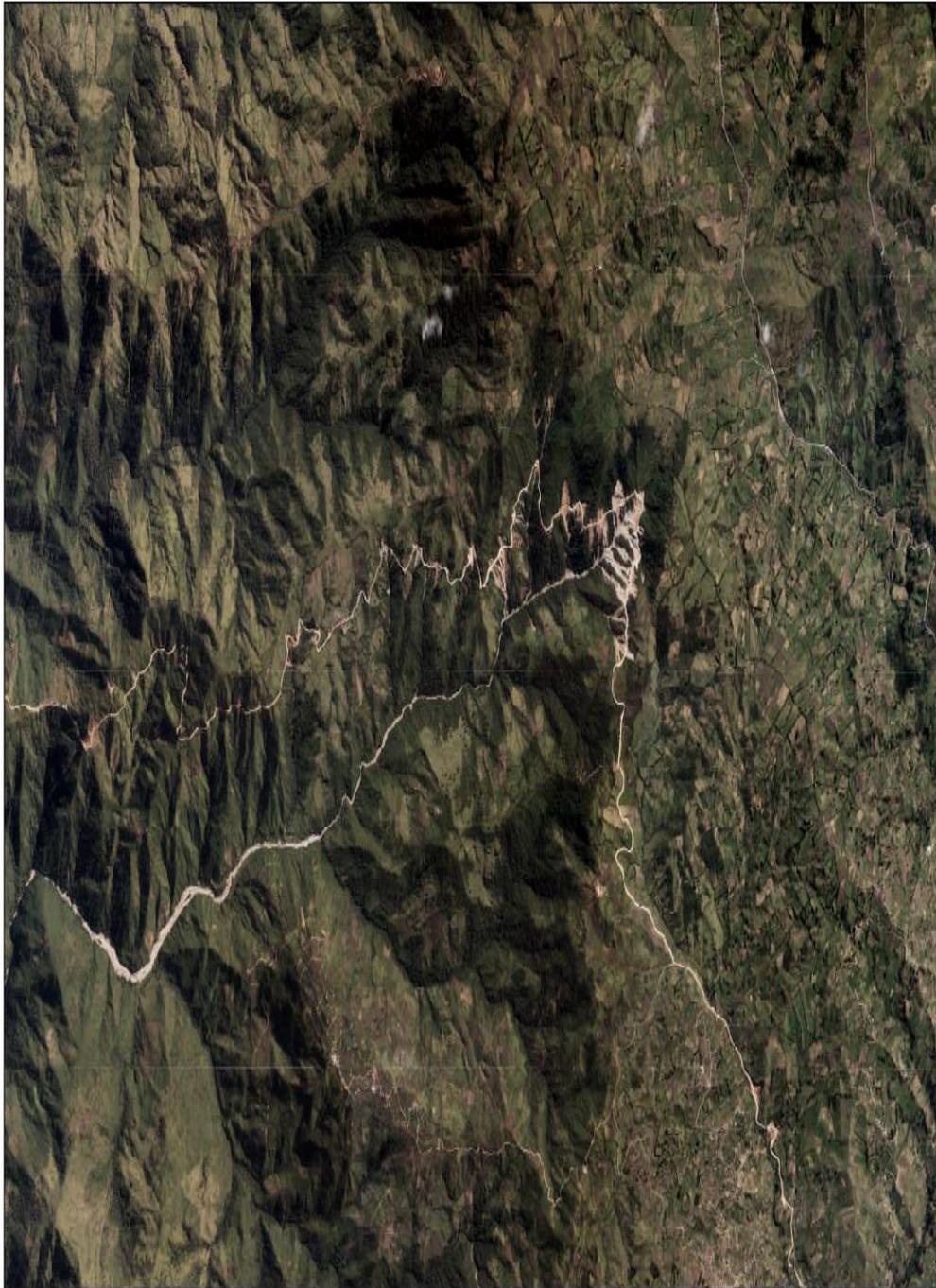


Imagen satelital del sector de estudio, caso “Las Peñas”

(Jibaja, A. 2022)

FOTOGRAFÍA # 2 - 3 - 4 - 5



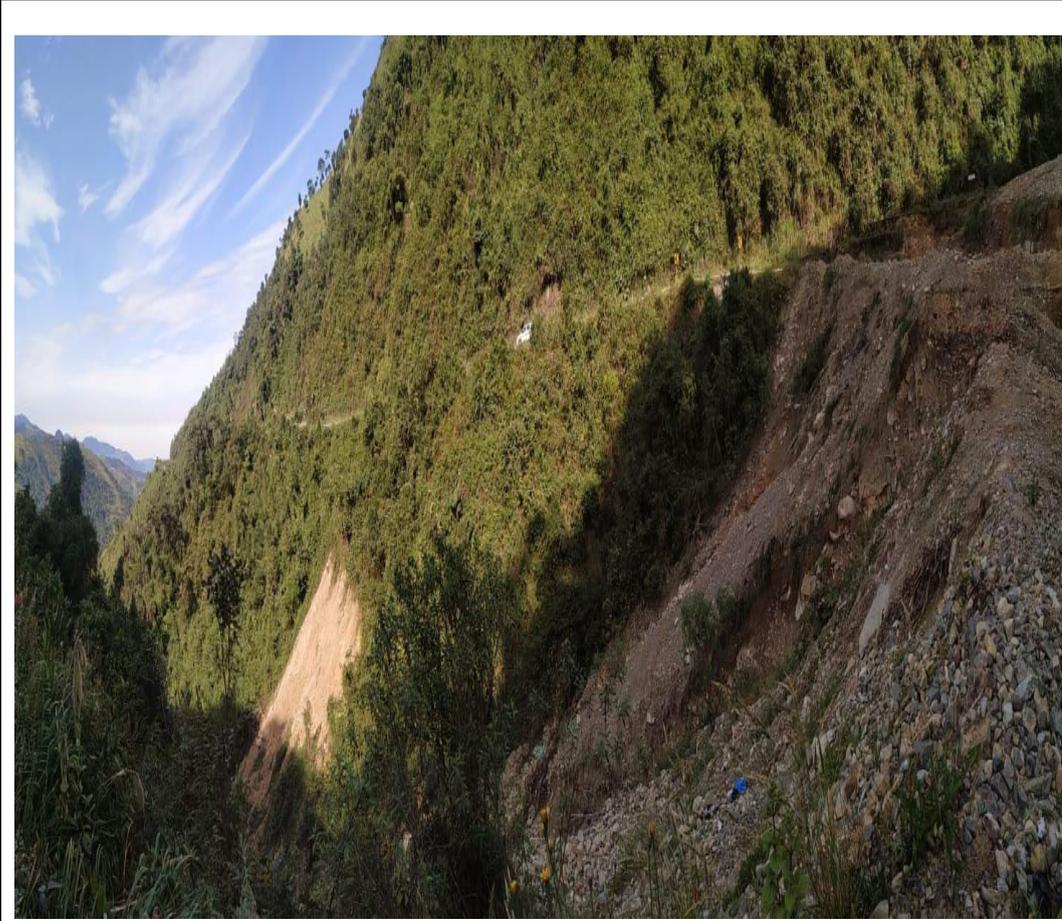


Identificación de zonas inestables, puntos críticos, kilómetro 19.

(Jibaja, A. 2022)

FOTOGRAFÍA # 6 - 7 - 8 - 9 - 10







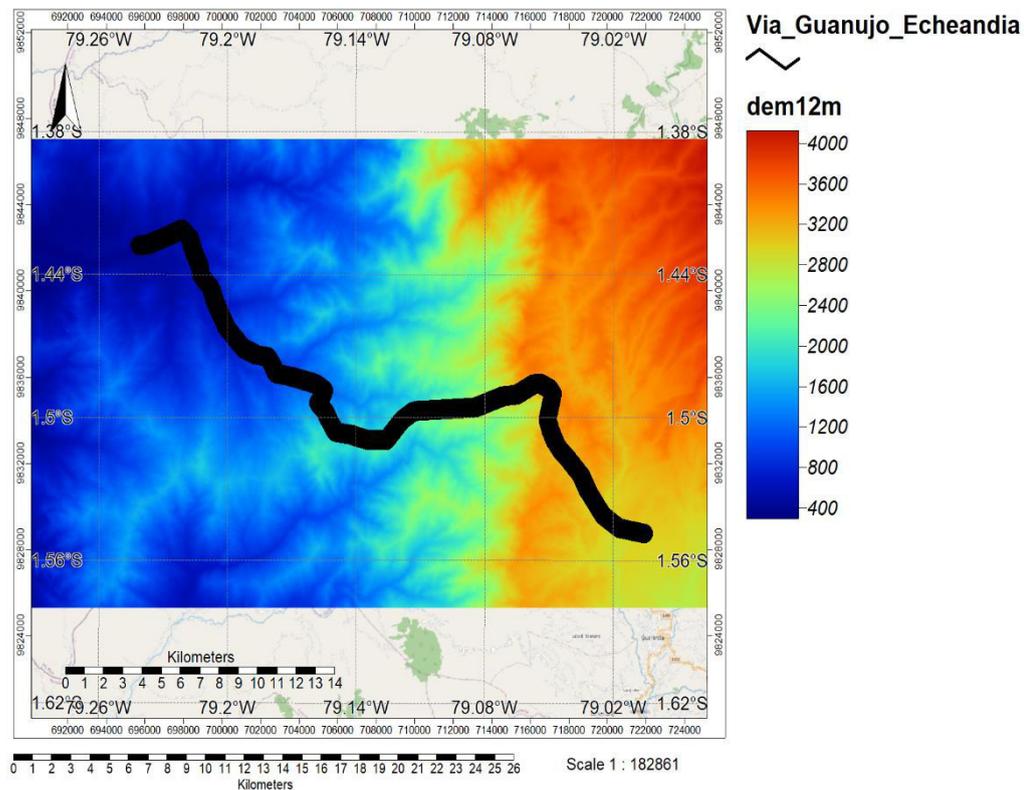
Identificación de zonas inestables, puntos críticos, ruptura de la plataforma vial,  
kilometro 14.

(Jibaja, A. 2022)

**4.1.2. Objetivo 2:** Identificar zonas inestables y elementos expuestos ante deslizamientos mediante la aplicación de dos métodos de Geomática Aplicada; utilizando el criterio de Mohr-Coulomb y el Modelo Morfométrico.

Para conseguir el objetivo 2, partimos obteniendo un DEM tomando en consideración datos de 12.5 metros de resolución espacial desde la NASA para el modelo digital de elevación.

**Figura 15:** Modelo Digital de Elevación – 12.5m

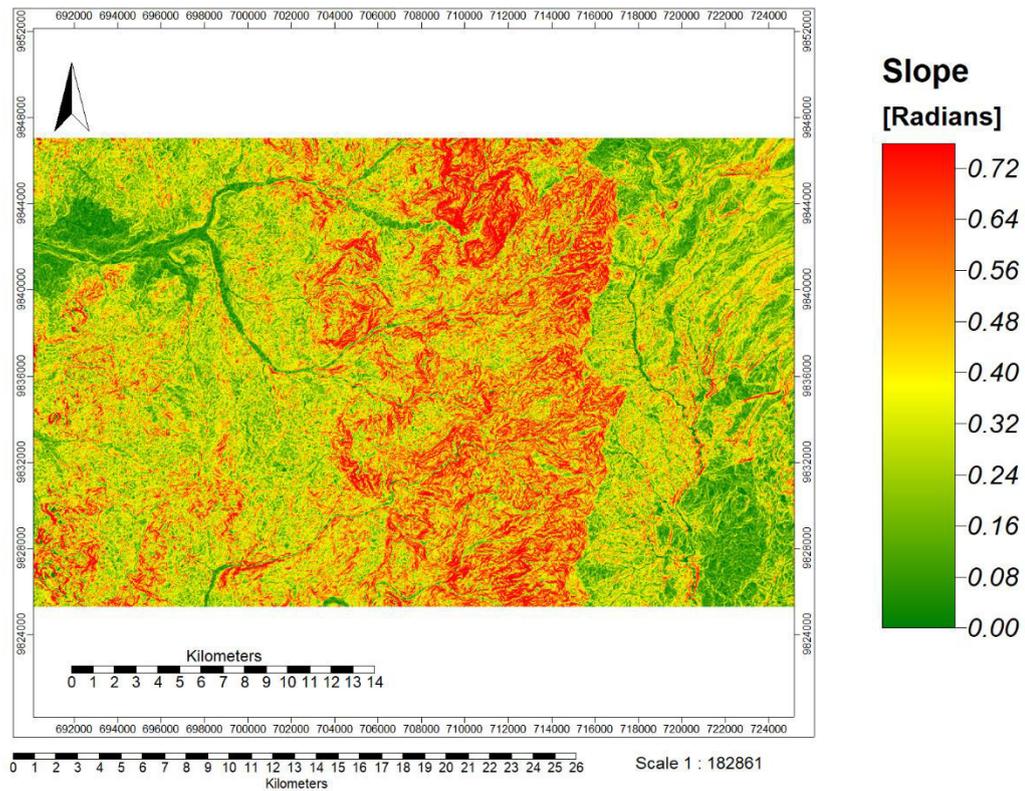


Una vez obtenido el modelo digital de elevaciones se aplicó la teoría de Mohr-Coulomb a través de Shalstab y Arcview.

Posteriormente, con la ayuda del módulo Shalstab se generaron los siguientes productos que a su vez son los insumos para la aplicación del modelo Mohr-Coulomb.

Mediante las curvas de nivel podemos obtener el mapa de pendientes del sector de estudio.

**Figura 16:** *Mapa de Pendientes - Slope*

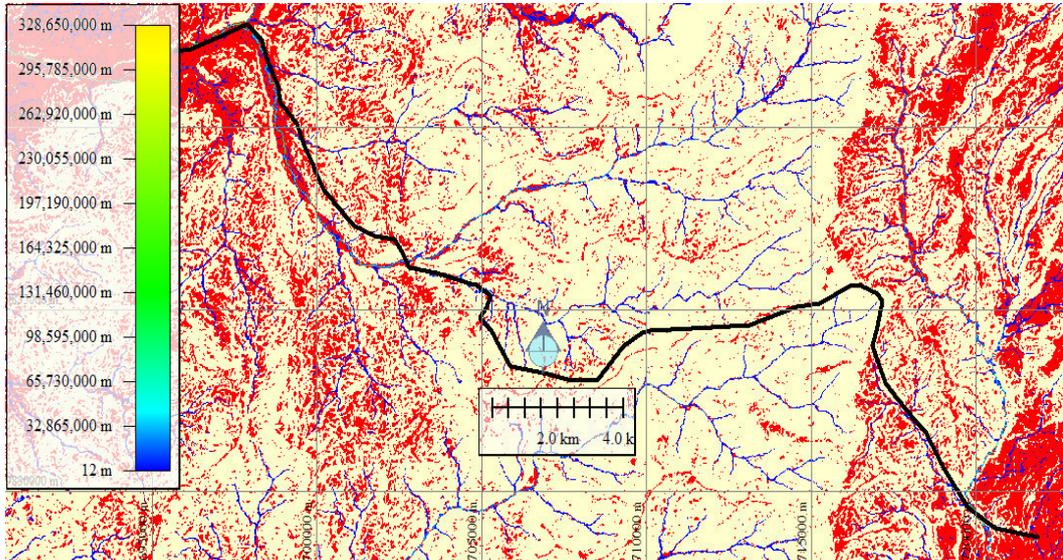


Posteriormente, se generó el mapa de las zonas de acumulación, ingresando como parámetros.

Ángulo de rotación: 32 grados

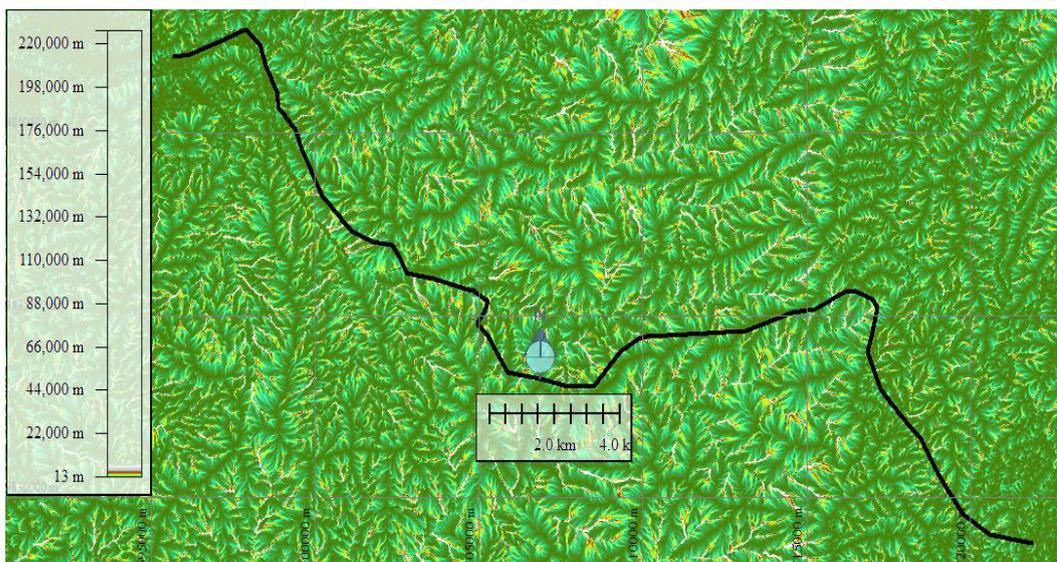
Densidad del suelo: 2100 Kg/m<sup>3</sup>

**Figura 17:** *Mapa de Zonas de Acumulación*



Como se puede ver en la figura a continuación, casi toda el área de estudio presenta zonas de acumulación por el tipo de suelo y la pendiente fuerte, a más de cómo se mencionó inicialmente, existe gran densidad de drenajes que van desde la parte nor-este y cruzan la vía Guanajujo – Echeandía perpendicularmente.

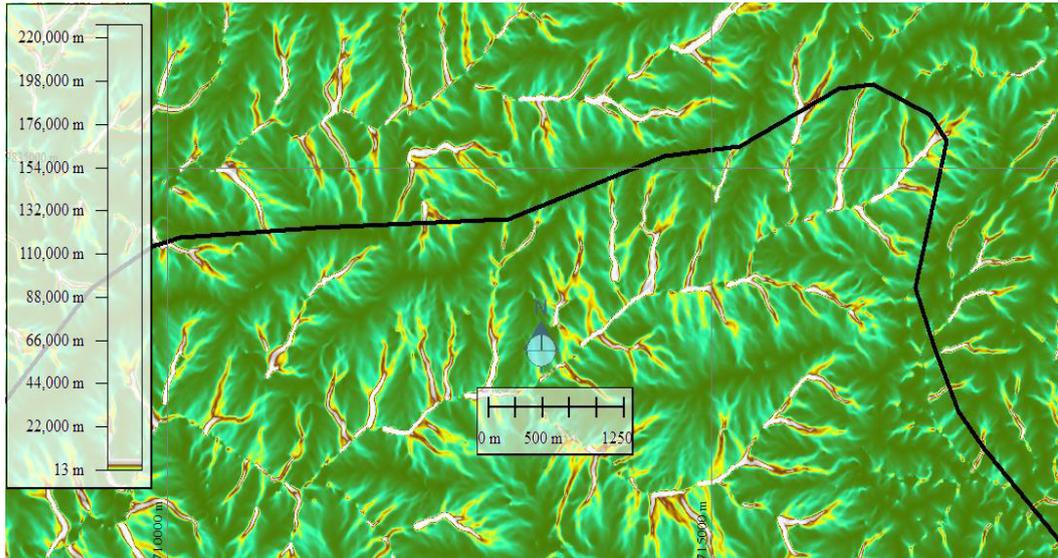
**Figura 18:** *Mapa de Zonas de acumulación total.*



Al realizar un acercamiento en un punto de deslizamiento podemos comprobar lo

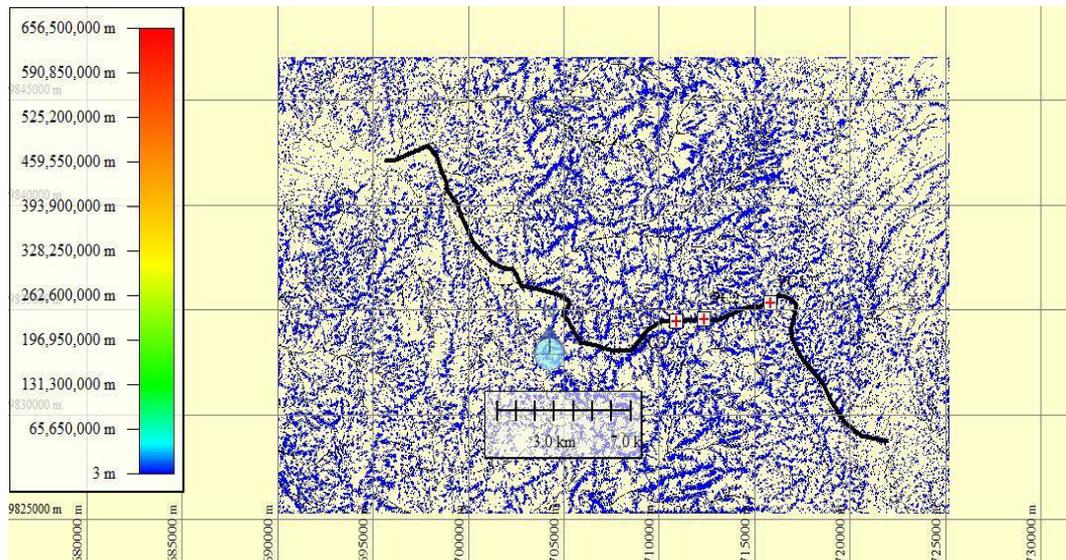
mencionado, las zonas de máximo acumulación están presentes por gran parte de la ruta, y en el caso del centro de la imagen, se puede observar que coincide perfectamente con el movimiento de remoción de masa acontecido.

**Figura 19:** *Acercamiento a puntos críticos de zonas de acumulación.*



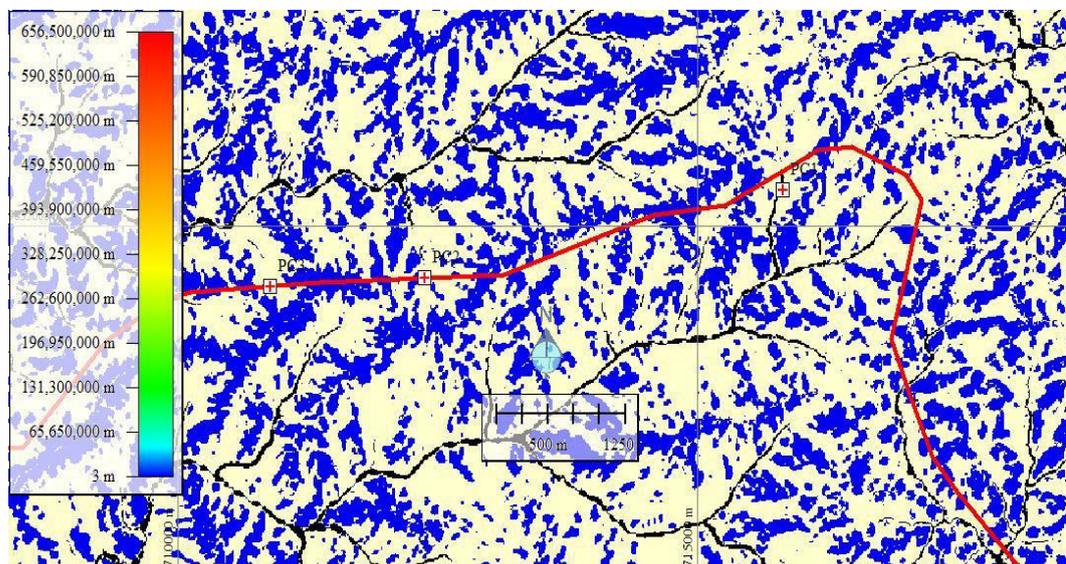
Para esta identificación se aplicó una simbología de dos categorías, zonas inestables (color blanco) y zonas estables (zonas azules), observándose que prácticamente en todo el recorrido de la vía hay inestabilidad del suelo y explicando por qué existen constantes deslizamientos.

**Figura 20:** Mapa de zonas estables e inestables.



**Nota:** Las zonas correspondientes a lugares estables corresponden casi en su totalidad a las cimas de las elevaciones o líneas de cumbre.

**Figura 21:** Acercamiento a zonas estables e inestables.



**Nota:** La vía evidencia en su totalidad muestra zonas inestables que se pueden evidenciar con los puntos críticos que se a tomado en consideración.

**4.1.3. Objetivo 3:** Establecer escenarios de susceptibilidad por movimientos en masa en el tramo de la vía estudiada y recomendar medidas estructurales para su reducción.

De la integración de los mapas que se realizaron, por producto punto escalar (ráster \* escalar) con lo que se obtuvieron los siguientes escenarios en función de la intensidad de los valores más críticos, tanto de flujo de dirección y concentración del agua de escorrentía, generación de embalses por flujo de escorrentía, zonas de máxima erosión y la relación  $q/T$  (cantidad de lluvia que puede almacenar un talud para su desestabilización).

- Los resultados indican que existen dos posibles escenarios de susceptibilidad por movimientos en masa y rompimiento de vía: el primero escenario presenta la mayor susceptibilidad por movimientos de masa por condiciones climáticas, sismo tectónicas y por corte de talud en vía para lo cual se establece en zonas afectadas por flujos de una, dos y tres trayectorias en las que para reducir su capacidad erosiva y de movimiento de masa se pueden construir coronas con disipadores abiertos y reductores de energía tipo grada con taludes de seguridad 2:1, bermas de reducción de energía con desarenadores de fondo, espinas de pescado con conexión central y disipadores abiertos y finalmente, en caso de encontrarse en suelos arcillosos programar un estacado o “trinchos” de caña guadua estructural.

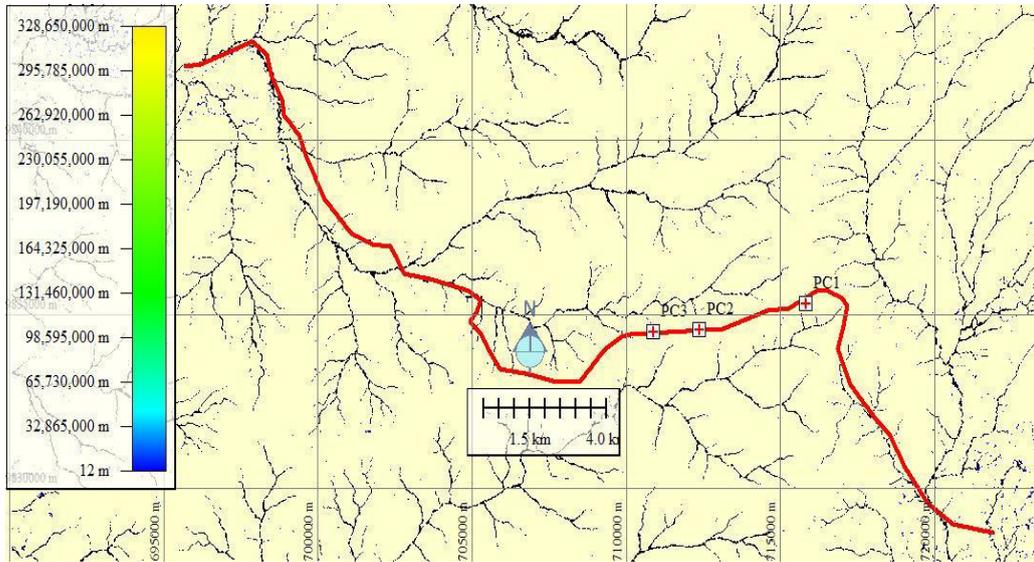
- En el segundo escenario los taludes se han mantenido estables porque los parámetros morfométricos como el concentrador de flujo y el índice que permite el embace de estos flujos no actúan directamente para generar empuje

de masa para que puedan ocurrir coluvio - aluvión.

- En el medio de estos dos escenarios existe la probabilidad de que, por condiciones climáticas y morfométricas principalmente, los taludes presenten una condición de “cuasi estabilidad”, lo que quiere decir que son muy susceptibles a transformarse en taludes inestables por cambios mínimos en sus parámetros litológicos, geomorfológicos y de cobertura de suelo. En este escenario, para conservar su estabilidad es necesario mantener sus condiciones fisiológicas en lo posible.

**Escenario 1:** Rangos máximos de los índices morfométricos (FACC + TWI + LS) \* (-q/T) que representan los valores de máxima acumulación de flujos de agua de la esorrentía (FACC), máxima generación de embalses por concentración de flujo (TWI), concentración de sedimentos erosionados (LS) y máxima inestabilidad (-q/T). Este resultado se puede ver en la figura 23 y 23. Las cruces significan puntos de control de campo, en donde se ha verificado que la vía tiene puntos de control de campo PC1, PC2 y PC3.

**Figura 22:** Mapa de rangos máximos de los índices morfométricos – sumatoria.

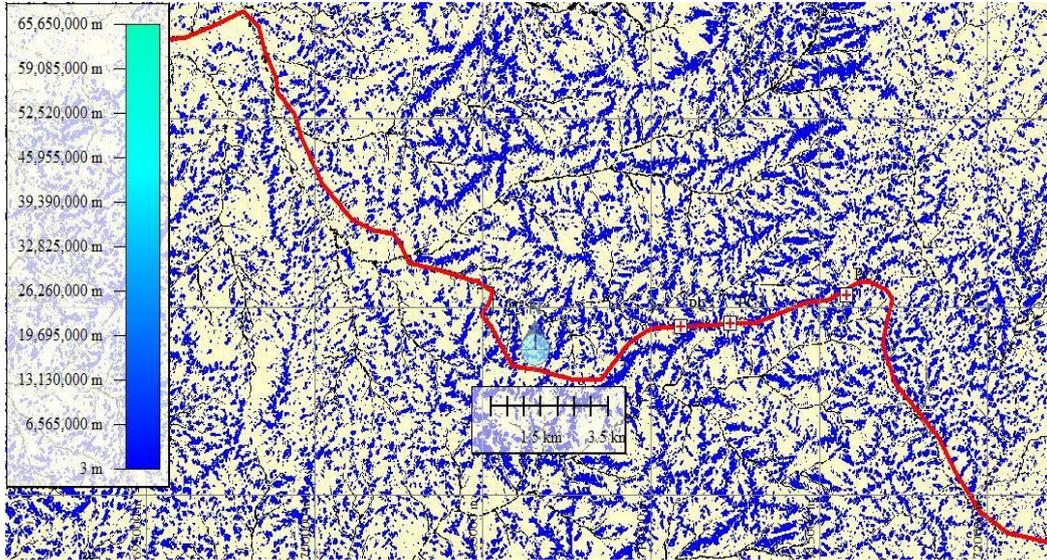


**Figura 23:** Sumatoria identificando los puntos de control.

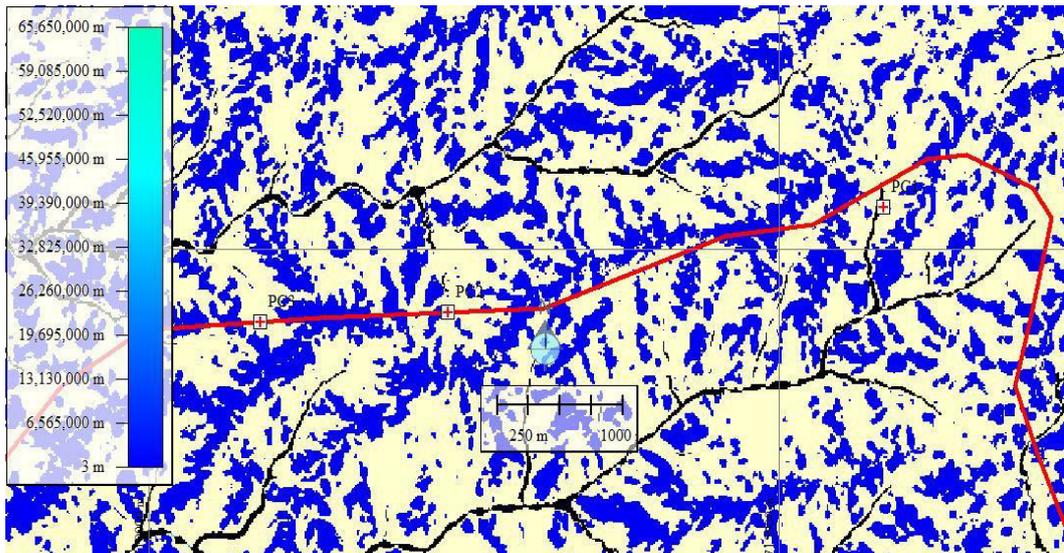




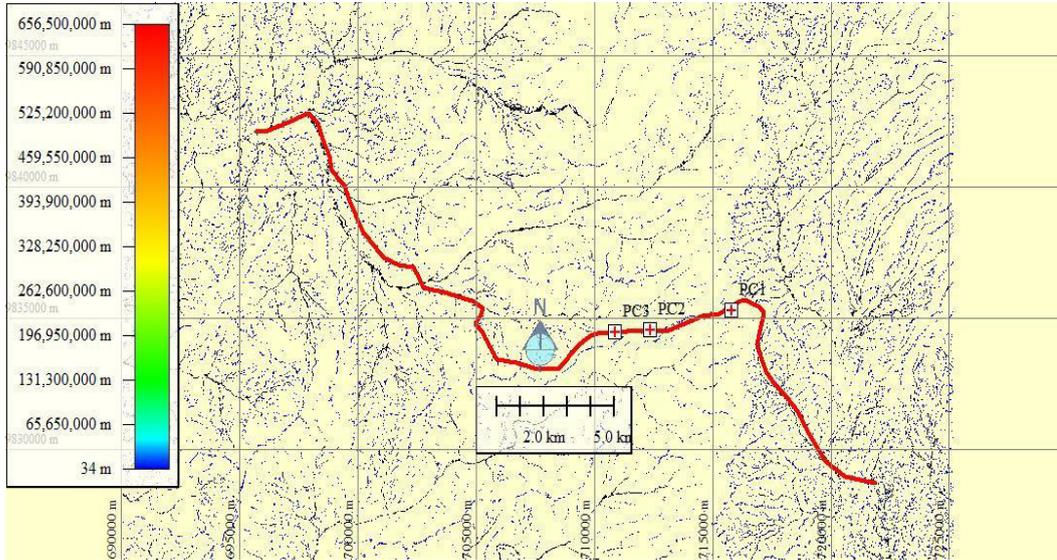
**Figura 26 :** *Mapa de máxima acumulación – sumatoria.*



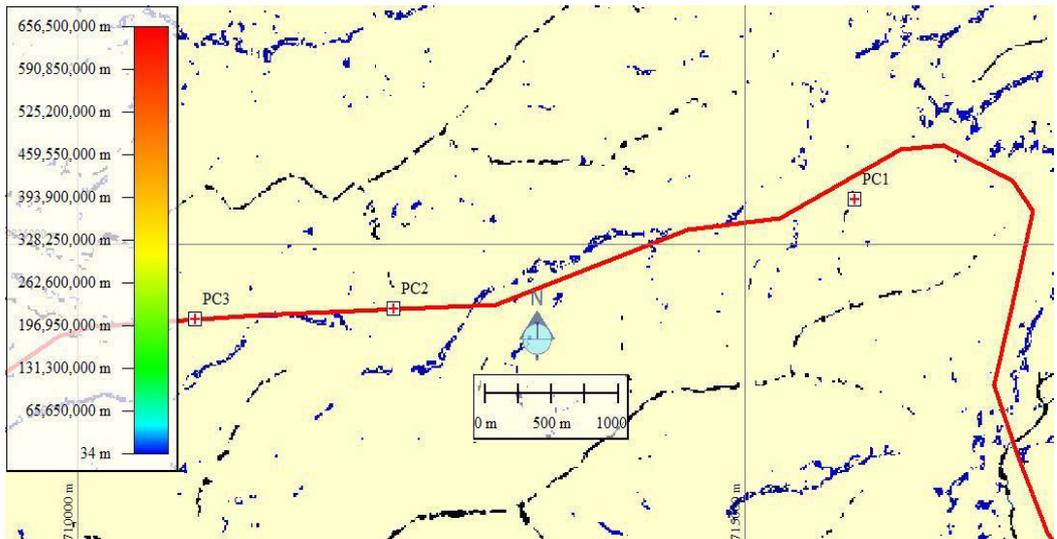
**Figura 27:** *Puntos críticos – sumatoria.*



**Figura 28:** Mapa final – multiplicación.



**Figura 29:** Mapa final – detalle total de la zona de estudio.



#### **4.2. Comprobación de hipótesis o ideas a defender**

Como se pudo evidenciar mediante la implementación de los tres objetivos, la vía Guanaju – Echeandía presenta casi en su totalidad áreas inestables, así como alta densidad de zonas de acumulación máxima que llegan a la vía en forma perpendicular, lo que explica la alta frecuencia de deslizamientos en la zona, principalmente en la época de lluvias.G

## CONCLUSIONES

- Luego de analizar los resultados de varios estudios realizados en la zona, indican que este tramo de vía es muy susceptible a movimientos de masa. El presente estudio ha ratificado esta condición de inestabilidad en periodos de intensa lluvia.
- La combinación de los procedimientos de geomática aplicada basados en criterio de mohr - coulomb y el método morfométrico, determinaron cerca de 46 zonas de la inestabilidad en el sector, principalmente en el tramo comprendido entre los kilómetros 12 al 19. Esto se origina por diferentes parámetros como el tipo de suelo, su alto relieve e intensas precipitaciones.
- Con base a los resultados obtenidos de las aplicaciones de las metodologías combinadas pueden existir dos escenarios: el primer escenario que presenta paisajes en suelos laterales y suelos meteorizados en suelos completamente inestables con índices morfométricos con valores altos (generación de embalses por flujo y zonas de alta erosión) más áreas en donde el índice de estabilidad es negativo, lo que indica que son terrenos inestables (criterio de mohr - coulomb). El segundo escenario corresponde a terrenos en taludes que no concentran flujos hídricos ni generan embalses con procesos de erosión baja los que se consideran taludes estables ya que el índice de estabilidad por mohr – coulomb es positivo. Dentro de estos dos escenarios puede ocurrir un escenario intermedio o cuasi estable escenario en el que las condiciones de control de flujo y de inestabilidad de terrenos pueden convertirse en zonas de concentración de flujo mayor si es que no se protegen los taludes.

## RECOMENDACIONES

- Actualizar periódicamente el histórico obtenido, de los últimos años en cuanto a la inestabilidad existente en el área, para así tener información relevante en cuanto a los procesos que pueden ser cambiantes, en relación a las precipitaciones que se den cada año. Estos datos nos permitirán una correcta toma de decisiones.
- La combinación de las dos metodologías se puede utilizar para medir la susceptibilidad ante movimientos en masa, utilizando índices medibles en el campo como son: la concentración de flujo capaces de producir embalses y por consiguiente aluviones, utilizando el TWI (Índice topográfico de humedad) más el índice de estabilidad por morh – coulomb los que determinó alrededor de 46 zonas inestables dentro de la vía.
- En función de la recomendación anterior esta metodología permite la ubicación espacial de obras de control de taludes en zonas afectadas por flujos de una, dos y tres trayectorias en las que para reducir su capacidad erosiva y de movimiento de masa se pueden construir coronas con disipadores abiertos y reductores de energía tipo grada con taludes de seguridad 2:1, bermas de reducción de energía con desarenadores de fondo, espinas de pescado con conexión central y disipadores abiertos y finalmente, en caso de encontrarse en suelos arcillosos programar un estacado o “trinchos” de caña guadua estructural; estas obras deben realizar la entidad seccional correspondiente que es el ministerio de transporte y obras; conociéndola como tal, como una vía Estatal.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias Torres, B. (Diciembre de 2012). *Deslizamientos en taludes inducidos por altas precipitaciones en vía intermunicipales*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenjamin2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Biología & Geología. (2014). *Discontinuidades sísmicas*. Obtenido de [https://biologia-geologia.com/BG4/611\\_discontinuidades\\_sismicas.html](https://biologia-geologia.com/BG4/611_discontinuidades_sismicas.html)
- Cando Jacome, M. (2019). El Modelo Morfométrico y el criterio de Mhor-Coulomb.
- CIEFAP. (2020). *Geomática - Importancia y aplicaciones*. Obtenido de <https://www.ciefap.org.ar/index.php/geomatica-importancia-y-aplicaciones#:~:text=La%20geom%C3%A1tica%20tiene%20gran%20aplicaci%C3%B3n, encontrar%20una%20soluci%C3%B3n%2C%20usamos%20geom%C3%A1tica.>
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008. (s.f.). *CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- COOTAD. (2010). *CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, AUTONOMIA Y DESCENTRALIZACION*. Obtenido de <https://www.cpcs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>
- Desmet, P., & Govers, G. (Septiembre de 1996). Un procedimiento GIS para calcular automáticamente el factor USLE LS en unidades de paisaje topográficamente complejas. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/233425999\\_A\\_GIS\\_procedure\\_f](https://www.researchgate.net/publication/233425999_A_GIS_procedure_f)

or\_automatically\_calculating\_the\_USLE\_LS\_factor\_on\_topographically\_  
complex\_landscape\_units

Español Mariño, A. R. (2017). Estudio de susceptibilidad por movimientos en masa en la subcuenca del arroyo Quijorna mediante evaluación multicriterio. *Repositorio Documental Gredos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10366/133343>

FONACIT. (2014). *Manual de capacitación básica en Geomática para las comunidades organizadas*. Caracas. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/280091168\\_Manual\\_de\\_Geomat\\_ica](https://www.researchgate.net/publication/280091168_Manual_de_Geomat_ica)

Geocuantics. (21 de Octubre de 2019). *Factores que influyen en la estabilidad de taludes y laderas en suelo*. Obtenido de <https://geoquantics.com/2019/10/21/factores-influyen-la-estabilidad-taludes-laderas-suelo/#:~:text=Con%20respecto%20a%20los%20factores,la%20erosi%C3%B3n%20y%20los%20terremotos>.

Gobierno Vasco. (2016). *¿Qué es la Geomorfología?* Obtenido de <https://www.hiru.eus/es/geologia/que-es-la-geomorfologia>

Highland, L., & Bobrowski, P. (2008). *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Obtenido de <http://bvpad.indec.gov.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>

Highland, L., & Bobrowski, P. (2008). *Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes*. Obtenido de <http://bvpad.indec.gov.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>

- Infogeología. (19 de Marzo de 2018). *Meteorización*. Obtenido de <https://infogeologia.wordpress.com/2018/03/19/meteorizacion/>
- Ley de Seguridad Pública y del Estado. (2014). *LEY DE SEGURIDAD PUBLICA Y DEL ESTADO*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic5\\_ecu\\_panel5\\_sercopeco\\_1.3.\\_ley\\_seg\\_p%20publica.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic5_ecu_panel5_sercopeco_1.3._ley_seg_p%20publica.pdf)
- Maldonado, Y. (Diciembre de 2016). *GEOLOGÍA WEB: Geología, ramas y aplicaciones*. Obtenido de <https://geologiaweb.com>
- Martinez Arroyo, A. (2013). *Cambio climático*. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima>
- Ministerio de Transportes y Obras Públicas, G. (s.f.). *Avanza intervención del MTOP en la vía Guanujo – Echeandía*. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/avanza-intervencion-del-mtop-en-la-via-guanujo-echeandia/>
- Moreno, R. (2010). *La pendiente de terreno*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/8005?tl=a>
- Navarro Vidal, J. (2012). *Susceptibilidad y Amenaza de Movimientos de Ladera Mediante SIG en el municipio de Berlin, El Salvador*. Obtenido de [https://eprints.ucm.es/id/eprint/19876/1/TFM\\_JNV\\_FINALCUT.pdf](https://eprints.ucm.es/id/eprint/19876/1/TFM_JNV_FINALCUT.pdf)
- Osorio Marin, L. (2019). *Zonificación de la Susceptibilidad del Terreno a los Deslizamientos*. Bogota. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69829/1030564924.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Perez. (2008). *Licuefacción*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/licuefaccion>
- Perez, j. (21 de Octubre de 2019). *GEOQuantics*. Obtenido de <https://geoquantics.com>
- Pérez, M. (7 de abril de 2017). *lifeder.com*. Obtenido de ¿Qué son los movimientos epirogénicos?: <https://www.lifeder.com/movimientos-epirogenicos/>
- Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. (s.f.). *Plan de Creación de Oportunidades2021-2025*. Obtenido de [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)
- Quezada Roman, A. (2018). Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método Morfométrico para Determinar Áreas Susceptibles a Deslizamientos en la Microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4517/451755941001/html/>
- Quezada Roman, A., & Barrantes Castillo, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Scielo*. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112017000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112017000300004)
- Ramis, C., Homar, V., & Romero, R. (2008). *SOBRE LAS ANOMALIAS DE PRECIPITACION EN LAS ISLAS BALEARES DURANTE 2008*. Obtenido de

[http://meteorologia.uib.eu/ROMU/formal/anomalias\\_2008/anomalias\\_2008.pdf](http://meteorologia.uib.eu/ROMU/formal/anomalias_2008/anomalias_2008.pdf)

Red Sismológica Nacional. (11 de Agosto de 2014). *¿Qué es una Falla Geológica?*

Obtenido de <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/geologia/244-que-es-una-falla>

Rodríguez, R. (09 de Junio de 2011). *Estructuras Geológicas*. Obtenido de

<https://geologiavenezolana.blogspot.com/2011/06/estructuras-geologicas.html>

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Estratigrafía*. Obtenido de

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Estratigrafia/Introduccion-estratigrafia.html>

Servicio Geológico Militar. (s.f.). *Deslizamientos de Tierra*. Obtenido de

<https://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Info-basica/3-generalidades.htm>

Universidad del País Vasco. (2014). *¿Qué es la Geología?* Obtenido de

<https://www.ehu.es/es/web/geologia/zer-da-geologia>

Velázquez, A. (2014). *Cambio de uso del suelo*. Obtenido de

<https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Velazquez-9>

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicción de pérdidas por erosión pluvial:*

*una guía para la planificación de la conservación*. Obtenido de

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=rRAUAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Wischmeier+y+Smith+\(1978\)&ots=cvronNpsSW&sig=ooTiGfbCDCDVLnjeZPOVRgAWJY8#v=onepage&q=Wischmeier%20y%20Smith%20\(1978\)&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=rRAUAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Wischmeier+y+Smith+(1978)&ots=cvronNpsSW&sig=ooTiGfbCDCDVLnjeZPOVRgAWJY8#v=onepage&q=Wischmeier%20y%20Smith%20(1978)&f=false)

## ANEXOS

### FOTOGRAFÍA # 1

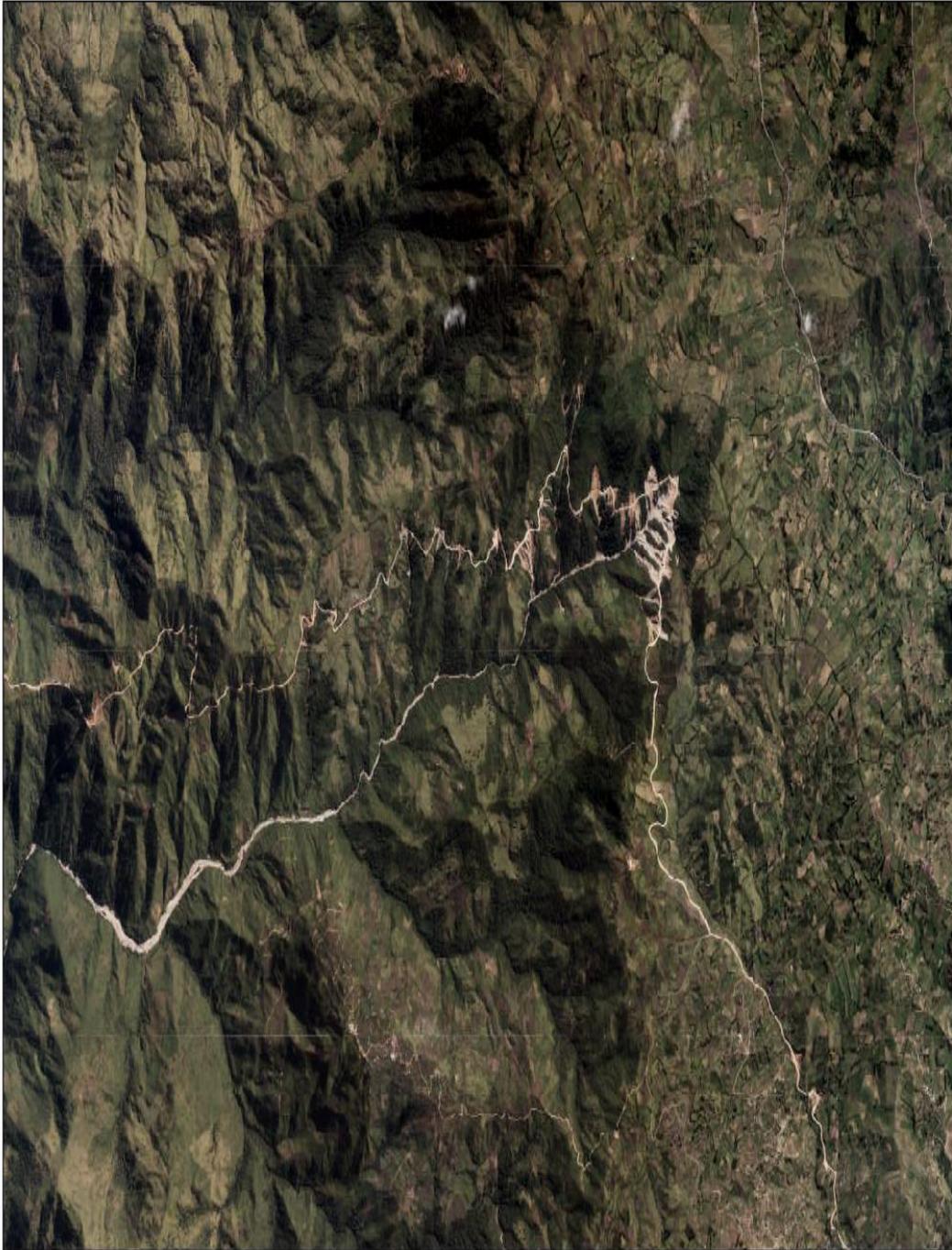


Imagen satelital del sector de estudio, caso “Las Peñas”

(Jibaja, A. 2022)

FOTOGRAFÍA # 2 - 3 - 4 - 5





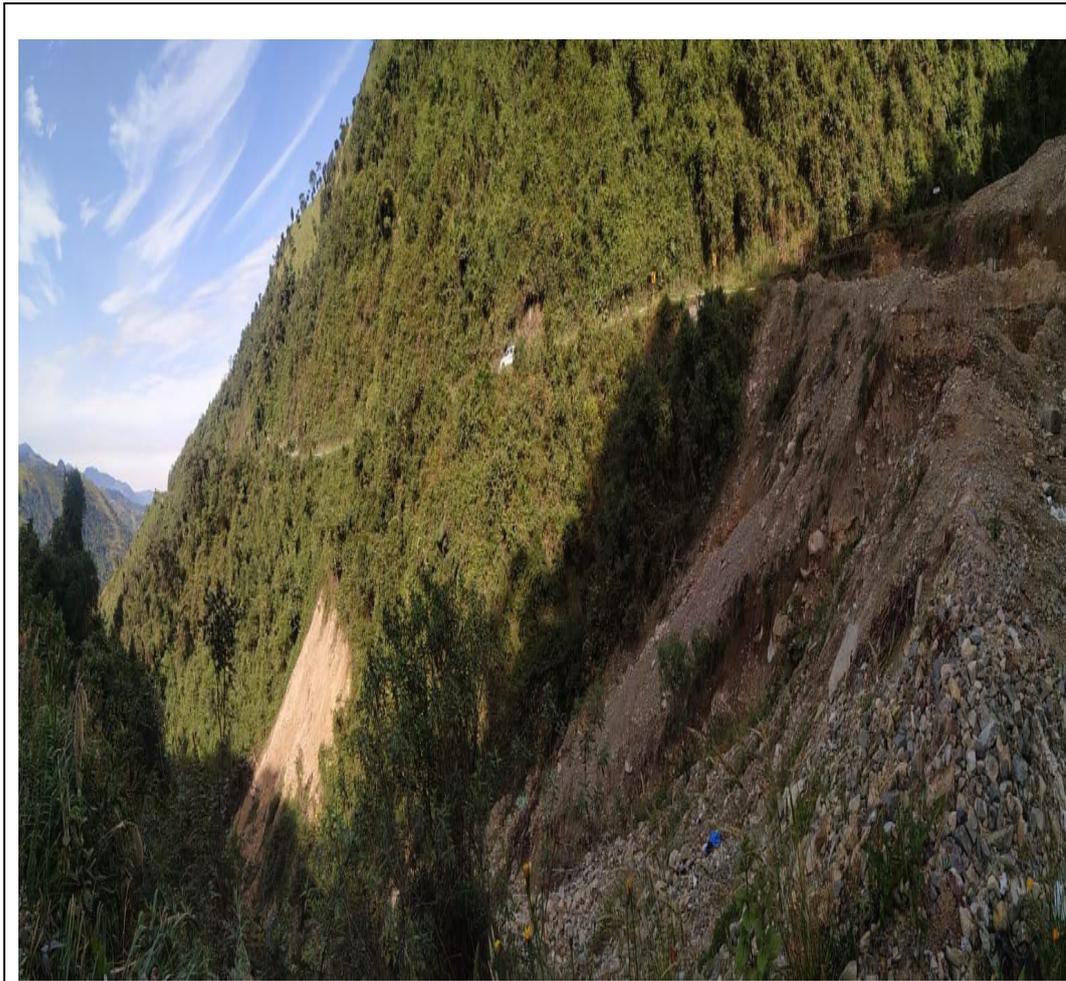
Identificación de zonas inestables, puntos críticos, kilómetro 19.

(Jibaja, A. 2022)

FOTOGRAFÍA # 6 - 7 - 8 - 9 - 10



REDMI NOTE 6 PRO  
MI DUAL CAMERA





Identificación de zonas inestables, puntos críticos, ruptura de la plataforma vial,  
kilometro 14.

(Jibaja, A. 2022)

## Document Information

---

Analyzed document	TESIS TITULACION- JIBAJA ANGEL- MAESTRIA GR.pdf (D156062106)
Submitted	2023-01-16 18:24:00
Submitted by	
Submitter email	angeljibaja109@gmail.com
Similarity	9%
Analysis address	apaucar.ueb@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

---

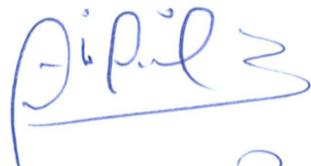
## Entire Document

---

## Hit and source - focused comparison, Side by Side

---

Submitted text	As student entered the text in the submitted document.
Matching text	As the text appears in the source.

  
Dr. Abelardo Pavez  
Coordinador Maestría  
Previsión y Gestión de Riesgos  
16-enero-2023