



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana,  
Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Geología Ambiental y Ordenamiento  
Territorial.

**AUTOR:**

Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo

**DIRECTOR:**

Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg Sc

Loja – Ecuador

2022



## Certificación

Ingeniero.

Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000**, de la autoría de la estudiante, **Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo** con **cédula de identidad Nro.0750449357**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Loja, 09 de septiembre de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**FERMIN ALEXANDER  
GONZALEZ SISALIMA**

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**



## Autoría

Yo, **Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:  
**RICARDO FABRICIO  
CAJAMARCA  
JARAMILLO**

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 0750449357

**Fecha:** Loja, 5 de diciembre 2022

**Correo electrónico:** ricardo.cajamarca@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0989611870



**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000**, como requisito para optar al título de: **Ingeniero en geología ambiental y ordenamiento territorial**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para la constancia de esta autorización, a los cinco días del mes de diciembre del dos mil veinte y dos.



Firmado electrónicamente por:  
**RICARDO FABRICIO  
CAJAMARCA  
JARAMILLO**

**Firma:**

**Autor:** Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo

**Cédula:** 0750449357

**Dirección:** Balsas, Calles 23 de febrero y 10 de agosto

**Correo electrónico:** ricardo.cajamarca@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0989611870

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Fermín González. Mg. Sc.



## **Dedicatoria**

Dedicado profundamente a mis padres, Ángel y Carlota quienes me formaron a lo largo de mi vida para ser una persona de bien. Así mismo a mi hermano Juan Carlos y su esposa Dayri, quienes estuvieron prestos para apoyarme ante cualquier circunstancia que pasaba en mi etapa Universitaria, a mis Sobrinos Juan Andrés, Brianna, Carlitos, que son la alegría de la casa.

Generalmente a todos mis compañeros, amigos, docentes, que han compartido momentos y consejos en mi trayectoria Universitaria.

***Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo***



## **Agradecimientos**

**A:**

A Dios, el ser superior que me ha iluminado durante mi vida, guiándome por el buen camino, me ha dado la oportunidad de ver concretar mis metas y objetivos que me he propuesto.

A mi prestigiosa Universidad Nacional de Loja quien me recibió desde el primer día, dándome las herramientas necesarias para formarme profesionalmente, bajo su precioso templo del saber.

A mis compañeros y amigos con quienes compartí diversos momentos en esta etapa de mi vida, gracias, Pamela P, Stalin G, Karen M, Erica V, Nadia R, Daniela L, Cecilia R, Nathaly P, Luis O, Fausto T, James Z, Juan A, Kevin C, Deyvi C, y a quienes no estén aquí, pero fueron parte de esta misma etapa, mis mejores vibras para ustedes.

A mi director del Trabajo de Titulación Ing. Alexander González Mg Sc, quien estuvo presto para cualquier observación, corrección y explicación durante el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A los Ings, Karem R, Bryan M, Telmo E, quienes han aportado de distintos ámbitos apoyo a mi trabajo de investigación, tanto personal como académico.

A los Ingenieros de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, que siempre dieron lo mejor, para transmitir el conocimiento, en el marco del respeto y solidaridad, mostrando su calidez humana, aportando con la mejor herramienta que me puedo llevar siempre donde vaya, el conocimiento.

***Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo***



## Índice de Contenido

<b>Portada.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría .....</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de Contenido .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas: .....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras:.....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Anexos: .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
2.1. Abstract.....	4
<b>3. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Marco teórico .....</b>	<b>8</b>
4.1. Geología .....	8
4.1.1 Macizo Rocoso .....	8
4.1.2 Petrografía .....	9
4.1.3 Mineralogía .....	10
4.1.4 Roca.....	15
4.1.5 Geología estructural.....	19
4.2. Mapeo geológico.....	24
4.2.1 Unidades de mapeo. ....	24
4.2.2 Métodos de mapeo.....	25
4.2.3 Mapeo Estructural .....	26
4.3. Movimientos en masa.....	26
4.3.1 Clasificación de los movimientos en masa.....	27
4.4. Inventarios de movimientos en masa.....	34
4.4.1 Mapa de inventario de movimientos en masa. ....	34
4.4.2 Metodologías empleadas para un inventario de movimientos en masa .....	35



4.4.3	Tipos de inventarios de movimientos en masa .....	35
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>37</b>
5.1.	Área de estudio .....	37
5.1.1	Ubicación.....	37
5.1.2	Acceso .....	38
5.1.3	Clima .....	39
5.1.4	Red Hidrográfica .....	43
5.1.5	Sísmica.....	45
5.1.6	Geomorfología .....	46
5.1.7	Geología Regional .....	47
5.2.	Métodos.....	49
5.3.	Procedimiento.....	49
5.3.1	Metodología para el primer objetivo.....	50
5.3.2	Metodología para el segundo Objetivo. ....	52
5.3.3	Metodología para el tercer Objetivo. ....	55
5.3.4	Metodología para el cuarto Objetivo.....	55
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>58</b>
6.1.	Topografía .....	58
6.2.	Clima .....	59
6.3.	Red Hidrográfica .....	61
6.4.	Sísmica .....	62
6.5.	Geomorfología .....	64
6.6.	Pendientes .....	66
6.7.	Fotointerpretación.....	67
6.7.1	Análisis de Vegetación .....	67
6.7.2	Análisis del drenaje .....	69
6.8.	Geología Local.....	70
6.8.1	Corte Geológico .....	82
6.8.2	Columnas Estratigráficas.....	83
6.9.	Geología Estructural.....	84
6.10.	Inventario de movimientos en masa .....	87
<b>7.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>93</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>95</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>97</b>



<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>98</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>101</b>

### Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Composición química de la corteza terrestre .....	10
<b>Tabla 2.</b> Tipos de Planos .....	19
<b>Tabla 3.</b> Diferentes maneras de notación para indicar la posición de un plano.....	26
<b>Tabla 4.</b> Clasificación de los movimientos en masa .....	27
<b>Tabla 5.</b> Factores Considerados en un Mapa de Inventario de movimientos en masa .....	36
<b>Tabla 6.</b> Ubicación de estaciones meteorológicas .....	39
<b>Tabla 7.</b> Límites de temperatura expuestos por Caldas .....	40
<b>Tabla 8.</b> Clases de clima según Lang.....	41
<b>Tabla 9.</b> Tipos Climáticos Caldas - Lang.....	41
<b>Tabla 10.</b> Zonas de peligro sísmico .....	46
<b>Tabla 11.</b> Clasificación Demek 1972.....	52
<b>Tabla 12.</b> Unidades Geomorfológicas del área de estudio.....	64



<b>Tabla 13.</b> Afloramientos levantados en el área de estudio.....	70
<b>Tabla 14.</b> Inventario de MRM.....	87

### Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Macizo Rocoso .....	8
<b>Figura 2.</b> Proceso de formación de las rocas .....	16
<b>Figura 3.</b> Clasificación en base del contenido de sílice (SiO <sub>2</sub> ) .....	17
<b>Figura 4.</b> Clasificación modal (diagrama Streckeisen).....	17
<b>Figura 5.</b> Diferenciación entre falla normal e inversa .....	20
<b>Figura 6.</b> Fallas de rumbo .....	21
<b>Figura 7.</b> Partes de un pliegue.....	21
<b>Figura 8.</b> Tipos de pliegue .....	22
<b>Figura 9.</b> Grietas abiertas, diques clásticos y diques neptunianos .....	23
<b>Figura 10.</b> Diferenciación entre rumbo, manteo y dirección .....	24
<b>Figura 11.</b> Vuelco de Roca – Suelo .....	28
<b>Figura 12.</b> Caída primaria y secundaria.....	28
<b>Figura 13.</b> Desprendimiento tipo caída.....	29
<b>Figura 14.</b> Deslizamiento rotacional individual.....	30
<b>Figura 15.</b> Deslizamiento rotacional sucesivo .....	30
<b>Figura 16.</b> Deslizamiento rotacional múltiple.....	31
<b>Figura 17.</b> Deslizamiento traslacional de láminas.....	31
<b>Figura 18.</b> Deslizamiento traslacional de losas o escamas .....	32
<b>Figura 19.</b> Deslizamiento traslacional de detritos.....	32
<b>Figura 20.</b> Avalanchas de detritos - Estado Vargas, Venezuela, 1999 .....	33
<b>Figura 21.</b> Esquema de flujos canalizados y no canalizados .....	34
<b>Figura 22.</b> Esquema de expansiones laterales.....	34
<b>Figura 23.</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	37
<b>Figura 24.</b> Acceso por vía aérea desde la ciudad de Quito a la ciudad de Santa Rosa.....	38
<b>Figura 25.</b> Acceso por vía terrestre desde la ciudad de Santa Rosa hasta el cantón Balsas ...	38
<b>Figura 26.</b> Acceso a la ciudad de Balsas por vía terrestre desde la ciudad de Quito.....	39
<b>Figura 27.</b> Estaciones meteorológicas.....	39
<b>Figura 28.</b> Model Builder – Red Hidrográfica de la zona de estudio .....	45



<b>Figura 29.</b> Mapa de Geología Regional .....	49
<b>Figura 30.</b> Diagrama de elaboración del Mapa Topográfico .....	50
<b>Figura 31.</b> Diagrama de elaboración para Mapa de Pendientes.....	53
<b>Figura 32.</b> Topografía del área de estudio .....	59
<b>Figura 33.</b> Isotermas del área de estudio.....	59
<b>Figura 34.</b> Isoyetas del área de estudio .....	60
<b>Figura 35.</b> Red Hídrica de la zona de estudio .....	62
<b>Figura 36.</b> Mapa de nivel de amenaza sísmica por cantón. ....	63
<b>Figura 37.</b> Terremotos con intensidades superiores a VIII en el Ecuador .....	63
<b>Figura 38.</b> Geomorfología de la zona de Estudio .....	64
<b>Figura 39.</b> Relieve montañoso, zona de estudio .....	65
<b>Figura 40.</b> Relieve colinado muy alto, zona de estudio .....	65
<b>Figura 41.</b> Relieve colinado alto, zona de estudio .....	66
<b>Figura 42.</b> Pendientes del área de estudio.....	67
<b>Figura 43.</b> Tipos de vegetación.....	68
<b>Figura 44.</b> Ortofoto Vegetación Intervenido – Arborea .....	68
<b>Figura 45.</b> Drenaje de la zona de estudio Angular.....	69
<b>Figura 46.</b> Características de la red de drenaje de la zona de estudio.....	70
<b>Figura 47.</b> Mapa de puntos levantados en el área de estudio.....	72
<b>Figura 48.</b> Afloramiento de Ortogneis.....	73
<b>Figura 49.</b> Afloramiento de Granodiorita meteorizada.....	74
<b>Figura 50.</b> Contacto U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre .....	75
<b>Figura 51</b> Vista panorámico; Contacto U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre.....	75
<b>Figura 52.</b> Contacto entre U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre .....	76
<b>Figura 53.</b> Afloramiento de grauvaca con lutita .....	76
<b>Figura 54.</b> Afloramiento de limo y lutitas.....	77
<b>Figura 55.</b> Afloramiento de grauvaca disgregada .....	78
<b>Figura 56.</b> Afloramiento de lutitas .....	78
<b>Figura 57.</b> Afloramiento de grauvaca con intercalaciones de lutitas .....	79
<b>Figura 58.</b> Afloramiento de bloques de cuarcita.....	80
<b>Figura 59.</b> Corte Geológico A – A` .....	82
<b>Figura 60.</b> Corte Geológico B-B` .....	82
<b>Figura 61.</b> Diaclasas en lutitas .....	84



<b>Figura 62.</b> Falla Geológica.....	85
<b>Figura 63.</b> Estructuras de falla .....	85
<b>Figura 64.</b> Falla Inversa .....	86
<b>Figura 65.</b> Pliegue anticlinal .....	87
<b>Figura 66.</b> Movimiento en masa COD: Des-02 .....	88
<b>Figura 67.</b> Movimiento en masa COD: Des-03 .....	89
<b>Figura 68.</b> Movimiento en masa COD: Des-04 .....	90
<b>Figura 69.</b> Movimiento en masa COD: Des-07 .....	91

### Índice de Anexos:

<b>Anexo 1.</b> Ficha de descripción de afloramientos.....	101
<b>Anexo 2.</b> Ficha de descripción de afloramientos.....	102
<b>Anexo 3.</b> Ficha de Inventario de movimientos en masa.....	103
<b>Anexo 4.</b> Fotointerpretación de Movimientos en Masa.....	104
<b>Anexo 5.</b> Ficha de descripción macroscópica.....	105
<b>Anexo 6.</b> Mapa Topográfico.....	106
<b>Anexo 7.</b> Mapa de Pendientes .....	106
<b>Anexo 8.</b> Mapa de Isotermas .....	106
<b>Anexo 9.</b> Mapa de Isoyetas.....	106
<b>Anexo 10.</b> Fotointerpretación de la geología estructural.....	106
<b>Anexo 11.</b> Columnas Estratigráficas de la zona de estudio.....	106
<b>Anexo 12.</b> Mapa de geología Local .....	106
<b>Anexo 13.</b> Mapa de Inventario de movimientos en masa.....	106
<b>Anexo 14.</b> Certificación de traducción del resumen.....	107



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES  
CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL





## **1. Título**

**Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana,  
Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000.**



## 2. Resumen

El presente trabajo de investigación “Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000” cuenta con una extensión vial de 9 km, realizando el polígono de estudio abarca una extensión de 488 ha.

El levantamiento de información empezó en gabinete con trabajos de fotointerpretación, generación de topografía, de pendientes, red hídrica, de la zona de estudio, siendo estos insumos básicos para poder realizar el desarrollo del levantamiento geológico estructural en la visita de campo.

La puesta en marcha de la investigación dio en evidencia la litología de la zona, en las que se pudo identificar dos unidades, las cuales corresponden a la Unidad Plutón de Marcabelí (TrMb) de una edad del Triásico, que en la campaña de campo se determinó dos tipos de rocas dentro de esta unidad, siendo rocas de granodiorita y ortogneis, que, debido a varios factores ambientales estas rocas presentan una alta meteorización. La Unidad El Tigre (PZTt) de una edad inicial Paleozoica, en la cual en el área de estudio predominan las rocas sedimentarias y de acuerdo a la investigación de Pilatasig, Gordon, Palacios & Sánchez en el proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas Ecuador-Perú-Canadá, manifiesta que el tipo de materiales sedimentarios presentes en la Unidad El Tigre, como lo son, limolitas, lutitas, grauvacas, areniscas, observadas a lo largo del área de estudio, se les concede una edad Cretácico Superior, la cual establece que estaría relacionada probablemente a la erosión de bloques continentales correspondientes a las rocas del cratón Sudamericano.

En campo en la parte estructural se encontró una diversidad de estructuras, dadas principalmente por la actividad plutónica que se dio en su momento, dejando evidencias en los fuertes buzamientos de las lutitas, y encontrando plegamientos, así mismo se evidencio familia de diaclasas tipo ortogonales y paralelas en las lutitas y granodiorita. Se observó una falla de tipo dextral, además de tres fallas inferidas y una falla inversa.

Para el desarrollo del inventario de movimientos en masa, se empezó por la fotointerpretación, identificando sobre las ortofotos (2010) otorgadas por el SigTierras, los posibles movimientos en masa para posterior identificar y corroborar en la campaña de campo, detallando su información en la ficha realizada para inventariar estos eventos.

Posteriormente realizada la campaña de campo se culminó definiendo un mapa geológico estructural del área de estudio, que comprende una síntesis de los aspectos anteriormente observados en campo y analizados, con la finalidad de obtener la información



completa referente a la topografía, litología, estructuras, geología, de la realidad que presenta el tramo vial Balsas – Tinajas.

Finalmente, sobre la base ya establecida del mapa geológico local, se ha dispuesto en el mismo, la realización del mapa de inventario de movimientos en masa, el cual contempla los datos más relevantes de la característica tipológica de cómo se desarrolló el movimiento y el área de afectación en m<sup>2</sup>, desarrollado bajo el Datum WGS 84.

**Palabras Claves:** Litología, Geología Estructural, Movimientos en Masa, Balsas, Vialidad.



## 2.1. Abstract

This research job "Structural geological survey of the section of the Panamericana highway, Balsas - Tinajas, canton Balsas, El Oro Province, scale 1:10 000", It has a road extension of 9 km, making the study polygon covers an extension of 488 ha.

The information survey began in the office with photo-interpretation work, generation of topography of slopes, water network of the study area, these basic inputs give me the opportunity to be able to do the development of the structural geological survey in the field visit.

The start-up of this investigation gave the lithology of the area in which I can identified two units, which ones correspond to the Plutón de Marcabellí (TrMb) of a Triassic age, that in the field campaign were determined two types of rocks inside this unit like granodiorite rocks and orthogneiss. These rocks dues to various environmental factors, they show high weathering.

The unit El Tigre (PZTt) of an initial Paleozoic age, in which sedimentary rocks predominate in the study area and according to the research of Pilatasig, Gordon, Palacios & Sánchez in the Andean multinational project: geosciences for Andean communities Ecuador-Peru-Canada, said that this type of sedimentary materials found in the unit El Tigre, such as siltstones, shales, greywackes, sandstones, observed throughout the study area, they are assigned an Upper Cretaceous age, the which establishes that it would be probably be related to the erosion of continental blocks corresponding to the rocks of the South American craton.

In the structural part of the field, I have found a diversity of structures, given mainly due to the plutonic activity that occurred at the time, it has leaved evidence in the strong dips of the shale, and finding folds in that evidenced a family of orthogonal type diaclasses and parallel in the shales and granodiorite. I have observed a dextral type fault, also, three inferred faults and a reverse fault.

For the development of the inventory in mass, I began for the photo interpretation, identifying on orthophotos (2010) provided by SigTierras the possible mass movements for later identify and corroborate in the field campaign, detailing their information in the file, made to inventory these events.

After that, I made the field campaign by defining a structural geological map of area's study, which includes a synthesis of the aspects previously observed in the field and analyzed in order to obtain complete information regarding the topography, lithology, structures, geology, of the reality presented the road from Balsas to Tinajas.



Finally, on the established basis of the local geological map, I have provided the realization of the inventory map of mass movements, it contemplates the most relevant data of the typological characteristic of how the movement developed and the area of affectation in m<sup>2</sup>, developed under the Datum WGS 84.

**Keywords:** Lithology, Structural Geology, Mass Movements, Balsas, Roads.



### 3. Introducción

El conocimiento de la parte geológica de cualquier trabajo ingenieril, es el primer paso a desarrollar en diversos tipos de obras de carácter civil, minera, geotécnico, ambiental, hidráulica, entre otras. En consideración de la escasa información de levantamientos geológico estructurales en la vía Panamericana Transversal Sur (E50), y teniendo en cuenta la dinámica de nuestro territorio debido a sus características geológica, geográfica y climática relacionadas con la topografía, el tipo de material, la sismicidad, la presencia del Fenómeno de El Niño y la ocupación de zonas montañosas, han aportado a que los materiales se comporten de distintas formas. Razón por la cual se ha considerado realizar el presente levantamiento geológico, el cual contempla una longitud de 9 km desde el cantón Balsas hasta la entrada al sitio Tinajas, considerando que ha sido una zona dinámica con respecto a movimientos en masa, que han afectado directamente a la vía, de la misma forma a la producción local y al transporte interprovincial.

En Balsas específicamente al sector productivo ha afectado, pues más de 300 personas de la localidad transitan constantemente por este sector, se han visto perjudicadas en algún momento, por la dinámica geológica en este caso la presencia de movimientos en masa.

Para la realización del presente trabajo de investigación se necesitó del aporte de información de entidades públicas, con el fin de desplegar una investigación completa sobre el levantamiento geológico en el sector, es así que se hizo uso de ortofotos, MDT, hojas geológicas, formato para inventario de movimientos en masa, entre otros, elementos que dan realce y validez a la investigación realizada.

El desarrollo del proyecto principia aplicando un análisis de interpretación mediante las ortofotos (2010) y MDT del área de estudio, para determinar aspectos litológicos como estructurales, una vez obtenida esta información preliminar, seguido se realizó la campaña de campo, para lo cual se ha empleado los métodos de mapeo geológicos que se ajustan al presente levantamiento como lo son, el mapeo de contactos y mapeo de afloramientos.

Finalmente el “Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000” priorizó el levantamiento de información referente a la litología, estructuras geológicas, e inventariar los movimientos en masa, presentes en la zona, con el fin de llegar a una síntesis de información enmarcándola en mapas, los cuales concluyen con la investigación, siendo estos, el mapa geológico estructural de la geología local de la zona de estudio, y el mapa de inventario de movimientos en masa de la zona de estudio.



## Objetivos:

### **Objetivo General.**

- Realizar el levantamiento geológico estructural del tramo de la vía Panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, Provincia de El Oro, escala 1:10000.

### **Objetivos Específicos.**

- Determinar y caracterizar las unidades litológicas y estructuras geológicas a detalle del área de estudio.
- Elaborar un inventario de movimientos en masa, que se encuentren en la vía Panamericana, tramo Balsas – Tinajas.
- Realizar el mapa geológico-estructural de la vía Panamericana, tramo Balsas – Tinajas escala 1:10 000.
- Realizar el mapa de inventario de fenómenos de remoción en masa que se encuentren afectando al sector de estudio escala 1:10 000.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Geología

Según (Navarrete, 2005) la “Geología es la ciencia que concierne a la Tierra y los materiales de los que está constituida, los procesos que los formaron durante el tiempo geológico y el modelado de su superficie en el pasado y en el presente” (p. 04)

A su vez existen diversos autores que unen la historia y la evolución, en términos de geología es ahí, donde Escobar (2020) afirma que:

La Geología es la ciencia que estudia el planeta Tierra en su conjunto, describe los materiales que la forman para averiguar su historia y su evolución e intenta comprender la causa de los fenómenos endógenos y exógenos. La unidad de tiempo en geología es el millón de años. (Duque Escobar, 2020, p. 09)

#### 4.1.1 Macizo Rcoso

Se definirá netamente al ligado entre matriz rocosa y discontinuidades sin importar diversos tipos, este conjunto dará un carácter heterogéneo y un comportamiento discontinuo, condicionado por las propiedades mecánicas de los planos de discontinuidad, condicionando su comportamiento hidráulico y geo-mecánico (Ferrer M, González de Vallejo L, 1999, p. 36).



**Figura 1.** Macizo Rcoso

**Nota:** Maior,2019

##### 4.1.1.1. Parámetros que caracterizan un macizo rocoso.

La mayoría de los macizos rocosos presentan un comportamiento complejo debido, en primer lugar, a su carácter discontinuo y, en segundo lugar, a la gran cantidad de parámetros que influyen en sus propiedades. Cada sistema de clasificación utiliza diferentes parámetros, refiriéndose la mayoría de ellos a:

- a) Discontinuidades



- b) Tamaño y forma de bloque
- c) Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa
- d) Otros parámetros

#### **4.1.2 Petrografía**

La Petrografía, viene siendo una parte de la Petrología ya que se complementan en su estudio, y se encuentra definida como una sub rama de la Geología, que se dedica al estudio integral de las rocas, previa división en clases, subclases, tipos.

Para la comprensión de una roca se tiene que ahondar de forma obligada a aspectos relacionados a la Petrología, ya que es la ciencia que estudia los materiales de la corteza terrestre en sus diferentes aspectos como son: la génesis, la composición mineralógica, la textura y la estructura, las ubicaciones, las alteraciones (diagénesis, metamorfismo), yacimientos rocosos, relaciones entre los diferentes tipos de rocas, los usos o aplicaciones. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021, p. 03)

##### **4.1.2.1. Genesis.**

La Genesis de una roca viene dada con su definición, al ser su origen y procesos de formación que ha tomado, de acuerdo a su ambiente en que se ha visto emplazada y se ha dado su desarrolló mineralógico.

##### **4.1.2.2. Composición mineralógica.**

Para, Pozo, González y Giner (s.f), la composición mineralogía de una roca ígnea puede estimarse de forma aproximada como un índice de color (IC). El índice de color (es el porcentaje en volumen de cristales de minerales oscuros (máficos) en la roca. Tanto el índice de color como la identificación de los minerales y su abundancia permiten clasificar e interpretar genéticamente las rocas ígneas. (p. 50)

##### **4.1.2.3. Textura.**

La textura en una roca, se utiliza para describir el aspecto general de la roca en función del tamaño, forma y ordenamiento de sus cristales. La textura es una particularidad trascendental porque revela datos sobre el ambiente en el que se formó la roca. Esto permite a los geólogos hacer hipótesis sobre el origen de la roca. (Echevester, 2018, p. 228)

##### **4.1.2.4. Estructura.**

La organización de los elementos entre sus componentes cementantes y minerales se reconoce como estructura, su aspecto superficial así mismo como el conjunto de caracteres físicos superficiales y disposición de sus minerales, la cual puede variar de acuerdo al ambiente de formación, procesos y el tipo de roca en estudio.



### 4.1.3 Mineralogía

La mineralogía es considerada como la ciencia que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales, los cuales son los formadores de las rocas, en donde la composición mineralógica de estas, viene dada de acuerdo a la configuración de los elementos químicos de la Corteza Terrestres, siendo estos; O, Si, Al, Mg, Ca, Fe, K, N. La composición química de la Corteza Terrestre según Clarke Goldschmidt, alcanzaría los siguientes porcentajes principales:

**Tabla 1.** Composición química de la corteza terrestre

Compuesto químico	Porcentaje en peso (%)
SiO <sub>2</sub>	60,18 – 59,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,61 – 15,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14 – 6,99
FeO	3,88 – 6,99
MgO	3,56 – 3,30
CaO	5,17 – 3,07
Na <sub>2</sub> O	3,91 – 2,05

**Nota:** Huang (1991)

Si se combinan los compuestos químicos de la Corteza, forman de manera natural, principalmente los Silicatos. (Soto, 2005, p. 37)

#### 4.1.3.1. Silicatos.

Los silicatos comprenden el grupo químico magno entre los minerales, revelan una gran variedad en composición, la que comúnmente es de un carácter muy complejo. La unidad estructural de los silicatos es un tetraedro que contiene cuatro átomos de oxígeno en los vértices y un átomo de silicio en el centro. Los átomos de oxígeno tienen una carga negativa libre en cada extremo, ya que previamente han saturado las cargas positivas del silicio. Las cuatro cargas negativas pueden ser saturadas o equilibradas por cationes metálicos. (Huang, 1991, p. 37)

Además de otro contexto expresa, Vallejo J, (2014) que los silicatos se subdividen en ferromagnesianos y no ferromagnesianos; tratándose de la unión de un catión más el anión SiO<sub>4</sub>. (p. 24)

- **Los ferromagnesianos**

son silicatos de Fe y Mg oscuros y pesados; sobresalen la Biotita, una mica negra, hornblenda, de brillo vítreo, anfíbol verde oscuro y negro, la augita, tipo de Piroxeno con fractura concoidea, de iguales colores al anterior, pero mostrando clivaje en ángulos casi rectos; los olivinos, tetraedros simples de estructura granular, color verde olivo y con porcentajes variables de Fe y Mg. (Vallejo J, 2014, p. 24)

- **Los no ferromagnesianos**



Se denominan así por la ausencia o carencia de Fe y Mg, son de tonalidades claras y menos densos; entre estos se incluyen el cuarzo, la moscovita y los feldespatos, expresó (Vallejo J, 2014, p. 24).

#### **4.1.3.2.Nesosilicatos.**

(Nesos = Isla). Son grupos separados de silicio en los que los oxígenos de los vértices, se encadenan a cationes (un tetravalente, o un trivalente y un monovalente, o dos divalentes, o cuatro monovalente). El radical representativo de este grupo es el  $SiO_4$ ; ejemplo: Forsterita  $SiO_4Mg_2$ . (Soto, 2005, p. 38)

Son silicatos en los que todos los oxígenos están unidos por cationes; no hay tetraedros compartiendo oxígenos (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 02).

- Unidad estructural:  $(SiO_4)^{4-}$
- Fórmula general:  $X_aX_b(SiO_4)_n$
- Minerales: grupo de los olivinos, grupo de los granates, circón, topacio, distena, andalucita y silimanita.

#### **4.1.3.3.Sorosilicatos.**

(Sor = hermana). En este tipo de estructuras se asocian dos átomos de silicio compartiendo un oxígeno. Los dos tetraedros encadenados por un oxígeno común, pueden estarlo a su vez. a otros sorogrupos, a través de varios cationes metálicos. El radical que representa a este grupo es:  $Si_2O_7$ , Ejemplo: La calamina  $Zn(Si_2O_7)(OH)_2$ . (Soto, 2005, p. 38)

Son silicatos en los que hay pares de tetraedros unidos entre sí compartiendo oxígenos; las uniones entre estos pares se realizan mediante cationes. (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 05)

- Unidad estructural:  $(Si_2O_7)^{6-}$
- Fórmula general:  $A_3B_2[(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)]$
- Minerales: grupo de las epidotas

#### **4.1.3.4.Ciclosilicatos.**

(Kyklos = anillo). Esta clase de silicatos está constituida por tres, cuatro, seis o doce tetraedros de silicio. que comparten dos o más oxígenos con sus vecinos. Su estructura es de anillos y la relación entre el silicio y el oxígeno es de 1:3, existiendo, por lo tanto, diversos radicales,  $Si_3O_9$ ,  $Si_6O_{18}$ ; Ejemplo Berilo  $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ . (Soto, 2005, p. 39).

Son silicatos en los que todos los tetraedros de silicio están unidos entre sí formando un anillo cerrado de tres, cuatro o seis tetraedros. (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 05)

- Unidad estructural:  $(SiO_3)^{2-}$



- Fórmula general:  $A_3B_2(SixO_3)_x$
- Minerales: berilo y turmalina

#### **4.1.3.5. Inosilicatos.**

Tipo de silicato, en el que los átomos de silicio, balanceados con los átomos de oxígeno, se distribuyen en una estructura de cadena simple o cinta; o de doble cadena. El radical importante para los inosilicatos de cinta es  $Si_2O_6$ . Las cadenas simples, que tipifican a los piroxenos, pueden estar unidas a otras cadenas por medio de cationes metálicos. Ejemplo: Augita  $CaMg(SiO_3)_2(Mg, Fe)(Al, Fe)_2Si_2O_6$ . Las cadenas dobles tienen como radical  $Si_4O_{11}$ ; ejemplo: Horblenda  $Ca(Mg, Fe)_3Si_4O_{11}$ . (Soto, 2005, p. 39)

Son silicatos en los que los tetraedros de silicio están unidos entre sí formando una cadena que puede ser sencilla (inosilicatos tipo piroxeno) o doble (inosilicatos de tipo anfíbol). La unión entre cadenas se realiza mediante cationes de diferente carga (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 05).

#### **4.1.3.6. Filosilicatos.**

(Phyllo = lamina u hoja). La estructura de este tipo de silicatos es laminar. Los tetraedros de silicio se asocian a otros, compartiendo tres oxígenos con sus vecinos, dando apariencia laminar. Las láminas se unen unas a otras, mediante cationes u oxidrilos. Esta clase tipifica a las micas y a los minerales micáceos; ejemplo: Flogopita  $Si_3O_{10}KMg_3Al(OH)_2$ . (Soto, 2005, p. 40)

En los filosilicatos las cadenas de inosilicatos se unen entre sí compartiendo oxígenos (no mediante cationes) de manera que los tetraedros forman una hoja o lámina (siloxano) en la que todas las cargas de los oxígenos están satisfechas. Las láminas se unen entre sí mediante cationes. (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 06)

#### **4.1.3.7. Tectosilicatos.**

(Tekton = esqueleto o armazón). Es la composición del silicio y oxígeno, aquí los silíceos comparten 4 oxígenos con sus colindantes; dando un aspecto de armazón dentro de la red cristalina. Los silíceos están a veces reemplazados por aluminio, y otros elementos, manteniendo la misma estructura. Este grupo es el mayor de todos los silicatos, se incluye el Cuarzo (óxido) y los feldspatos; ejemplo: Ortoclasa  $KAlSi_3O_8$ .

De acuerdo al conocimiento petrográfico general se considera a los Tectosilicatos, Filosilicatos e Inosilicatos, como las variedades existentes más comunes de los silicatos. (Soto, 2005, p. 40)



En los tectosilicatos las láminas de siloxano se unen entre sí compartiendo oxígenos, de manera que no hay cationes enlazando tetraedros. Todos los enlaces son por ello de tipo oxígeno-silicio, los más estables de todos (Ibáñez S. Moreno H, Gisbert J, 2007, p. 09).

#### **4.1.3.8. Minerales petrogénicos.**

Los más importantes minerales de las rocas ígneas se distribuyen en siete grupos (Huang; 1991):

##### **a. Grupo del olivino**

Es un grupo de minerales de color verde olivo que puede adoptar tonos rojizos y pardos. Se llama olivino, a tres minerales diferentes y a sus combinaciones: Forsterita  $\text{SiO}_4\text{Mg}_2$ , Fayalita  $\text{SiO}_4\text{Fe}_2$  y Montecelita  $\text{SiO}_4\text{Ca, Mg}$ . Estos minerales se presentan en rocas muy básicas, que no son comunes; son nesosilicatos. (Soto, 2005, p. 42)

Otro autor señala que, es una familia de silicatos de temperatura elevada cuyo color oscila entre el negro y el verde oliva, con un brillo vítreo y una fractura concoide. En vez de desarrollar cristales grandes, el olivino forma normalmente cristales pequeños y redondeados que dan a las rocas constituidas por él un aspecto granular. (Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 99)

##### **b. Grupo de los piroxenos**

Es uno de los más importantes de los minerales ferromagnesianos (básicos), que forman rocas ígneas. El mineral más importante de este grupo y el más común es la Augita, de color negro y lustre vítreo muy característico. Otros piroxenos son: Clinoenstatita. Pigeonita, Diopsido, Hedenbergita, y la Egirina; son inosilicatos (Soto, 2005, p. 42).

Los piroxenos son un grupo de minerales complejos que se consideran componentes importantes del manto terrestre. El miembro más común, la augita, es un mineral negro y opaco con dos direcciones de exfoliación que se cortan a un ángulo de casi  $90^\circ$ . Su estructura cristalina consiste en cadenas simples de tetraedros ligados por iones de hierro y magnesio. (Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 99)

##### **c. Grupo de los anfíboles**

Es otro de los más importantes grupos de las rocas ígneas, en el que destaca la Hornblenda, común en rocas ígneas, de color negro verdoso, aunque existe la Hornblenda parda que es común en rocas metamórficas y algunas máficas. Otros anfíboles son: la Cumingtonita, la Grunerita, la Tremolita, la Actinolita; son inosilicatos. (Soto, 2005, p. 42)

El mineral conocido como hornblenda es el miembro más común de un grupo químicamente complejo de minerales denominados anfíboles. La hornblenda suele tener un color de verde oscuro a negro y, excepto por sus ángulos de exfoliación, que son de alrededor



de  $60^\circ$  y  $120^\circ$ . En una roca, la hornblenda a menudo forma cristales alargados. Eso ayuda a distinguirla del piroxeno, que forma cristales bastante achatados. La hornblenda se encuentra predominantemente en rocas continentales, donde a menudo es el componente oscuro de una roca generalmente clara. (Tarbuck & Lutgens, 2005, p. 100)

#### **d. Grupo de las micas**

Generalmente se presentan en rocas ígneas, es un conjunto de filosilicatos especiales, que. Destacan: la Muscovita que es incolora, común en rocas ácidas y alcalinas y no frecuente en rocas volcánicas: la Biotita es de color negro y lustre perlino muy escamoso, se presenta en pequeños "paquetitos" en varias rocas ígneas. Otras micas son la Flogopita y la Lepidolita. (Soto, 2005, p. 42)

El grupo de las micas dioctaédricas se puede definir en función de los términos finales siguientes:

- Moscovita:  $K (Al_2) VI (AlSi_3) IV O_{10} (OH, F)_2$
- Paragonita:  $Na (Al_2) VI (AlSi_3) IV O_{10} (OH, F)_2$
- Celadonita:  $K (Mg, Fe^{2+}) (Fe^{3+}, Al) (Si_4) O_{10} (OH)_2$

Se considera que entre moscovita y celadonita existe una solución sólida continua, que constituye el denominado grupo de la fengita, aunque el término fengita sólo se debe utilizar para composiciones que contienen entre 40 y 90% de molécula de celadonita. Por el contrario, entre moscovita y paragonita no hay solución sólida continua. (GUIDOTTI, 1984, p. 132)

#### **e. Grupo de los feldespatos**

Feldespatos significa cristal de campo, por lo que se comprende que son las más frecuentes entre las rocas; son muy importantes porque la variación de sus porcentajes origina que las rocas tomen diferentes denominaciones. Se llama feldespato a tres moléculas diferentes y a sus combinaciones e intercrecimientos, Ortosa  $Si_3AlO_3K_2$ , Albita  $Si_3AlO_8Na_2$  y Anortita  $Si_3AlO_8Ca$ . (Soto, 2005, p. 42)

Los feldespatos pueden ser plagioclasa o feldespatos calco-sódicos, cuando intercrecen cristales de plagioclasa sódica y cristales de plagioclasa cálcica; si son más cálcicas se llaman plagioclasa cálcica, si son más sódicas se denominan plagioclasa sódica. La mezcla de ortoclasa y de plagioclasa sódica se denomina ortoclasa o feldespatos alcalinos. (Soto, 2005, p. 42)

El feldespato, el grupo mineral más común, puede formarse bajo un intervalo muy amplio de temperaturas y presiones, un hecho que explica en parte su abundancia. Tienen dos planos de exfoliación que se cortan a  $90^\circ$ , o cerca, son relativamente duros (6 en la escala de Mohs) y tienen un brillo que oscila entre vítreo y perlado. Como componentes de una roca, los



cristales de feldespato pueden identificarse por su forma rectangular y sus caras brillantes bastante lisas. (Tarbuck & Lutgens, 2005, p 105)

#### **f. Grupo de la sílice**

Es un conjunto de minerales de la misma composición  $\text{SiO}_2$ . Este grupo está conformado por: Cuarzo alfa ( $\alpha$ ), Cuarzo beta ( $\beta$ ), la Cristobalita, la Tridimita, la Lechetelierita, el Ópalo y la Calcedonia.

El Cuarzo de alta ( $\beta$ ) es el más importante del grupo: se presenta llenando intersticios (huecos), por lo tanto, no refleja forma cristalográfica alguna, simplemente se aprecian granos minerales transparentes o turbios, diferenciándose del Cuarzo hexagonal-piramidal-columnar de las vetas o de baja ( $\alpha$ ); allí se ven numerosos cristales que acompañan la mineralización metálica. El Cuarzo de alta, se presenta en la mayoría de las rocas ácidas o intermedias, en diversas cantidades, se caracteriza por el lustre vítreo-graso que posee y por la fractura concoidea tan característica. (Soto M, 2005, p. 43)

#### **g. Grupo de los feldespatoideos**

Son minerales de la familia de los feldespatos; son tectosilicatos como sus semejantes; aparecen en algunas rocas alcalinas no frecuentes. Los principales feldespatoideos son: Nefelina  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ; Cancrinita  $6\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{NaHCO}_3$ , Sodalita  $6\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ; Leucita  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ . Analcina  $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O}$ .

Poseen una red tridimensional la cual es particular de algunas rocas, (tectosilicatos). Entre los elementos sodio y potasio, con la singularidad de que están no saturados; nunca aparecen coligados con cuarzo independiente en la roca. Mayoritariamente son cúbicos o hexagonales. Se pueden establecer dos grupos principales: los feldespatoideos simples, con silicato como único grupo aniónico, y los feldespatoideos complejos, en los que están presentes uno o más aniónicos diferentes junto al silicato. (Soto M, 2005, p. 45).

#### **4.1.4 Roca**

Constituyen la parte más externa de nuestro planeta o litosfera, pueden ser consideradas como el resultado final de la evolución de sistemas físico – químicos, más o menos complejos, desarrollados como consecuencia directa de la actividad geológica exógena (meteorización, sedimentación y diagénesis) y endógena (magmatismo y metamorfismo). (Pozo, González, & Giner, 2005, p. 03)

Una roca sedimentaria se definirá como una asociación de fases minerales, formada por rocas tanto ígneas, metamórficas y sedimentarias poniendo en movimiento los materiales por el proceso de meteorización (C. Virgili, 1977, p. 18).

Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. El porcentaje o proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica. (González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. 2002, p. 121)



**Figura 2.** Proceso de formación de las rocas  
**Nota:** Rockcycle.jpg

#### 4.1.4.1. Rocas ígneas.

Las rocas ígneas son rocas llanamente derivadas de procesos geológicos endógenos. Dependiendo del lugar donde se produzca la solidificación, las rocas ígneas pueden ser intrusivas o extrusivas. Genéticamente las intrusivas se confieren de la solidificación del magma de una cámara magmática, dique, sill o lacolito, mientras que las extrusivas resultan cuando la solidificación del magma tiene lugar sobre la superficie de la tierra.

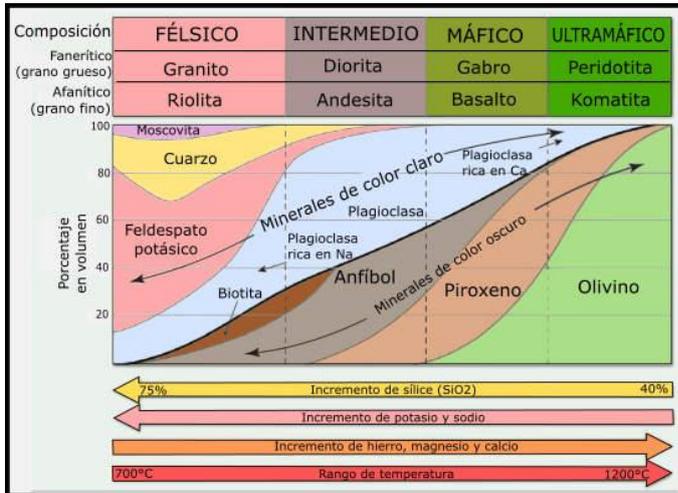
Proviene del magma, en su enfriamiento se solidifican en un proceso ordenado de cristalización según determinado conjunto de minerales, dependiente de la composición del magma. Debido a ello, a las rocas ígneas también se las suele denominar rocas magmáticas. Cuando el magma de una cámara cristaliza recibe el nombre de plutón y, por este motivo a estas rocas también se les llama “plutónicas”. Granitos, dioritas o gabros son algunos ejemplos. (Varela, 2014, p. 47)

- **Clasificación de las rocas Ígneas**

Para su clasificación existen dos métodos básicos:

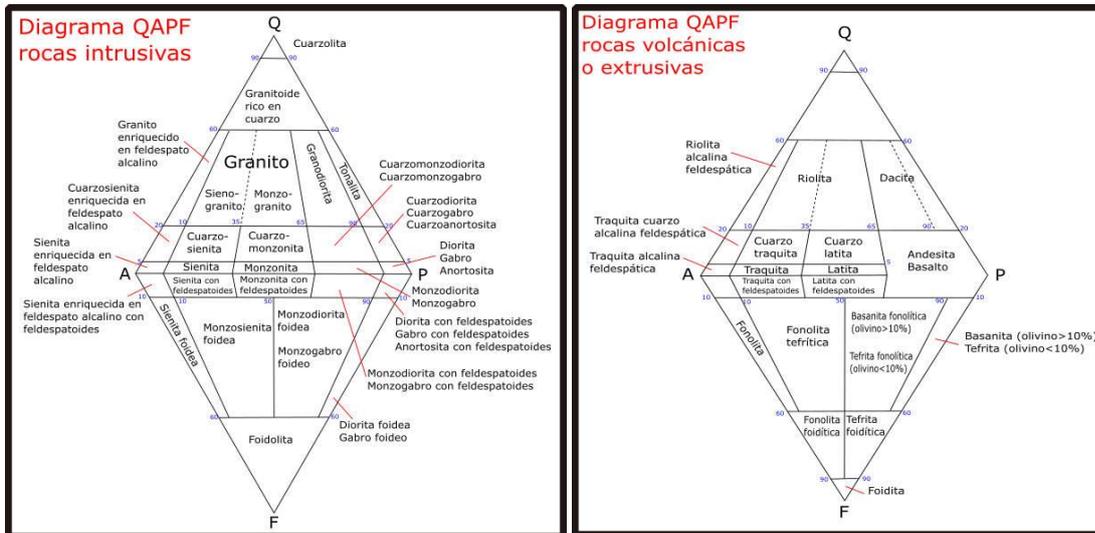
- ✓ Clasificación de las rocas ígneas en base su composición química, específicamente su porcentaje de sílice ( $\text{SiO}_2$ )

- ✓ Clasificación modal de las rocas ígneas usando el diagrama de Streckeisen (QAPF) para rocas intrusivas y extrusivas.



**Figura 3.** Clasificación en base del contenido de sílice ( $SiO_2$ )  
 Nota: GeologíaWeb

El diagrama indica la clasificación de las rocas ígneas intrusivas y extrusivas mediante la combinación de determinar el porcentaje de sílice ( $SiO_2$ ) y observar el color, los minerales que componen la roca, además de la textura.



**Figura 4.** Clasificación modal (diagrama Streckeisen)  
 Nota: GeologiaWeb

Se puede clasificar la roca mediante su composición de cuarzo, plagioclasas y feldespatos alcalinos, mediante el diagrama de Streckeisen, por tal motivo al mismo se lo denomina como QAPF de Streckeisen. Para desarrollar el caso, se debe asegurar que la roca ígnea no debe tener más del 90% de minerales máficos.

Así mismo se tiene que tener en cuenta que coexisten dos diagramas QAPF, el uso se lo dará de acuerdo al tipo de espécimen que se vaya a trabajar, clasificar o nombrar, siendo



para rocas intrusivas y extrusivas como se lo expresa en la imagen anterior, y que su uso va a depender del tipo de roca que identifiques a simple vista, para ello es importante ayudarse de la textura. (Varela, 2014, p. 52)

#### **4.1.4.2. Rocas sedimentarias.**

La acumulación y posterior formación puede ocurrir en un ambiente marino o continental, en el seno de un fluido líquido (océanos, mares, lagunas, ríos, etc.) o gaseoso (sobre la superficie, en desiertos, estepas, etc.). La materia acumulada consiste en fragmentos de materiales preexistentes (clastos), en precipitados químicos, o una mezcla de ambos. (Varela, 2014, p. 56)

Según (Duque Escobar, 2020) “Las rocas sedimentarias más importantes por su abundancia y en su orden, son: la lutita, la arenisca y la caliza. Aunque las rocas sedimentarias constituyen una proporción muy pequeña del volumen de la corteza de la Tierra, son altas las posibilidades de encontrarlas en la superficie, donde tres cuartas partes de las rocas expuestas son sedimentarias.” (p. 12)

#### **4.1.4.3. Rocas metamórficas.**

Al conjunto de las transformaciones que sufre una roca a causa del incremento de presión se le llama metamorfismo regional. Este nombre hace alusión a que los procesos geológicos que pueden ocasionarlo no son puntuales, sino regionales y actúan sobre grandes extensiones de terreno.

Hay minerales que al variar las condiciones de su ambiente dejan de ser estables y desaparecen, con aparición de nuevas especies. Al mismo tiempo se produce un nuevo arreglo de texturas y estructuras, que tiene relación con el campo de esfuerzos durante el metamorfismo. (Varela, 2014, p 60)

Dependiendo del tipo de roca que se modifica y de las nuevas condiciones de presión y/o temperatura a las que se sometan se producirán los distintos tipos de rocas metamórfica.

A las transformaciones de una roca debido a un incremento de la temperatura se le llama metamorfismo de contacto, y está relacionado con el ascenso de magmas y la formación de rocas plutónicas y volcánicas.

En la corteza la temperatura aumenta en promedio 33 °C por Km. (1°C por cada 30 m de profundidad), y la presión unas 1000 atmósferas cada 3 Km. (1 atmósfera cada 3 m), por lo que a más de 200 °C y 2000 atmósferas (6000 m) se forman rocas metamórficas como las granulitas, eclogitas, gneises y esquistos. Algunas rocas son de alta temperatura y baja presión

(dorsales oceánicas), o baja temperatura y alta presión (zonas de subducción). (Duque Escobar, 2020, p. 13)

#### 4.1.5 Geología estructural

Es la disciplina científica que se ocupa del estudio de la deformación de la corteza sin importar su escala, esta puede ser pequeña como a gran escala. Su alcance es vasto, abarcando desde el estudio de los defectos en los arreglos atómicos de los cristales hasta la estructura de las fallas y sistemas de pliegues en la corteza de La Tierra. El objetivo principal de la geología estructural es medir la deformación en la corteza para entender cuál fue la historia de deformación registrada por las rocas y cómo, cuándo y por qué se acumuló esta deformación. (Universidad de los Andes, 2016, p. 01)

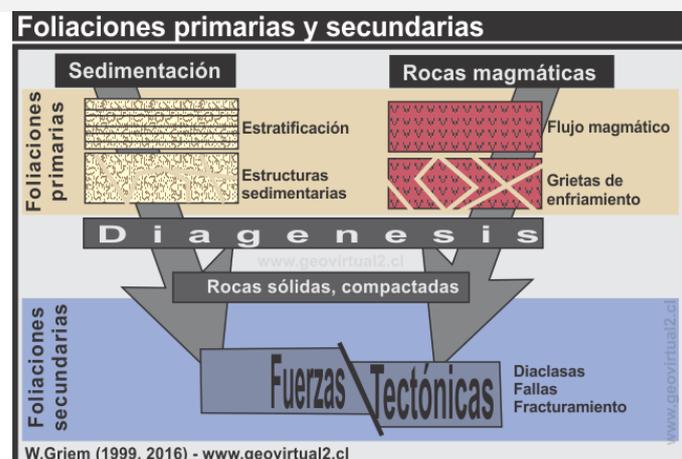
La geología estructural incluye a todos los procesos y elementos cuales están relacionados a las fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre. En la geología estructural se analiza estructuras geológicas especialmente tectónicas para aclarar la acción de fuerzas dirigidas durante la historia geológica. Estos análisis, a parte de un alto interés científico en general, pueden apoyar la prospección o exploración. (Griem, 2020, p 01)

##### 4.1.5.1. Planos geológicos.

Expresa (Griem, 2020) que la mayoría de las rocas de la corteza terrestre muestran varios tipos de planos geológicos. Existen en general dos tipos de planos:

**Tabla 2.** Tipos de Planos

Foliaciones primarias	Foliaciones secundarias
Tienen su origen antes de la litificación, es decir durante la deposición. Ejemplos: Estratos, Flujo magmático.	Tienen su origen después de la litificación: Todos los planos cuales se han formado a causa de fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre. Ejemplos: Diaclasas, Fallas.



**Nota:** (Griem, 2020) Modificado: El autor

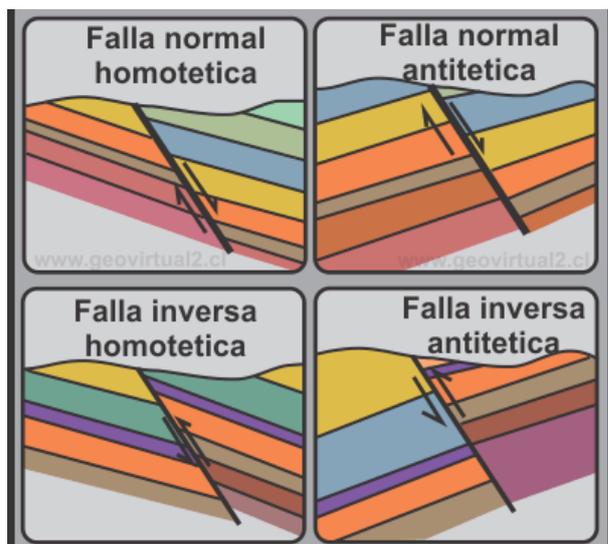
## a. Fallas

Las fallas son roturas en las rocas a lo largo de la cual ha tenido lugar movimiento. Este movimiento se llama desplazamiento. Origen de estos movimientos son fuerzas tectónicas en la corteza terrestre, cuales provocan roturas en la litosfera. Las fuerzas tectónicas tienen su origen en el movimiento de los continentes. (Griem, 2020, p 01)

Hay tres principales tipos de fallas: normal, inversa y de desplazamiento de rumbo (movimiento horizontal). (Duque Escobar, 2020, p. 215)

**Fallas normales:** Si la disposición de los bloques parece explicada por esfuerzos de tensión o tracción, aquí el espejo de falla queda expuesto a la acción del Sol y relativamente los bloques se separan o alejan. El bloque levantado es el piso. (Duque Escobar, 2020, p. 215)

- **Fallas inversas:** Cuando la disposición de los bloques parece responder a esfuerzos de compresión. Por el empuje los dos bloques parecen aproximarse entre sí; en ella el espejo de falla, que también se puede observar en el bloque levantado, que es el techo, queda a la sombra. (Duque Escobar, 2020, p. 215)



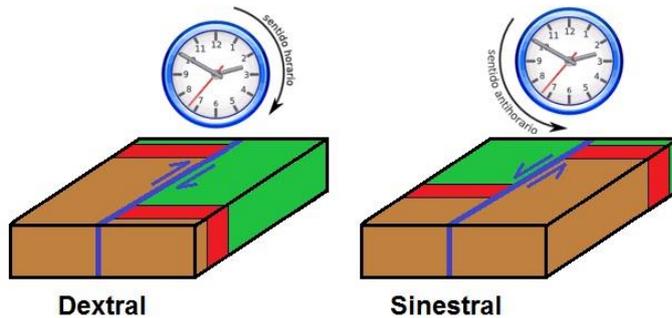
**Figura 5.** Diferenciación entre falla normal e inversa

**Nota:** Griem (2020)

Según Griem (2020), en la revista Apuntes de Geología “Las fallas tectónicas con desplazamientos verticales se pueden diferenciar entre fallas normales y fallas inversas. Las fallas normales marcan una cierta tendencia expansiva, las fallas inversas una tendencia compresiva.”

- **Fallas de desplazamiento** Es de cizalladura o transcurrente; el desplazamiento puede ser derecho o izquierdo dependiendo de lo que suceda con el bloque del frente, cuando un observador mira desde el otro bloque. Si aquel se desplaza a la derecha, la falla será

de rumbo dextrógiro y si lo hace hacia la izquierda, la falla será de rumbo levógiro o sinextrógiro. (Duque Escobar, 2020, p. 215)



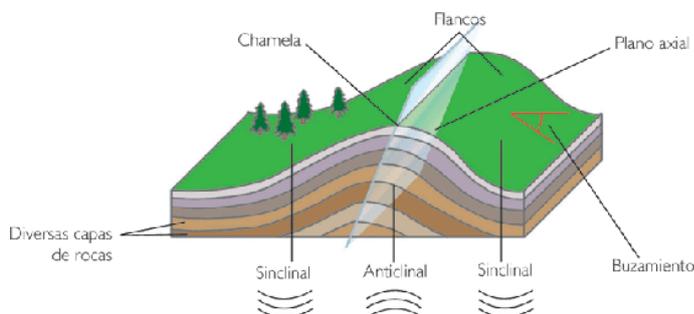
**Figura 6.** Fallas de rumbo  
**Nota:** Griem (2020)

### b. Pliegues

Según Arellano (2010) “Un pliegue es una estructura secundaria resultado de deformación dúctil heterogénea, la cual se manifiesta como una o varias ondulaciones de sus elementos originales” (p. 10).

Las partes de un pliegue son:

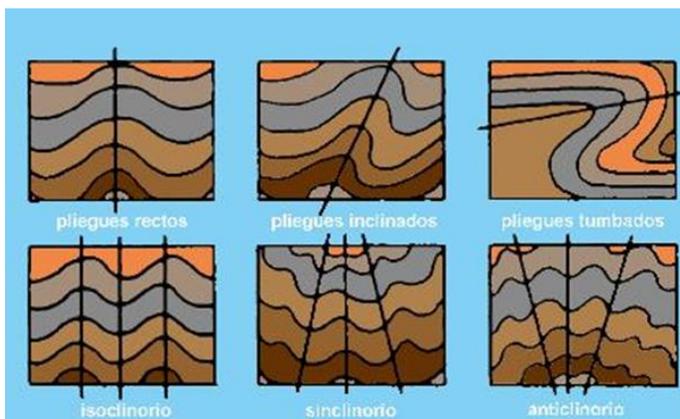
- **Flanco o limbo.** Es la superficie de uno de los lados del pliegue. Cada pliegue tiene dos flancos.
- **Cresta.** Es el punto más alto en la superficie plegada.
- **Valle.** Es el punto más bajo en la superficie plegada.
- **Punto de charnela.** Es el punto de máxima curvatura del pliegue.
- **Línea de Charnela.** Es la línea que une los puntos de máxima curvatura de un pliegue y pasa por los puntos de charnela.
- **Superficie o plano de charnela (plano axial).** Superficie que contiene las líneas de charnela de un pliegue en un mismo plano estructural.



**Figura 7.** Partes de un pliegue  
**Nota:** CATEDU (2018)

En CATEDU, (2018) en los pliegues al igual que en las fallas se encuentran diferentes tipos:

- **Anticlinales.** Son pliegues que presentan una superficie convexa hacia el exterior del pliegue. En ellos los estratos que conforman el núcleo son los más antiguos y los más modernos se localizan en los flancos.
- **Sinclinales.** Son pliegues que presentan una superficie convexa dirigida hacia el interior del pliegue. En este caso los estratos más modernos están situados en el núcleo y los más antiguos en los flancos.
- **Monoclinal:** Flexión o inclinación estructural en una sola dirección, semejante a un escalón, en zonas donde predominan capas horizontales.
- **Homoclinal:** Flexión estructural en una sola dirección con echado uniforme, es semejante a una rampa.
- **Anticlinorios.** Es una asociación en la que los pliegues presentan una convergencia de los planos axiales hacia el interior.
- **Sinclinorios.** En esta asociación de pliegues los planos axiales divergen hacia el interior. (p. 01)



**Figura 8.** Tipos de pliegue  
**Nota:** Educarex (2004)

### c. Diaclasas

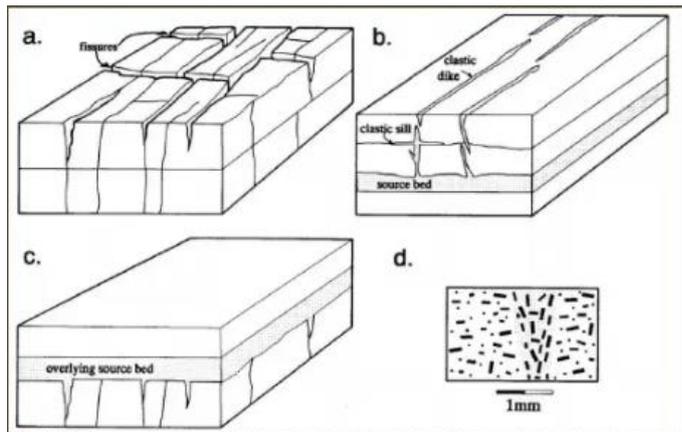
Las diaclasas se han configurado como una grieta llegando a denominarse fractura, en comparación con una falla estas no muestran desplazamientos al plano de fractura.

(Dunne & Hancock 1994), las denomina como joint, mismas que unen partes de un macizo rocoso. Se incluyen en geología estructural, conociendo de que, si bien no todas son de origen tectónico, ni estructuras secundarias. Las diaclasas (joint) pueden estar cerradas o abiertas, las diaclasas abiertas se denominan grietas o fisuras (cracks, fissures), y pueden ser vacías o rellenas. (p. 04)

Las fisuras abiertas pueden almacenar agua y ser un factor de control en la circulación subterránea de ese fluido, las aguas circulantes pueden estar enriquecidas con minerales disueltos y ser químicamente activas.

Las aberturas pueden ser rellenas y ampliadas por la intrusión de material clástico sedimentario inyectado a presión: diques clásticos.

Las grietas de mayor abertura en la superficie pueden ser rellenas con nuevos sedimentos que se acumulan encima: Diques neptunianos (Dunne & Hancock 1994, p. 05)



**Figura 9.** Grietas abiertas, diques clásticos y diques neptunianos  
**Nota:** Dunne y Hancock, 1994

#### 4.1.5.2. Datos Estructurales.

Según Griem, (2020), para describir la orientación de un plano geológico matemáticamente se necesitan determinar sus propiedades:

##### a. Dirección de inclinación

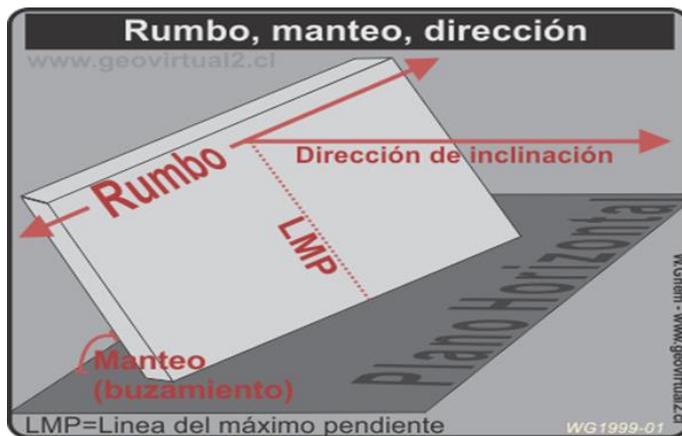
La dirección de inclinación o dirección del buzamiento es la dirección hacia donde se inclina un plano. (Es la proyección horizontal de la línea de la máxima pendiente) (p. 02).

##### b. Rumbo

Richard J, Peter R (s.f), afirman que, para determinar el rumbo con una mayor certeza, se lo mide con una brújula ya que es el ángulo, respecto al norte, que forma la línea de intersección del estrato con un plano horizontal imaginario, no se inclina en lo absoluto. (p. 04)

##### c. Buzamiento

Es el Angulo de pendiente del plano, El buzamiento de un plano horizontal es  $0^\circ$ , de un plano vertical es  $90^\circ$ , el mismo que es medido perpendicularmente al rumbo, se puede medir con un clinómetro, aunque también se puede medir con brújula (Richard J, Peter R., s.f, p. 04)



**Figura 10.** Diferenciación entre rumbo, manto y dirección  
**Nota:** Griem (2020)

## 4.2. Mapeo geológico

Muthoni (2010) mencionó que el mapeo geológico es el proceso de seleccionar un área de interés y de identificar todos los aspectos geológicos presentes con el propósito de preparar un reporte y generar un mapa geológico cuya calidad dependerá de la exactitud y precisión del trabajo de campo.

El mapeo geológico es un requisito muy importante en la geología, geotecnia, hidrogeología, medio ambiente y minería, lo principal de este proceso es de transferir la información geológica obtenida en el campo a uno de los diferentes tipos de mapas base como la topografía. Según Lisle, Brabham & Barnes (2011), mencionan que los mapas geológicos forman la base de la mayoría del trabajo geológico y no existe un sustituto para este porque la geología básica es fundamental. (p. 01)

### 4.2.1 Unidades de mapeo.

Una vez en el campo, las unidades que se representarán en el mapa pueden ser formales o informales. Las unidades formales (Supergrupo, Grupo, Formación, Miembros, Estrato o Colada) son aquellas que han sido definidas en trabajos de mapeo previos. En regiones de escaso conocimiento geológico puede ser necesaria la definición de nuevas unidades con características que permitan distinguirlas de otras.

La distribución de las unidades de mapeo se define en el mapa geológico mediante las trazas de los contactos, que podrían incluir superficies de falla, contactos estratigráficos conformes, contactos intrusivos o discordancias. Generalmente, los contactos concordantes, discordantes e intrusivos son todos dibujados utilizando los mismos tipos de línea. El tipo de contacto representado en el mapa, visible o inferido, debe estar contenido en la información de la leyenda del mapa. (Echeveste, 2017, p. 167)



#### **4.2.2 Métodos de mapeo.**

Desde la antigüedad y arraigado hasta la actualidad se han dividido los métodos de mapeo geológico en tres tipos, dos de ellos condicionados por la escala en que el mapa será editado: método de los contactos para mapas regionales de escala pequeña y mapeo de todos los afloramientos para mapas de detalle de gran escala. El tercer tipo, método de los perfiles, puede emplearse tanto en mapas regionales como de detalle, en zonas bien expuestas como en regiones con escasos afloramientos, su principal característica es que permite un adecuado control en la densidad de las observaciones y una buena administración del tiempo disponible para realizar el trabajo. (Echeveste, 2018, p. 168)

##### **4.2.2.1. Mapeo de contactos.**

Lalangui S, (2018) en el año citado aplica la metodología propuesta en el 2017 por Horacio Echeveste, la que se enfoca en la ubicación de contactos entre unidades litológicas o formaciones constituye el objeto principal del levantamiento geológico (p. 34).

Así mismo (Hernández H, 2017) aplica la metodología de mapeo de contactos de manera puntual en interior mina, siendo el mapeo de contactos el método empleado en 169 de los mapeos regionales, de escala pequeña a intermedia, 1:20.000 y más pequeña.

Esta metodología básicamente consiste en superponer en el mapa el boceto de los contactos entre las distintas unidades de mapeo en su intersección con la superficie topográfica. Una de las características más importante de este método es que no se tienen en cuenta la cobertura superficial, es decir se vuelca en el mapa la litología que subyace a los depósitos superficiales. (Echeveste, 2017, p. 169)

##### **4.2.2.2. Mapeo por perfiles.**

Se suele adoptar este método para el mapeo de reconocimiento de grandes regiones, a escalas relativamente pequeñas (1:250.000 a 1:50.000). También suele ser el único método posible donde las exposiciones de las rocas están restringidas a cortes de carreteras, arroyos o filos. Es un método apropiado en zonas donde la estructura no es muy compleja y adecuado para llevar un buen control de la densidad de las observaciones. En este método se hacen recorridos más o menos paralelos según rutas predeterminadas a intervalos espaciados de acuerdo al detalle requerido. (Echeveste, 2017, p. 173)

##### **4.2.2.3. Mapeo por afloramientos.**

Agila Y, (2018) Aplica la metodología propuesta por Horacio Echeveste que es considerada como la base de gran parte de la cartografía geológica detallada a escala 1:10.000 y más grande en cualquier proyecto.

De igual manera, Quishpe R, (2020) da uso de esta metodología considerando de que muchos terrenos están compuestos de exposiciones de rocas más o menos dispersas separadas por zonas cubiertas por depósitos superficiales, vegetación, hielo, agua, etcétera (p.87).

En este método, el geólogo debe examinar tantas exposiciones como sea posible. La extensión de cada afloramiento, o el grupo de afloramientos, se indica en el mapa de campo con el lápiz de color apropiado para ese tipo de roca o formación. (Echeveste, 2017, p 172)

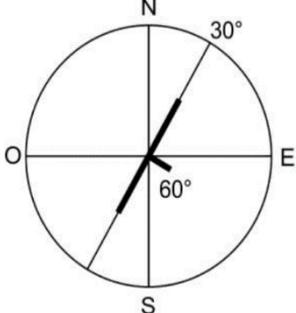
### 4.2.3 Mapeo Estructural

Echevester, (2018) recopila información referente al mapeo estructural en el cual se reconoce y se mapea detalladamente las estructuras geológicas (posición de pliegues, dirección de movimientos de falla, disposición de diaclasas) proporciona información sobre cómo y por qué se deforma la corteza terrestre. (p. 186)

En el desarrollo del mapeo, una estructura en geología infiere a aquellas características de las rocas que son producto de los esfuerzos compresivos o extensionales, pliegues, fallas y diaclasas. Mismas que nos proporcionan los datos estructurales, que serán registrados y volcados en el mapa geológico de acuerdo a su importancia e impacto. Visto anteriormente en “geología estructural” estos datos serán tomados con una brújula geológica.

Para su mejor expresión se indican a continuación las posibilidades de notación para planos (Ver Tabla 3): acimut/inclinación, rumbo/inclinación, rumbo del buzamiento (RBZ) /inclinación, acimut/inclinación según las reglas de mano derecha. En el caso de medir RBZ se debe discriminar planos de líneas (plunge). Para medir lineamientos se puede utilizar dirección (RBZ) y plunge o raque.

**Tabla 3.** Diferentes maneras de notación para indicar la posición de un plano.

Acimut 30°/60° SE	
Acimut 210°/60° SE	
Rumbo N 30°E/60°SE	
Rumbo S 30°O/60°SE	
Mano derecha (EEUU) 30°/60°	
Mano derecha (UK) 210°/60°	
RBZ 120°/60°	

**Nota:** (Echevester, 2018)

### 4.3. Movimientos en masa

En la literatura científica se puede evidenciar diversas clasificaciones de movimientos en masa; gran parte de estas se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación (Andino, 2007, p. 01).

Las clasificaciones de movimientos en masa de Varnes y Hutchinson (1958, 1978) son, hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo de habla inglesa e hispana. Varnes (1958 y 1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y, en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, éstos últimos subdivididos en detritos y tierra. De esta manera, presenta definiciones para varias posibles combinaciones de tipo de movimiento y material. (Andino, 2007, p. 01)

#### 4.3.1 Clasificación de los movimientos en masa

Existen una serie de clasificaciones de movimientos en masa. Una de las clasificaciones de inestabilidad de laderas que ha dado origen a la clasificación de movimientos en masa, en ladera desarrollada por el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) (Instituto Nacional de Defensa Civil, Perú, 2011), se basa sustancialmente en la clasificación de (Varnes, Slope movement types and processes, 1978), modificada por (Cruden & Varnes, 1996)

Con esto Varnes (1956 y 1978), considera como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento, y, en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra. (Andino, Proyecto Multinacional, 2007, p 01)

**Tabla 4.** Clasificación de los movimientos en masa

Tipo de movimiento	Tipo de Material		
	Roca	De grano grueso	De grano fino
<b>Caídas</b>	Caída de rocas	Caída de detritos	Caída de suelos
<b>Basculamientos</b>	Basculamiento de rocas	Basculamiento de detritos	Basculamiento de suelos
Tipo de movimiento	Tipo de Material		
	Roca	De grano grueso	De grano fino
<b>Deslizamientos</b>			
Rotacionales	Deslizamiento rotacional de rocas	Deslizamiento rotacional de detritos	Deslizamiento rotacional de suelos
Traslacionales	Deslizamiento traslacional de rocas	Deslizamiento traslacional de detritos	Deslizamiento traslacional de suelos
<b>Separaciones laterales</b>	Separación lateral en roca	Separación lateral en detritos	Separación lateral en suelos

Flujos Complejos	Flujo de rocas	Flujo de detritos	Flujo de suelos
	Combinación de dos o más tipos		

Nota: (Varnes, 1978)

#### 4.3.1.1. Vuelco.

Para (Hutchinson, 1988), el volcamiento de un bloque de roca ocurre cuando la resultante de las fuerzas debido al peso del bloque, cae por fuera del punto de pivote, situado en la base del bloque afectado. Son comunes en masas de roca con discontinuidades fuertemente inclinadas y pueden involucrar grandes volúmenes. (p. 43)

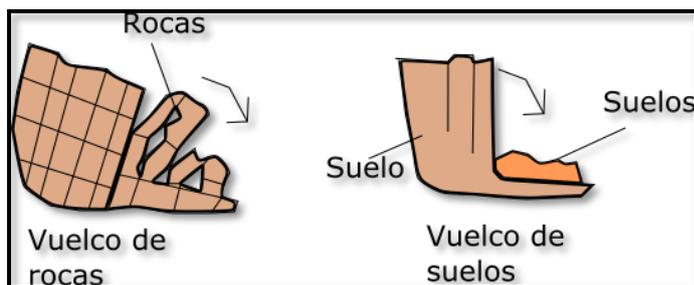


Figura 11. Vuelco de Roca – Suelo

Nota: GEOLOGÍAWEB

#### 4.3.1.2. Caída.

Hutchinson (1988) las define como descenso más o menos libre y extremadamente rápido de masas de suelo o roca de cualquier tamaño, desde taludes escarpados o riscos. La caída puede ser (Primaria y secundaria)

- **Primaria.** La roca o suelo se desprende desde el sitio original parental. El proceso es generalmente progresivo y, con frecuencia, prolongado.
- **Secundaria.** Bloques o fragmentos que se habían desprendido previamente desde su masa parental y detenido en algún sitio intermedio de la ladera, se desprenden ahora desde este sitio. (p. 44).

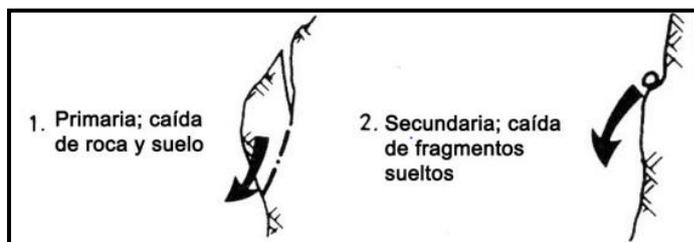
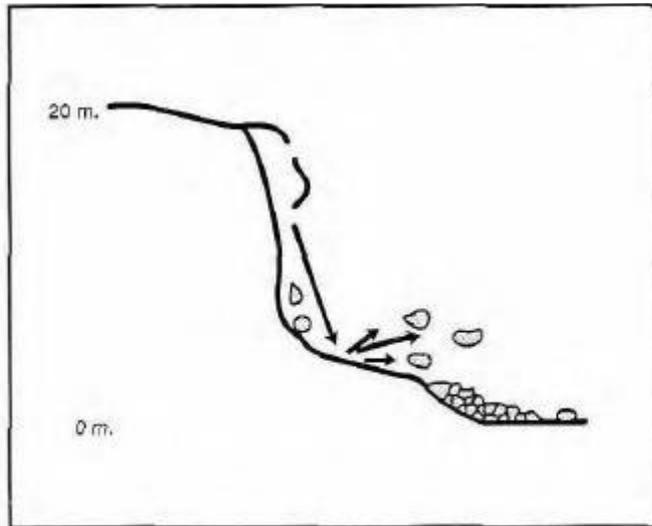


Figura 12. Caída primaria y secundaria.

Nota: Hutchinson 1988

En las caídas una masa de cualquier tamaño se desprende de un talud de pendiente fuerte, a lo largo de una superficie, en la cual ocurre ningún o muy poco desplazamiento de corte y descende principalmente, a través del aire por caída libre, a saltos o rodando

Una particularidad significativa de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe una fricción entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento. (Suarez, 1998, p. 12)



**Figura 13.** Desprendimiento tipo caída

**Nota:** (WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY & Cruden, 1991)

#### **4.3.1.3. Deslizamiento.**

Cruden & Varnes, (1996) definen este tipo de desplazamiento como un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o de zonas netamente sometidas a intensos esfuerzos de corte. Según estos autores, la superficie de ruptura no se desarrolla de manera simultánea a lo largo de la masa que va a ser desplazada, sino que se inicia por agrietamientos en el terreno en la parte superior de la ladera, donde más tarde se conforma la corona del deslizamiento. (Andino, Proyecto Multinacional, 2007, p. 09)

Crozier (1986) de una manera abreviada define al deslizamiento como un movimiento gravitacional hacia afuera de la ladera descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte (p. 15).

Hutchinson (1968) define los deslizamientos como movimientos relativamente rápidos pendiente abajo de suelo o roca a lo largo de una o más superficies que delimitan la masa movilizada en el proceso. Considera que los deslizamientos comprenden una etapa inicial de falla, seguida de un recorrido, y que un problema central en la clasificación es qué peso darle a cada una de estas dos etapas. (p. 34)

##### **a) Deslizamiento Rotacional:**

Este tipo de movimiento con superficie de falla profunda, se da en taludes conformados por capas gruesas homogéneas de arcilla o shale. También se presenta en materiales granulares

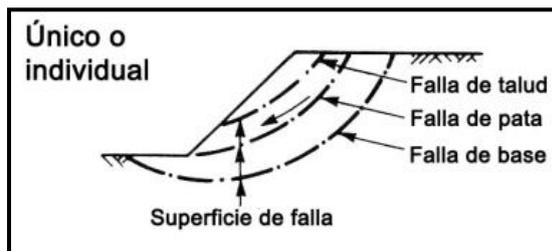
o en macizos de roca muy fracturada, en los cuales la presión de poros es suficientemente alta para generar una falla rotacional en vez de una traslacional. Las fallas rotacionales también pueden presentarse en taludes de roca altamente meteorizada. (Hoek & Bray 1977, p 35)

La superficie de la ruptura se curva cóncava hacia arriba y el movimiento de deslizamiento toma un traslado más o menos rotativo en torno a un eje que es paralelo a la superficie del suelo (Alcántara, 2000, p. 16)

Según Skempton & Hutchinson (1969), las fallas de tipo profundo descritas tienen una relación D/L entre 0,15 y 0,33, donde D es la profundidad de la superficie de falla y L su longitud (p. 36).

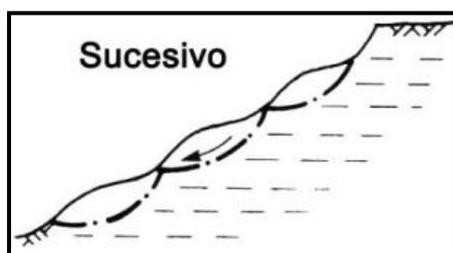
Hutchinson (1988) reconoce tres tipos de deslizamiento rotacional.

1. **Deslizamiento rotacional individual (single rotational slip).** Contempla una superficie de falla única, concavidad hacia arriba, sobre la cual la masa deslizada se mueve como una unidad coherente. Puede presentarse como una falla de talud, una falla de pata –la más frecuente– o una falla de base o ruptura de base.



**Figura 14.** Deslizamiento rotacional individual  
**Nota:** Hutchinson 1988

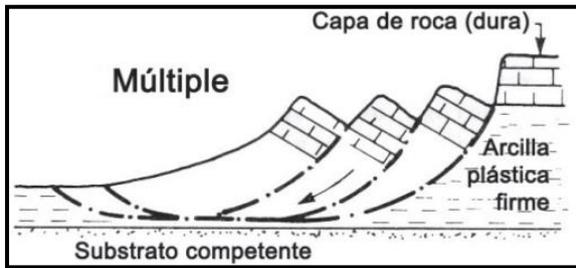
2. **Deslizamiento rotacional sucesivo.** Se trata de una sucesión de movimientos rotacionales relativamente superficiales dispuestos cabeza a pie sobre una ladera, y por lo general de tipo retrogresivo. En conjunto son solo moderadamente profundos y se relacionan más con el manto de meteorización que con estructuras profundas de roca.



**Figura 15.** Deslizamiento rotacional sucesivo  
**Nota:** Hutchinson 1988

3. **Deslizamiento rotacional múltiple (múltiple rotational slip).** En algunos casos, debido a retrogresión de deslizamientos rotacionales individuales, se pueden generar dos o más

bloques deslizantes, cada uno con superficie cóncava hacia arriba, tangencial a una superficie de falla común relativamente profunda. (p. 36)



**Figura 16.** Deslizamiento rotacional múltiple

**Nota:** Hutchinson 1988

### b) Deslizamiento Traslación:

Según Hutchinson (1988), este tipo de deslizamiento involucra falla por cortante a lo largo de una superficie casi planar en el sentido de la ladera, a veces canalizada en sección transversal. El material se desplaza en forma casi paralela a la pendiente del terreno y la relación D/L es de 0,1 o menos. (p. 37)

La masa de deslizamiento se mueve a lo largo de una superficie aproximadamente plana con poca rotación o inclinación hacia atrás. La masa en movimiento consiste en una sola unidad o unas pocas unidades estrechamente relacionadas que se mueven cuesta abajo como una masa relativamente coherente. (Alcántara, 1999 p. 09)

Los tipos más frecuentes de deslizamiento traslacional se describen a continuación.

1. **Deslizamiento traslacional de láminas.** Se presenta generalmente en taludes compuestos de materiales secos no cohesivos (dunas, por ejemplo) que se encuentran próximos a su ángulo de reposo.



**Figura 17.** Deslizamiento traslacional de láminas.

**Nota:** Hutchinson 1988

2. **Deslizamiento traslacional de losas o de escamas.** Término reservado por Hutchinson para referirse al deslizamiento en láminas de suelo arcilloso algo compacto (ejemplo, arcilla de Londres) expuestas en laderas de pendiente de 8 a 10 grados. Se refiere a

escamas cuando el material firme que se desplaza, se mueve sobre una zona relativamente más blanda. Estos procesos pueden ser retrogresivos o progresivos



Figura 18. Deslizamiento traslacional de losas o escamas  
Nota: Hutchinson 1988

3. **Deslizamiento traslacional de turba.** Ocurre en zonas de pantanos con una superficie de falla definida por algún tipo particular de minerales en la base de la turba o algún material diferente.
4. **Deslizamiento traslacional de roca.** Deslizamientos traslacionales relativamente monolíticos de bloques de roca que se desplazan sobre discontinuidades planares, tales como planos de estratificación o de diaclasas, clivaje o foliación.
5. **Deslizamiento traslacional de detritos.** Ocurre en el manto de detritos acumulado sobre una ladera. La masa que se desliza es de baja cohesión y tiende a sufrir considerable distorsión y disgregación durante el movimiento.

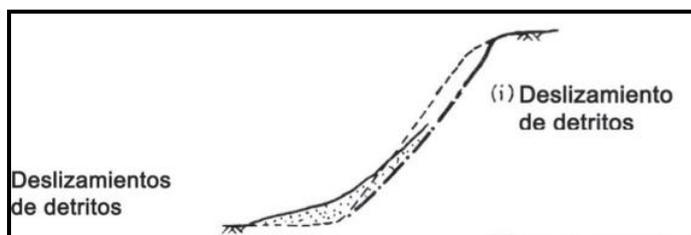


Figura 19. Deslizamiento traslacional de detritos  
Nota: Hutchinson 1988

#### 4.3.1.4. Movimientos complejos.

Los movimientos complejos ocurren cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro desplazándose ladera abajo, entre los más importantes cabe destacar los aludes o avalanchas de rocas y los flujos deslizantes. Las avalanchas o aludes de rocas consisten en la movilización a gran distancia de grandes masas de rocas y detritos, las cuales viajan a gran velocidad. Los flujos deslizantes son resultado del colapso repentino y de gran extensión de una masa de material granular o de detritos que viajan a velocidades rápidas o extremadamente rápidas, como resultado de un efecto perturbador. (Alcántara, 1999, p. 12)

##### a. Avalancha

Estos procesos, considerados como desprendimientos o movimientos complejos en algunas clasificaciones, son muy rápidos, con caída de masas de rocas o derrubios que se desprenden de laderas escarpadas y pueden ir acompañadas de hielo y nieve. Las masas rocosas rompen y pulverizan durante la caída, dando lugar a depósitos con una distribución caótica de bloques, con tamaños muy diversos, sin estructura, prácticamente sin abrasión y con gran porosidad. Las avalanchas son generalmente el resultado de deslizamientos o desprendimientos de gran magnitud que, por lo elevado de la pendiente y la falta de estructura y cohesión de los materiales, descienden a gran velocidad ladera abajo en zonas abruptas, pudiendo superar los 100 km/hora, incluso si las masas están completamente secas, por la disminución de la fricción a que da lugar la presencia de aire entre los materiales y fragmentos rocosos. El agua de precipitación o deshielo, los movimientos sísmicos y las erupciones volcánicas pueden jugar un papel importante en el desencadenamiento de estos procesos. (Vallejo, 2002, p. 629)

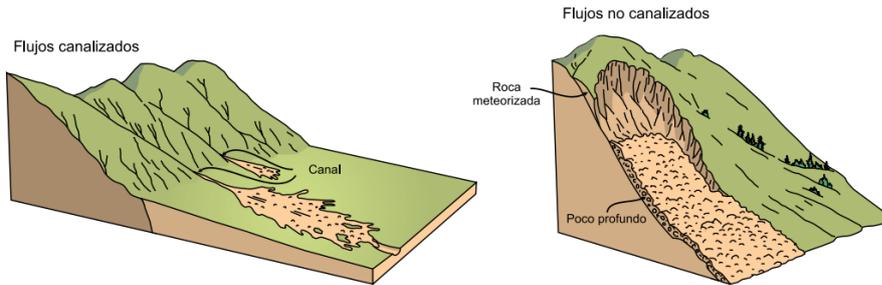


**Figura 20.** Avalanchas de detritos - Estado Vargas, Venezuela, 1999

**Nota:** Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar

### **b. Flujos**

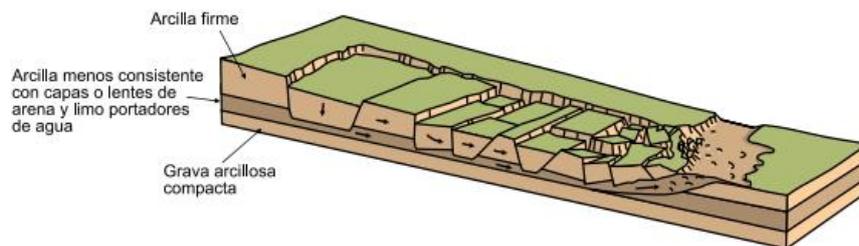
Los flujos son movimientos de una masa desorganizada o mezclada donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tienen que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas. (Corominas, 1989, p. 16)



**Figura 21.** Esquema de flujos canalizados y no canalizados  
**Nota:** Cruden y Varnes (1996).

#### 4.3.1.5. Extensión lateral.

Estos movimientos son resultado de la fracturación y expansión de suelos o masas de roca compactas, debido a la licuefacción o fluidización del material subyacente, ocurren cuando materiales gruesos, como fragmentos de rocas, grava, etc., están inmersos en una matriz de material más fino o contienen arcillas. La superficie de cizallamiento no está bien definida, la masa involucrada se mueve rápida y retrogresivamente, y puede tener una duración hasta de algunos minutos. (Alcántara, 2000, p. 12)



**Figura 22.** Esquema de expansiones laterales  
**Nota:** Varnes (1978)

### 4.4. Inventarios de movimientos en masa

Un inventario de movimientos en masa comprende un conjunto de datos que puede representar eventos únicos o múltiples. Los mapas a pequeña escala muestran sólo las ubicaciones de movimientos en masa de tierra, mientras que los mapas a gran escala pueden distinguir las fuentes de movimientos en masa de los depósitos, clasificar los diferentes tipos de deslizamientos de tierra y mostrar otros datos pertinentes. (Beltrán L, 2019, p. 26)

La información contenida en el desarrollo del inventario de movimientos en masa y su representación estarán en función de la escala y del nivel de detalle de la cartografía y del tamaño de las inestabilidades (Beltrán L, 2019, p. 27).

#### 4.4.1 Mapa de inventario de movimientos en masa.

Un mapa de inventarios generalmente considera particularidades que relacionan deslizamientos, hundimientos y reptación es decir movimientos gravitacionales de masa.



Para dar desarrollo al mapa de inventario de movimientos en masa se tiene que tener en cuenta diversas variables que son base para su emplazamiento. Variables en las que intervienen aspectos como:

- La topografía de la zona de estudio
- Una base geológica del sector.
- Vegetación
- Geomorfología

#### ***4.4.2 Metodologías empleadas para un inventario de movimientos en masa***

En el trabajo de grado realizado por Beltrán L, (2019), aclara los diferentes métodos establecidos por Guzzetti, (2012) dado que en la actualidad el propósito del inventario a desarrollar estará sujeto a la selección de una técnica u otra, para lo cual intervendrán algunas características de la zona de estudio, la escala, experiencia de los intérpretes, características de imágenes disponibles y demás recursos disponibles. Es posible utilizar una combinación de dos o más técnicas para realizar un mapa de inventarios. (p. 28)

- Levantamiento geomorfológico de campo
- Levantamiento mediante interpretación visual
- Levantamiento semiautomático

#### ***4.4.3 Tipos de inventarios de movimientos en masa***

De acuerdo al tipo de mapeo, los mapas de inventario de movimientos en masa de tierra pueden clasificarse como inventarios de archivo o inventarios geomorfológicos.

##### **4.4.3.1. Inventario de archivo.**

Muestra información sobre movimientos en masa de tierra de información obtenida de literatura, u otro tipo de reportes, bases de datos de movimientos en masa y demás fuentes posibles de información. (Malamud et al., 2004)

##### **4.4.3.2. Inventarios geomorfológicos.**

Están basados en pruebas o rasgos geomorfológicos verificados tanto en el trabajo de campo como a través de la interpretación visual y procesamiento digital de imágenes, estos se dividen en:

##### **- Inventarios históricos**

Los cuales muestran los efectos acumulativos de una variedad de eventos de movimientos en masa de tierra durante un período de decenas, cientos o miles de años.

##### **- Inventario de eventos**



Aquellos que muestra movimientos en masa de tierra causados por un solo desencadenante, como un terremoto, evento de lluvia, o evento de deshielo.

**- Inventarios estacionales o multitemporales**

Estos inventarios muestran los movimientos en masa de tierra provocados por eventos únicos o múltiples durante una sola temporada, o algunas temporadas, mientras que los inventarios multitemporales muestran movimientos en masa de tierra provocados por múltiples eventos durante períodos más largo. (Beltrán L, 2019, p 29)

Por otro lado, los inventarios de movimientos en masa se pueden clasificar según su escala (Galli, Ardizzone, Cardinali, Guzzetti, & Reichenbach, 2008): Pequeña escala: Son inventarios sinópticos (1:25.000) Se realizan usualmente en un área delimitada usando tanto la interpretación de fotografías aéreas, mayores escalas 1:20.000 como imágenes satelitales de alta resolución o modelos digitales de terreno y extensas investigaciones de campo.

**Tabla 5.** Factores Considerados en un Mapa de Inventario de movimientos en masa

<b>Mapa de Inventarios</b>	Identificación de Campo	Indicios
		Procesos
		Áreas de Afectación
	Localización de Procesos	Ubicación
		Naturaleza/Constitución/ Topología de Riesgo
		Zonas/Anteriores, Actuales

**Nota:** Elaborado por Cajamarca R. (2022)

## 5. Metodología

### 5.1. Área de estudio

En el desarrollo del proyecto es necesario la consideración de aspectos generales, que caracterizan a la zona específica de estudio y dan una mayor interpretación del lugar, en este caso se destacan a continuación:

#### 5.1.1 Ubicación

Geográficamente la provincia del Oro se encuentra ubicada al Sur del Ecuador, comprendiendo los cantones de: Machala, Arenillas, Atahualpa, Balsas, Chilla, El Guabo, Huaquillas, Marcabelí, Pasaje, Piñas, Portovelo, Santa Rosa, Zaruma y Las Lajas.

El cantón Balsas, se encuentra ubicado en la parte Sur de la provincia del Oro, contando con una parroquia, (Bellamaría), territorialmente es comprendido con una extensión de 6883.23 ha con un rango altitudinal entre 400 msnm -1400 msnm. Limitándose al Norte con el cantón Piñas, al Sur con la Provincia de Loja (Río Puyango), al Este cantón Piñas, al Oeste Cantón Marcabelí (PDOT de Balsas, 2019).

El área de estudio se encuentra ubicado en la parte Sur-Este del cantón Balsas, abarcando parte del área urbana y la parte rural del cantón, siendo un tramo de aproximadamente 9 km a lo largo de la vía Panamericana que une las Provincias del Oro y Loja, con un margen lateral de 300 m, a cada lado de la misma.

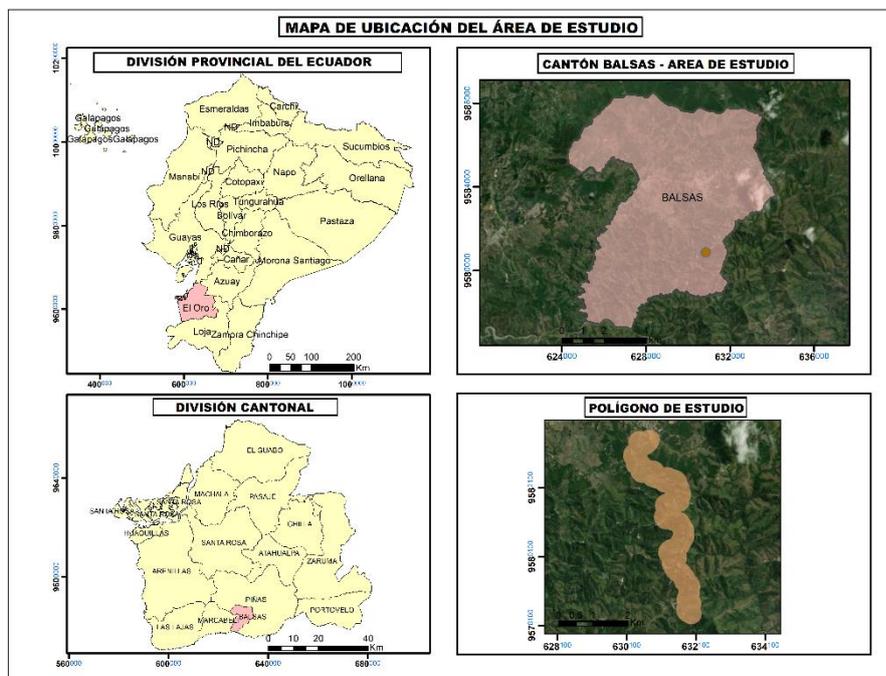


Figura 23. Mapa de ubicación del área de estudio

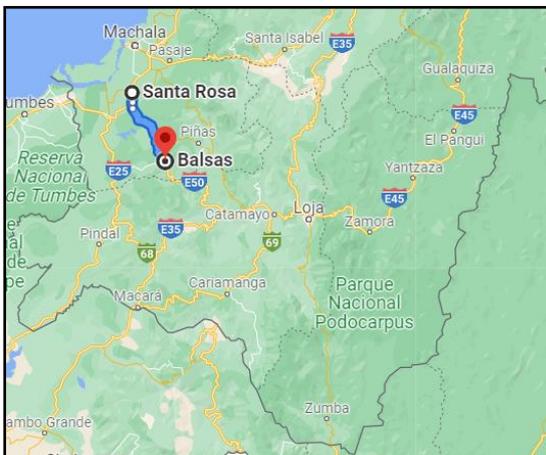
Nota: Cajamarca R. 2022

### 5.1.2 Acceso

El acceso principal a la zona de estudio se lo puede hacer por dos vías: terrestre y aérea. Por vía aérea se parte desde el aeropuerto Internacional Mariscal Sucre (Quito) hasta la ciudad de Santa Rosa y luego por vía terrestre hasta la ciudad de Balsas (aprox. 50 km); (Ver Figura 24).

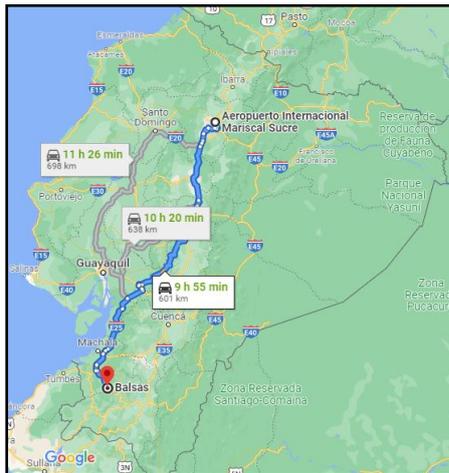


**Figura 24.** Acceso por vía aérea desde la ciudad de Quito a la ciudad de Santa Rosa  
**Nota:** Google Maps 2022



**Figura 25.** Acceso por vía terrestre desde la ciudad de Santa Rosa hasta el cantón Balsas  
**Nota:** Google Maps 2022

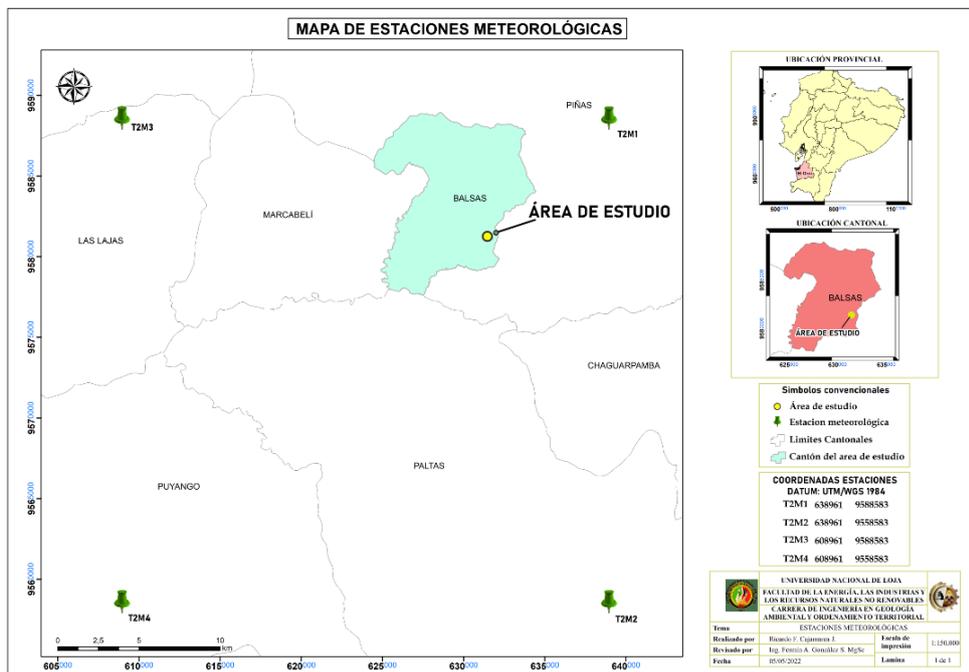
Por vía terrestre el acceso desde la ciudad de Quito, al área de estudio, recorriendo 583 Km, con un tiempo aproximado de 10:30 h, tomando el trayecto comprendido por la Troncal de la Costa (E25), hasta la ciudad de Santa Rosa y tomando la vía Transversal Sur (E50), directamente hasta el centro del cantón Balsas, siguiendo una distancia aproximada de 200 metros, por la misma vía (E50) hasta el área de estudio. (Ver Figura 26)



**Figura 26.** Acceso a la ciudad de Balsas por vía terrestre desde la ciudad de Quito  
**Nota:** Google Maps 2022

### 5.1.3 Clima

Los datos meteorológicos para el análisis del clima, fueron obtenidos a través del portal Power data Access viewer del programa de investigación en ciencias de la tierra por el modelo de asimilación MERRA – 2, de las estaciones más próximas al área de estudio. (ver Figura 27)



**Figura 27.** Estaciones meteorológicas.  
**Nota:** Power data Access viewer (2022)

**Tabla 6.** Ubicación de estaciones meteorológicas

Estación	Datum	Este (X)	Norte (Y)
T2M1	UTM/WGS 84	638961	9588583
T2M2	UTM/WGS 84	638961	9558583
T2M3	UTM/WGS 84	608961	9588583
T2M4	UTM/WGS 84	608961	9558583

**Nota:** Cajamarca R. (2022)



La Organización Meteorológica Mundial (OMM), define el clima como “el conjunto de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados del tiempo en una porción determinada de espacio”

De tal forma el clima se determina por el análisis espacio - tiempo de los elementos que lo definen, es así que es necesario disponer de informaciones históricas del comportamiento de los eventos a analizar.

Para el análisis climático en la zona de estudio se siguió la clasificación metodológica del “Modelo Climático de Caldas- Lang” (1962).

En referencia a una clasificación con respecto a la temperatura definida en variación de acuerdo a Pisos térmicos entre cálido, templado, frío, Paramo.

**Tabla 7.** Límites de temperatura expuestos por Caldas

<b>RESUMEN DEL MODELO CLIMATOLOGICO DE CALDAS</b>		
<b>Piso Térmico</b>	Temperatura en °C	Rango próximo de altura en m
<b>Cálido</b>	$T \geq 24$	0 a 1000
<b>Templado</b>	$24 > T \geq 17.5$	1001 a 2000
<b>Frio</b>	$17.5 > T \geq 12$	2001 a 3000
<b>Paramo</b>	Alto $12 \geq T \geq 7$	3200 a 3700

**Nota:** Castañeda P (2014) Elaborado Cajamarca R.

- **Piso Térmico Cálido:** localizado entre 0 y 1.000 m, con valores superiores a 24°C y un margen de altitud en el límite superior hasta 400 m, según sea las características locales.
- **Piso Térmico Templado:** Comprende altitudes situadas entre 1.000 y 2.000 m, con temperaturas mayores o iguales a 17,5°C y con un margen de amplitud en sus límites superiores e inferior de 500 m.
- **Piso Térmico Frio:** se localiza entre 2.000 y 3.000 m de altitud, con temperaturas no inferiores a 12°C y un margen en sus límites altitudinales superior e inferior de 400 m.
- **Piso Térmico Paramuno:** corresponde a las áreas situadas sobre los 3.000 m de altitud y bajo el límite de las nieves perpetuas. Con el propósito de detallar más las condiciones climáticas se subdivide en dos zonas de paramo: Paramo Bajo, de mayor temperatura, con altitud que oscila entre 3.200 y 3.700 m y que se caracteriza por estar en el intervalo de los 7 a los 12°C. Paramo Alto, de los 3.700 m a los 4.200, aproximadamente.



La clasificación climática de acuerdo a Richard Land se encuentra basada en la relación obtenida al dividir entre la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media (T, en °C) este cociente se denomina Índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang.

**Tabla 8.** Clases de clima según Lang

<b>COCIENTE P/T</b>	<b>CLASE DE CLIMA</b>
0 a 20.0	Desértico
20.1 a 40.0	Árido
40.1 a 60.0	Semiárido
60.1 a 100.0	Semihúmedo
100.1 a 160.0	Húmedo
Mayor a 160.0	Superhúmedo

**Nota:** Castañeda P (2014) Elaborado Cajamarca R.

En determinación con la unificación de los modelos climáticos y las clases de clima se obtendrá el tipo de clima del área de estudio con respecto a la clasificación de Caldas – Lang (1962).

**Tabla 9.** Tipos Climáticos Caldas - Lang

<b>Tipos de Clima Según Caldas - Lang</b>	<b>Nro</b>	<b>Tipo climático</b>	<b>Símbolo</b>
	1	Cálido Superhumedo	CSH
	2	Cálido Húmedo	CH
	3	Cálido Semihúmedo	Csh
	4	Cálido Semiárido	Csa
	5	Cálido Árido	CA
	6	Cálido Desértico	CD
	7	Templado Superhumedo	TSH
	8	Templado Húmedo	TH
	9	Templado Semihúmedo	Tsh
	10	Templado Semiárido	Tsa
	11	Templado Árido	TA
	12	Templado Desértico	TD
	13	Frio Superhumedo	FSH
	14	Frio Húmedo	FH
	15	Frio Semihúmedo	Fsh
	16	Frio Semiárido	Fsa
	17	Frio Árido	FA
	18	Frio Desértico	FD
	19	Paramo Bajo Superhumedo	PBSH
	20	Paramo Bajo Húmedo	PBH
	21	Paramo Bajo Semihúmedo	PBsh
	22	Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
	23	Paramo Alto Superhumedo	PASH
	24	Paramo Alto Húmedo	PBH
25	Nieves Perpetuas	NP	

**Nota:** Castañeda P (2014) Elaborado Cajamarca R.



### 5.1.3.1. Isoyetas

El proceso metodológico desarrollado conlleva una secuencia de acciones que se detallan a continuación:

- Se tomó como referencia las estaciones por parte de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio a través del programa de investigación en ciencias de la tierra, Basados los parámetros meteorológicos en el modelo de asimilación MERRA – 2 el cual proporciona datos a partir de 1980, que para el presente proyecto se tomó un rango de 20 años desde el 2000 al 2020.
- Obtenidos los datos de precipitación, ordenados y promediados en el software Excel 2019 guardado en versión (97 – 2003), con el uso del Software Argis 10.5 se carga los datos y se transforma las coordenadas geográficas, a coordenadas UTM bajo el geoprocesamiento (Convert Coordinate Notación) obteniendo el shape de los puntos de Estaciones.
- El método de interpolación considerado fue el Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW) la ponderación, al tener un factor cuadrático, recibe una influencia bastante fuerte del monto pluvial de las estaciones más cercanas y al considerar una serie o variedad de puntos de estimación, puede formar concentraciones concéntricas de los montos estimados en torno a las estaciones. Siendo necesario la información exacta de los puntos de medición, además de la información pluvial.
- La secuencia de procesos en el Software Argis 10.5 fue: Convert Coordinate Notación, Spatial analyst Tools – Interpolation – IDW, Spatial analyst Tools – Extraction – Extract by mask, Spatial analyst Tools – Reclass – Reclassify.

### 5.1.3.2. Isotermas

El proceso metodológico desarrollado conlleva una secuencia de acciones que se detallan a continuación:

- Se tomó como referencia las estaciones por parte de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio a través del programa de investigación en ciencias de la tierra, Basados los parámetros meteorológicos en el modelo de asimilación MERRA – 2 el cual proporciona datos a partir de 1980, que para el presente proyecto se tomó un rango de 20 años desde el 2000 al 2020.
- una vez los datos de Temperatura ordenados y promediados en el software Excel 2019 guardado en versión (97 – 2003), con el uso del Software Argis 10.5 se lleva los datos y se transforma las coordenadas geográficas, a coordenadas UTM bajo el



- geoprocesamiento (Convert Coordinate Notación) obteniendo el shape de los puntos de Estaciones.
- El método de interpolación considerado fue el Método del Inverso de la Distancia al Cuadrado (IDW) la ponderación, al tener un factor cuadrático, recibe una influencia bastante fuerte del monto pluvial de las estaciones más cercanas y al considerar una serie o variedad de puntos de estimación, puede formar concentraciones concéntricas de los montos estimados en torno a las estaciones. Siendo necesario la información exacta de los puntos de medición, además de la información pluvial.
  - La secuencia de procesos en el Software Argis 10.5 sería: Convert Coordinate Notación, Spacial analyst Tools – Interpolation – IDW, Spacial analyst Tools – Extraction – Extract by mask, Spacial analyst Tools – Reclas – Reclassify.

#### **5.1.4 Red Hidrográfica**

La red hidrográfica de la zona de estudio se realizó de acuerdo la entidad rectora de los recursos hídricos en el Ecuador SENAGUA, en base a la memoria del plan nacional de los recursos hídricos cuencas y microcuencas hidrográficas del Ecuador, de acuerdo al apartado Sistema Fluvial, especificando que SENAGUA mediante la Resolución 2011–245 aprobó la metodología Pfafstetter para la codificación y división de las unidades hidrográficas, misma que será aplicada en el presente proyecto, esta se detalla a continuación:

#### **Sistema de Codificación PFAFSTETTER.**

Es una metodología para asignar identificadores (ID) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asignando ids a una unidad hidrográfica para relacionarla con las unidades hidrográficas que contiene.

- **Características Principales**
  - El sistema es jerárquico y las unidades son delimitadas desde las uniones de los ríos (punto de confluencia de ríos) o desde el punto de desembocadura de un sistema de drenaje en el océano
  - A cada unidad hidrográfica se le asigna un código numérico, basado en su ubicación dentro del sistema de drenaje.
  - Este método hace un uso mínimo de dígitos en los códigos, tal es así que el número de dígitos del código representa a su vez el nivel de la unidad hidrográfica codificada.



- El código de la unidad hidrográfica provee información importante tales como el tipo de unidad de drenaje, nivel de codificación y ubicación al interior de la unidad que lo contiene.

#### - **Tipos de Unidades Hidrográficas**

El Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter considera tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas.

**Cuenca**: es una unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

**Intercuenas**: es una unidad de drenaje que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo.

**Cuenca Interna**: es un área de drenaje que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua

#### - **Proceso de Codificación**

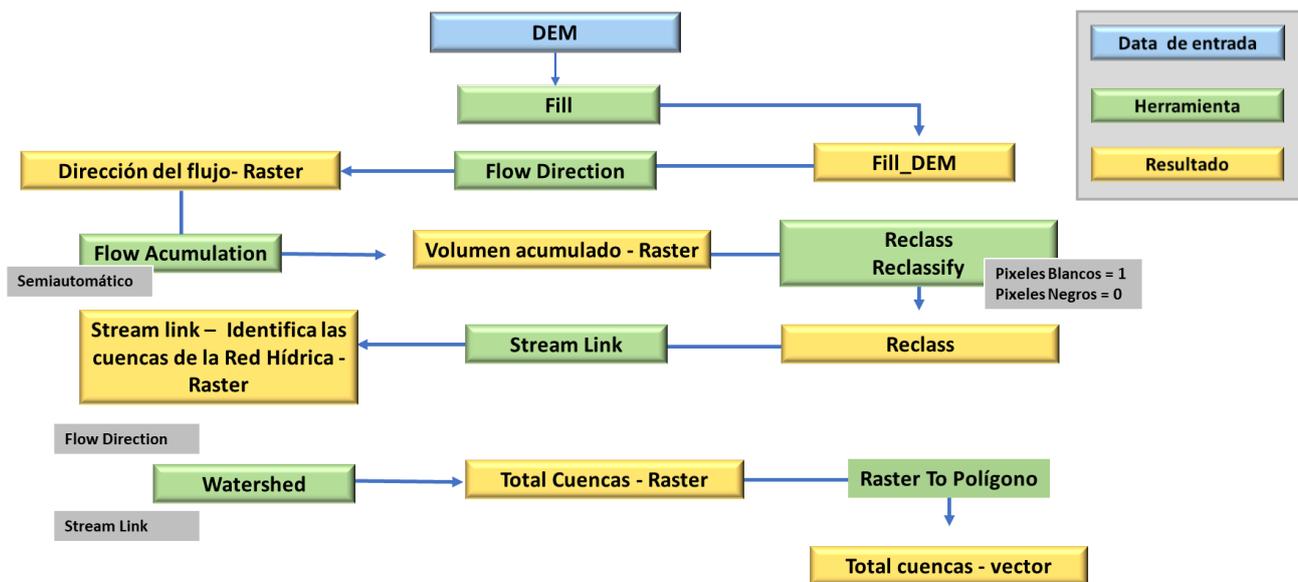
Mediante el software ArcGis 10.5 teniendo en cuenta el proceso metodológico que se detalla a continuación:

1. Para iniciar el proceso de codificación se debe en principio determinar el curso del río principal de la unidad que se va codificar. Una vez determinado el curso del río principal, se determinan las cuatro unidades hidrográficas de tipo cuenca, que son las cuatro unidades de mayor área que confluyen al río principal.
2. Las cuatro unidades tipo cuenca se codifican con los dígitos pares 2, 4, 6 y 8, desde aguas abajo hacia aguas arriba; es decir, desde la desembocadura hacia la naciente del río principal.
3. Las otras áreas de drenaje se agrupan en unidades hidrográficas de tipo intercuenas, y se codifican, también desde aguas abajo (desde la confluencia) hacia aguas arriba, con los dígitos impares 1, 3, 5, 7 y 9.
4. Por la metodología de delimitación y codificación de las unidades hidrográficas, el código 9 siempre resulta o se reserva para la unidad de drenaje de mayor tamaño de la

parte superior de la cuenca o cabecera de cuenca la misma que generalmente contiene el origen del río cuya unidad de drenaje se está codificando.

### - Geoprocesamientos

1. Se hizo uso como data de entrada en el software Argis 10.5 el Modelo de Elevación Digital (DEM) del cantón Balsas concedido por el Sig Tierras de una resolución de 4m/Pixel.
2. Se realizó la secuencia de geoprocesamientos que nos dan la dirección de flujo, en referencia a la clasificación y codificación de Fassetter de acuerdo al orden de las corrientes, reflejando el grado de ramificación o bifurcación. (ver Figura 28).
3. Finalmente se obtuvo el mosaico de información que se representa en el mapa de la Red Hídrica que incide a la zona de estudio, referenciado en el sistema de coordenadas, Datum UTM/WGS 84. (ver Figura 35)



**Figura 28.** Model Builder – Red Hidrográfica de la zona de estudio  
**Nota:** Cajamarca. R 2022

### 5.1.5 Sísmica

Para determinar los niveles de amenaza sísmica en la que se encuentra el área de estudio se tomó como referencia en base al último informe (2020) del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, la zonificación sísmica elaborada que ha sido monitoreada con 500 estaciones de vigilancia de registro de información.

De acuerdo al mapa de nivel de amenazas por cantón, Los cantones fueron categorizados en una escala en función de la probabilidad, peligrosidad y extensión de cada



uno de los peligros a los que están expuestos. Los valores de cada amenaza que varían de 0 a 3 ó de 0 a 2 fueron sumados para determinar un grado o nivel final de exposición de los cantones a peligros de origen natural.

En análisis al mapa “Amenaza sísmica del Ecuador” se observa que el mismo contiene cuatro zonas, este factor varía de 0.15 (zona I de menor peligro) a 0.40 (zona IV de mayor peligro). La zonificación ha sido definida a partir de la aceleración máxima efectiva en roca, la aceleración está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. (Ver Figura 36)

**Tabla 10.** Zonas de peligro sísmico

<b>Peligro Sísmico</b>	<b>Valor</b>
Zona IV	3
Zona III	2
Zona II	1
Zona I	0
<b>Máximo</b>	3
<b>Mínimo</b>	0

**Nota:** IG de la Escuela Politécnica Nacional

### 5.1.6 Geomorfología

El análisis geomorfológico de la zona de estudio fue realizado a partir de la información solicitada al Geoportal del SigTierras. En donde en su desarrollo ha sido tomado en cuenta aspectos de:

#### **Insumos básicos:**

- **MDT:** Modelos digital de Terreno que representa las características de la superficie de la zona de estudio, con una resolución 4m/ pixel
- **Ortofotos:** Producto cartográfico del tratamiento digital de fotografías aéreas, mismas que cuentan con una resolución de 0,4m / pixel.

#### **Insumos Complementarios:**

- **Cartografía geológica:** esta muestra la sobre la superficie del terreno de los diferentes tipos de rocas, agrupadas de acuerdo a sus características litológicas, edad, relación geométrica.
- **Mapa de Sobras:** Elaborados a partir de los modelos digital de elevación, y el modelo hillshade de ArcMap.



- **Red de drenaje:** Generada a partir de los MDT, a través de los geoprosesamientos wathershade. Mediante la codificación estándar recomendada por Senagua, con la metodología de Pfafstetter
- **Mapa de Pendientes:** Información generada a partir del modelo de elevación digital de terreno con una resolución de 4m/pixel concedido por el Sigtierras.
- **Mapa Topográfico:** El cual sirve de referencia para la comprensión del relieve y sus formas más características, además de proporcionar la información básica sobre la toponimia, pudiendo en este delimitar desniveles relativos, longitudes de vertientes, pendientes.
- **Fotointerpretación:** Consistiendo en subdividir el territorio estudiado, en unidades geomorfológicas, entendidas con fracciones del área inidentificable respecto a las de su entorno inmediato presentando características homogéneas en cuanto a su génesis, morfología, morfometría y materiales constitutivos. (Ver Figura 38)

### 5.1.7 Geología Regional

El área de estudio, tramo vial Balsas - Tinajas se encuentra influenciado regionalmente por las siguientes unidades geológicas, de acuerdo a la hoja geológica de Zaruma (1980 y 2017), mapa del complejo metamórfico el Oro (1992) y el Proyecto multinacional andino: geociencias para las comunidades andinas Ecuador- Perú -Canadá.

#### DOMINIO AMOTAPE TAHUIN

##### **Plutón de Marcabelí (TrMm):**

De una forma general se define a los cuerpos intrusivos en la hoja geológica dispuesta por la misión Británica y la dirección general de geología y minas, (1980) manifestando que existen varios cuerpos intrusivos de tipo ácido e intermedio, y de dos edades distintas (probablemente Paleozoico Superior y Cretáceo Superior-Terciaria Inferior). El Plutón Marcabelí, el de mayor extensión en la zona, consta de diferentes facies que van desde alaskita, cuarzo diorita y granito.

Específicamente en el mapa del complejo metamórfico el Oro compilado por Aspden. J (1992) y contrastando con la información recopilada de la investigación de campo dada por Pilatasig, Gordon, Palacios & Sánchez (2005) se puntualiza y dispone detalladamente que en base a estudios geoquímicos este tipo de granitoides tienden a ser tipo "S" o de Anatexia Liteherland (1994), corroborado con análisis radiométricos y estableciendo una edad Triásico. Los Granitoides, han sido considerados de composición granodiorítica a tonalítica y ortogneis



Vinasco (2004). Comúnmente estas rocas gnéisicas contienen 2 micas (biotita y muscovita) constituidas por un grano grueso.

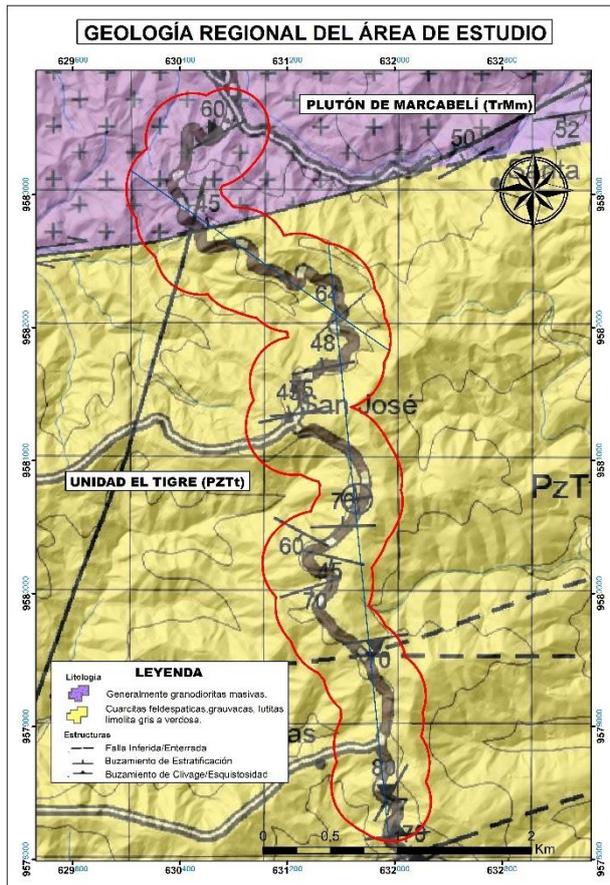
En la parte Ecuatorial las rocas de este periodo son incluidas en el Complejo Moromoro al igual que el plutón del Padro y la Florida.

### **Unidad El Tigre (PZTt)**

La unidad El Tigre al ser parte del dominio Amotape Tahuin se le confiere una edad del Paleozoico de acuerdo a Litherland, (1994) basado en estilos de deformación y características tectónicas que se incluyen en las facies de bajo grado metamórfico (filitas-grauwacas esquistos) en las unidades El Tigre (PZ-t) y La Victoria (PZ-v) respectivamente.

Sumando información a la investigación de Litherland (1994), Feininger (2005) basado en patrones metamórficos, sugiere que los contactos entre las litologías incluidas en las unidades anteriores no son tectónicos, sino más bien un cambio de facies por variación del grado metamórfico, por lo tanto, las rocas de las litologías de la unidad el Tigre corresponde a las rocas de bajo grado metamórfico y la Victoria representan las facies de alto grado metamórfico

Su representación se expresa en el mapa geológico regional de la zona de estudio, el cual abarca parte de la hoja geológica de Zaruma (2017) y se identifica sobre las 488 ha que abarca el polígono de estudio, haciendo especial énfasis sobre las unidades geológicas que son parte del presente proyecto. (Ver Figura 29).



**Figura 29.** Mapa de Geología Regional  
**Nota:** Cajamarca R. 2022

## 5.2. Métodos

En el desarrollo del presente levantamiento geológico estructural se tomó en consideración dos métodos de investigación, que se divide en dos fases, la cual integra una parte experimental y no experimental (campo y gabinete). Empezando con el trabajo de gabinete (no experimental), con la recolección y observación de libros, artículos, tesis, mapas, que enriquecen de información al proyecto. La parte experimental conlleva el levantamiento in situ para determinar las relaciones de las variables dadas en la primera fase. En campo se tomó en cuenta el método mapeo de contactos y mapeo de afloramientos, para generar la cartografía geológica del sector.

## 5.3. Procedimiento

Para el desarrollo y cumplimiento del trabajo de investigación, se definió un procedimiento en específico, adecuado hacia cada una de las variables que contempla el proyecto de investigación.

La metodología adaptada en la elaboración del presente proyecto se sintetiza en los siguientes pasos:

### 5.3.1 Metodología para el primer objetivo

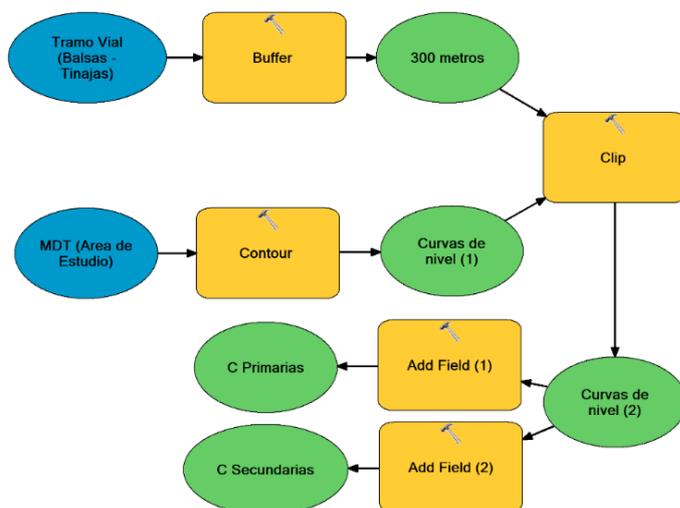
“Determinar y caracterizar las unidades litológicas y estructuras geológicas a detalle del área de estudio.”

- **Generación de la Topografía del área de estudio.**

#### Fase Oficina

Para determinar la topografía, se solicitó información en el Geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en donde se descargaron los MDT con un tamaño de píxel de 4m/píxel, y las ortofotos con código (NVI-E1d-B1.tif, NVI-E1d-B3.tif, NVI-E1d-B4.tif, NVI-E1d-E1.tif, NVI-E1d-E2.tif, NVI-E1d-E3.tif, NVI-E1d-E4.tif) con una resolución espacial 0.4 m/píxel y una precisión altimétrica de 1.5 m, desarrollados a través del proyecto emblemático para la “Toma de Fotografía Aérea Digital y Elaboración de Ortofotografías 1:5000 a nivel nacional”, año 2016.

Una vez obtenidas las curvas del área de estudio, se tiene como resultado el mapa topográfico con curvas de nivel que se representan cada 20 m, las principales y 4 m, las secundarias, el área de estudio comprende desde el eje de la vía, 300 m, a cada lateral, su desarrollo se expresa en el siguiente esquema.



**Figura 30.** Diagrama de elaboración del Mapa Topográfico

Nota: Cajamarca R. (2022).

- **Levantamiento de las unidades litológicas y estructuras geológicas**

El levantamiento de las unidades litológicas y estructuras geológicas del área de estudio se realizó con la ayuda de materiales básicos de campo como lo es el martillo geológico, libreta de campo, fichas de descripción geológica, brújula Brunton, lupa geológica, Gps, siguiendo la secuencia de acciones que se detallan a continuación:



1. Recolectar y seleccionar información geológica, cartográfica y fotografías aéreas en trabajos o investigaciones existentes, con la intención de tener una idea anticipada sobre la litología y geología estructural.
2. Trabajo de fotointerpretación previa, bajo las ortofotos tomadas del SIGTIERRAS (NVI-E1d-B1.tif, NVI-E1d-B3.tif, NVI-E1d-B4.tif, NVI-E1d-E1.tif, NVI-E1d-E2.tif, NVI-E1d-E3.tif, NVI-E1d-E4.tif) a escala 1:5000 a escala nacional. donde se preparó la logística para el trabajo de campo, además con el despliegue de la topografía y un recorrido previo para el reconocimiento del área de estudio, se pudo determinar diversos aspectos en la zona, y rasgos geológico - estructurales, elaborando un mapa borrador que contenga toda la información disponible encontrada y facilite el trabajo en campo. El análisis mediante fotointerpretación se realizó en base a las Ortofotos con resolución de 0,40 m/pixel y Modelo Digital del Terreno (DEM) con resolución 4 m/pixel del área de estudio, información que fue solicitada al Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través del programa Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS). Reconocida y delimitada el área de estudio se empezó por analizar aspectos de:

**Vegetación:** Mediante la variabilidad de especies de vegetación, la cual se encuentra condicionada por el tipo de roca presente en el sector.

**Drenaje:** En este caso el conjunto de ríos, quebradas y vaguadas en el terreno que nos ayudaron a la determinación y deducción de los factores litológicos propios del sector.

3. Realización de un mapeo detallado del terreno, considerando el mapeo de contactos y mapeo de afloramientos; siendo este el levantamiento de todos los afloramientos de la zona de estudio, la metodología de acuerdo a la escala de trabajo, comprende el levantamiento de información en un mallado de cada 100 x 100 m que se tendrá en cuenta en campo, para la toma de muestras se ha utilizado fichas descriptivas (Anexo 1), en las que se representan las características más importantes de estos, además de los elementos estructurales (rumbo y buzamiento), mediante la utilización de la brújula y cinta.
4. Finalmente se extrajo diversas muestras de rocas, el número de estas, se condiciona en relación a los cambios litológicos del sector, para su desarrollo se consideró el siguiente protocolo de recolección:
  - a. Ubicación del lugar en el que se extraerá la muestra.
  - b. Recolección de la muestra en bolsas herméticas, con su respectiva etiqueta.



c. Transporte, adecuado evitando la alteración de la muestra.

Procedimiento que se ejecutó con la finalidad de analizarlas a nivel macroscópico en campo y laboratorio.

- **Fase de descripción de muestras**

Para la descripción macroscópica de las muestras de roca recolectadas en campo, se elaboró una ficha utilizada por el INIGEMM, bajo la memoria técnica denominada “Manual y herramientas (Fichas e instructivos) para la normalización de descripción de muestras petrográficas macroscópica y microscópica de rocas” la cual ha sido modificada en función de la valoración de la presente investigación. (Anexo 5).

Finalizada la fase de descripción de las muestras, se obtuvo la información geológica de los diferentes puntos del área de estudio.

5.3.2 **Metodología para el segundo Objetivo.**

*“Elaborar un inventario de los fenómenos de remoción en masa que se encuentren en la vía Panamericana, tramo Balsas – Tinajas”*

- **Fase de oficina**

En gabinete se procedió a realizar un análisis que comprende:

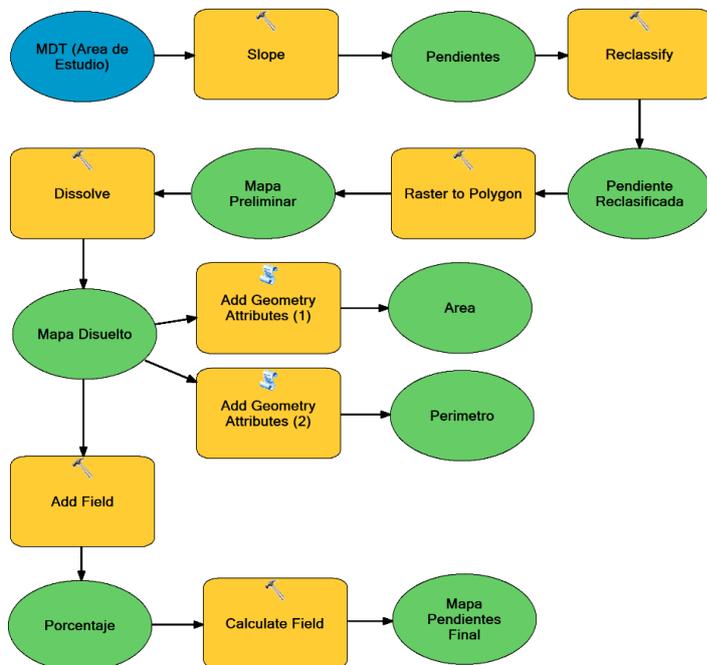
1. **Fotointerpretación:** La cual se realizó de acuerdo al mosaico de ortofotos de 0.4 m/pixel, y el Modelo Digital de Elevación de 4 m/pixel del área de estudio obtenidos mediante el SigTierras, trabajo que consistió en localizar las principales zonas con características de movimientos en masa, identificables mediante la ausencia repentina de la vegetación y en contraste con la inclinación de las pendientes, delimitando polígonos de afectación de los movimientos en masa.
2. **Análisis de pendientes:** Con la finalidad de interpretar las zonas con mayor pendiente que generalmente son las más propensas ante un proceso de remoción en masa. Para el análisis del mapa de pendientes se utilizó la clasificación propuesta por Demek 1972 (ver Tabla 11). Este mismo refleja la inclinación de los terrenos dentro de una distancia y elevación considerable y que se asocia a otros factores como la litología, la topografía y las condiciones ambientales propias del sector.

**Tabla 11.** Clasificación Demek 1972

Color	Clase	Rango
	Ligeramente Inclinado	0° - 5°
	Fuertemente Inclinado	5° - 15°
	Muy Inclinado	15° - 35°
	Empinado	35° - 55°
	Vertical	>55°

**Nota:** Demek 1972. Elaborado: Cajamarca R. (2022).

El mapa de pendientes del área de estudio se realizó en el software ArcGIS 10.5, de la siguiente forma: ArcToolbox, Spatial Analysis Tools, Surface, Slope, en donde se ingresa el DEM del área de estudio, obteniendo así el mapa de pendientes con sistema de referencia UTM/WGS84. (ver Figura 31)



**Figura 31.** Diagrama de elaboración para Mapa de Pendientes  
**Fuente:** Cajamarca R. (2022).

- **Fase de campo**

- a. En campo se levantó y corroboró la información obtenida de la fase de oficina realizada en la fotointerpretación a través de la visita in situ.
- b. Se hizo uso del “Formato para Inventario de Movimientos en Masa” (Ver Anexo 3) utilizado por el proyecto multinacional Andino; geociencias para las comunidades Andinas, formato que fue modificado por el autor de este proyecto, haciendo énfasis en los parámetros que contemplan las características más relevantes de los movimientos, detalladas a continuación:
  - **Datos generales:** En los que integra su ubicación cantonal, parroquial, sector, así como las coordenadas en DATUM: UTM WGS84, además de un código de referencia.
  - **Tipos de movimiento:** En el que se dio el desarrollo del movimiento pudiendo clasificarse entre caída, deslizamiento rotacional, deslizamiento rotacional, flujo, reptación.



Deslizamientos rotacionales: La superficie de la ruptura se curva cóncava hacia arriba y el movimiento de deslizamiento toma un traslado más o menos rotativo en torno a un eje que es paralelo a la superficie del suelo (Alcántara, 2000, p. 16) En campo su reconocimiento se realizó, identificando in situ, el tipo de deslizamiento en los bordes del mismo, reconociendo si estos se flexionan en forma de “cuchara” formando un ángulo cóncavo, se lo designa como deslizamientos rotacionales. Apoyado con la revisión de la parte bibliográfica, específicamente con la guía de movimientos en masa de la región Andina.

Deslizamiento Traslacional: La masa de deslizamiento se mueve a lo largo de una superficie aproximadamente plana con poca rotación o inclinación hacia atrás. La masa en movimiento consiste en una sola unidad o unas pocas unidades estrechamente relacionadas que se mueven cuesta abajo como una masa relativamente coherente. (Alcántara, 1999 p. 09)

En campo su reconocimiento se realizó observando su superficie de rotura, o superficie de falla que se desarrolla en una forma planar sin concavidad o existiendo poca ondulación, además de observarse que no exista rotación o volteo en los materiales, sino más bien un movimiento en forma laminar a lo largo del plano de falla. Apoyado con la revisión de la parte bibliográfica, específicamente con la guía de movimientos en masa de la región Andina.

- **Estilo:** De acuerdo al comportamiento del movimiento, distinguiéndose entre compuesto, único, complejo, sucesivo, múltiple.
  - **Deformación del terreno:** Producto del movimiento dado, diferenciándose entre ondulado, escalonado u otro y considerando su severidad de leve, media a baja
  - **Cobertura vegetal:** Tipo de cobertura que abarca la zona de movimiento sobre el mismo, y sus alrededores.
  - **Morfometría:** Parámetros dimensionales que proporcionan la información de extensión entre ancho y longitud, dirección y pendiente de ladera entre otros, que ayudan a la esquematizar el área que abarca el movimiento en masa.
  - **Descripción litológica:** En el que se detalla los materiales encontrados sobre el movimiento.
- c. Finalmente, se obtuvo un inventario desarrollado en Microsoft Excel versión 2019 de los movimientos en masa, que contiene las características de los diferentes tipos de



movimientos y posterior desarrollo de un mapa con información detallada donde se localizaron cada uno de los movimientos de remoción en masa.

### **5.3.3 Metodología para el tercer Objetivo.**

*“Realizar el mapa geológico-estructural de la vía Panamericana, tramo Balsas – Tinajas 1:10000”*

#### **- Fase de Oficina**

Se establece una base de datos completa en Microsoft Excel 2019, que permitió un eficiente acceso a puntos de afloramientos, puntos de muestreo, y datos estructurales de la zona de estudio; para el procesamiento de información, de manera que permitió el traslado claro de datos a Sistemas de Información Geográfica, haciendo uso del software ArcGis 10.5, considerando el siguiente orden:

1. Organización y análisis de la información recolectada en campo, y posterior combinación de datos en un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.5) mediante la aplicación de la guía de ArcGIS que nos da las normas generales del uso de las herramientas del software, elaborada por Collado, J y Navarro J. en 2013.
2. Representación de la litología en polígonos, estructuras geológicas, y topografía, determinadas en los objetivos anteriores, procediendo a la elaboración del mapa geológico estructural sobre el área de estudio referenciado en coordenadas UTM/WGS84 Zona 17S.
3. Elaboración de perfiles geológicos que representan una idea del subsuelo, con los espesores y disposiciones de las capas de material existente, siguiendo la metodología desarrollada en el libro de Matinez J. (1981) la cual nos da las directrices generales desde la elaboración del perfil topográfico, hasta la interpretación geológica de las líneas de corte.
4. Finalmente se obtuvo el mapa geológico estructural a escala 1:10 000 de la vía Balsas – Tinajas referenciado en coordenadas UTM/WGS 84 Zona 17S. El mapa contempla el mosaico de información recolectada en campo y post trabajo de oficina como lo es: litología, estructuras geológicas, contactos geológicos, topografía.

### **5.3.4 Metodología para el cuarto Objetivo.**

*“Realizar el mapa de inventario de fenómenos de remoción en masa que se encuentren afectando al sector de estudio”*



### - *Fase de Oficina*

Este objetivo se desarrolló netamente con trabajo de gabinete, sobre la información obtenida de la base topográfica, levantamiento geológico e inventario de movimientos en masa. La secuencia que se siguió para obtener el mapa de inventario de movimientos en masa es la siguiente:

#### **a. Mapa base**

Para la realización del mapa base como insumos de trabajo se debe tener el mapa topográfico y el mapa de la geología local.

- **Mapa topográfico:** Representará la planimetría y la altimetría de las formas y dimensiones de elementos concretos, fijos y duraderos de una zona de estudio determinada con una superficie de 488 ha.
- **Mapa geológico local:** El cual representa las diferentes Unidades, su litología y sus elementos estructurales, observables en la superficie terrestre. La litología y edad de las rocas se representan codificadas por colores y tramas de forma estandarizada. La simbología indica la inclinación de las capas, y los elementos estructurales.

#### **b. Identificación de los procesos:**

En el momento de identificar los procesos, se reconoce el comportamiento y las áreas afectadas de cada uno de los movimientos en masa, esto se hizo analizando las siguientes características:

- Tipos de movimiento
- Distribución
- Deformación del terreno
- Cobertura vegetal
- Material
- Morfometría
- Descripción litológica.

Se establece una base de datos en Microsoft Excel 2019, la cual almacene la información que se ha obtenido en el trabajo de campo mediante el “Formato para Inventario de Movimientos en Masa” tomando los datos de interés respecto al presente proyecto. Esta nos permitió acceso a puntos de los movimientos en masa y sus características generales.

#### **c. Elaboración de mapa:**



Con la información obtenida, se procedió a emplazar los polígonos de movimientos en masa encontrados, sobre la geología local, y las curvas de nivel, destacando la característica primordial del proceso, como: tipo de movimiento, y área de afectación, resultando así el mapa de inventario de movimientos en masa esc 1:10 000 del área de estudio.



## 6. Resultados

### 6.1. Topografía

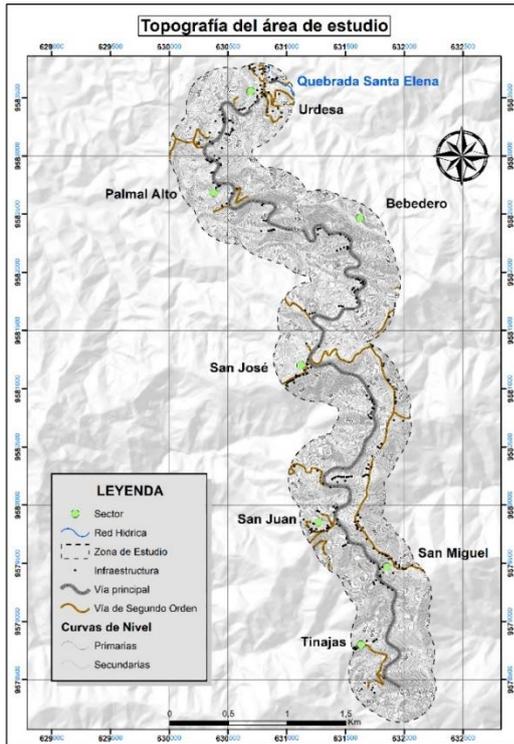
La topografía del área de estudio se la realizó a partir de la información proporcionada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través del programa Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SigTierras), siendo el Modelo Digital de Terreno (MDT) que comprenden la zona de estudio, con códigos (NVI-E1d-B1.tif, NVI-E1d-B3.tif, NVI-E1d-B4.tif, NVI-E1d-E1.tif, NVI-E1d-E2.tif, NVI-E1d-E3.tif, NVI-E1d-E4.tif).

Mediante la utilización del software ArcGIS 10.5, y de acuerdo al proceso metodológico, expuesto en el apartado de procedimiento, “metodología para el primer objetivo” se realizó las respectivas curvas de nivel, cada 4 m, las secundarias y las principales cada 20 m, levantando en polígonos las estructuras, sectores y vías presentes, abarcando un área de 488 Ha.

Identificando que el área de estudio se encuentra dispuesta en un relieve variado con una topografía muy irregular contemplando variaciones en cuanto la elevación, con alturas que van desde (655 - 1140 m s.n.m); propiedad intrínseca del sector que da la característica de poseer pendientes verticales que sobrepasan los 55°, siendo esto para algunos sectores el detonante para que se produzcan movimientos de remoción en masa.

En gran parte del proyecto predominan con mayor frecuencia las curvas de nivel entre (1015, 1020, 1095, 1100, 1110, 1115 m s.n.m) abarcando una fracción de la vía Panamericana desde el sector San José hasta el sector San Miguel, sin embargo, esta predominancia se enmarca al costado derecho (vista al norte) desde el sector El Bebedero, hasta el límite sur del área en estudio.

El cambio continuo de altitud con mayor incidencia se observa desde la ciudadela sector Urdesa abarcando todo el ancho del polígono hasta el sector El Bebedero y empezando a tener una tendencia a la parte izquierda (en vista al norte) comprendiendo la mitad del polígono de estudio desde los sectores San José, San Juan, y Tinajas. (Ver Figura 32)

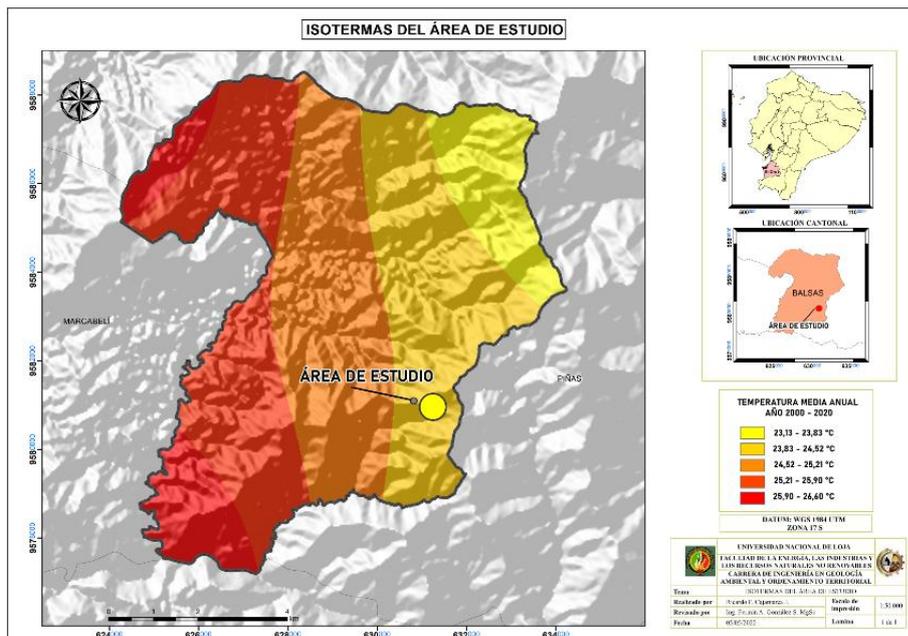


**Figura 32.** Topografía del área de estudio  
 Nota: Cajamarca R. 2022

## 6.2. Clima

### Isotermas

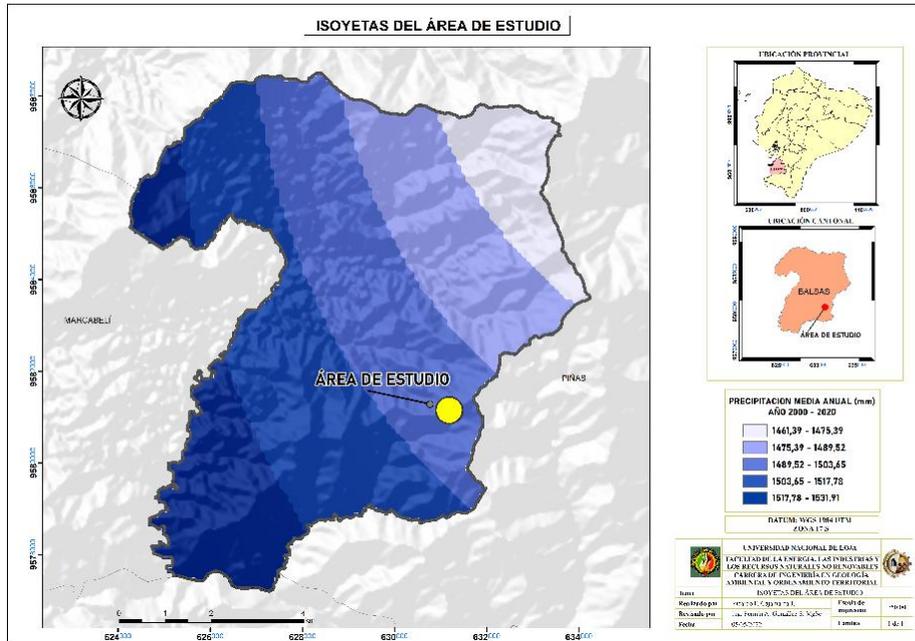
El cantón del área de estudio fluctúa una temperatura media anual entre los 23.13 a 26.60 °C en una dirección de Este a Oeste, específicamente recayendo una temperatura en el área de estudio de 23.83 – 24.52 °C. (Ver Figura 33)



**Figura 33.** Isotermas del área de estudio  
 Nota: Cajamarca R. (2022)

## Isoyetas

De acuerdo a los resultados en el mapa de precipitación (Isoyetas) el área de estudio se encuentra entre los 1461.39 – 1531.91 mm de precipitación media anual, específicamente el área de estudio recae sobre una precipitación entre 1489.52 – 1503.65 mm (Ver Figura 34 )



**Figura 34.** Isoyetas del área de estudio  
 Nota: Cajamarca R. (2022)

Una vez obtenidos los datos meteorológicos, se siguió el modelo climatológico de Lang - Caldas como se enfatizó en el apartado de metodología, identificando que el área de estudio se encuentra en un Piso Térmico “Cálido”.

MODELO CLIMATOLOGICO DE CALDAS		
Piso Térmico	Temperatura en °C	Rango próximo de altura en m
<b>Cálido</b>	$T \geq 24$	0 a 1000
Templado	$24 > T \geq 17.5$	1001 a 2000
Frio	$17.5 > T \geq 12$	2001 a 3000
Paramo Alto	$12 \geq T \geq 7$	3200 a 3700

La clasificación climática de acuerdo a Richard Land se encuentra basada en la relación obtenida al dividir entre la precipitación anual (P, en mm) por la temperatura media (T, en °C) este cociente se denomina Índice de efectividad de la precipitación o facto de lluvia de Lang.

**Precipitación promedio = 1496.585 mm**

**Temperatura Promedio = 24.17 °C**



$$\text{Clasificación climática} = \frac{\text{Precipitación mm}}{\text{Temperatura } ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Clasificación climática} = \frac{1496,585 \text{ mm}}{24,17 ^\circ\text{C}}$$

$$\text{Clasificación climática} = 61,91$$

COCIENTE P/T	CLASE DE CLIMA
0 a 20.0	Desértico
20.1 a 40.0	Árido
40.1 a 60.0	Semiárido
60.1 a 100.0	Semihúmedo
100.1 a 160.0	Húmedo
Mayor a 160.0	Superhúmedo

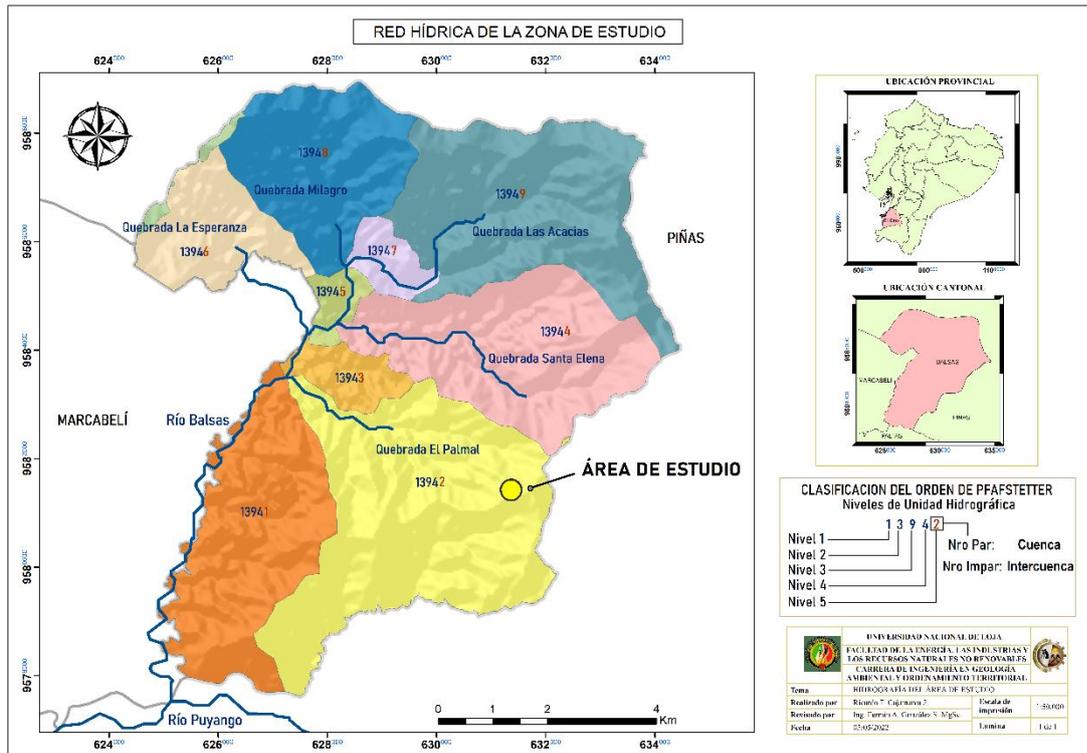
Finalmente, la unificación de los modelos climáticos y las clases de clima se obtuvo el tipo de clima de acuerdo a Caldas – Lang (1962).

	Nro	Tipo climático	Símbolo
	1	Cálido Superhúmedo	CSH
	2	Cálido Húmedo	CH
	3	Cálido Semihúmedo	Csh
	4	Cálido Semiárido	Csa
	5	Cálido Árido	CA
	6	Cálido Desértico	CD
	7	Templado Superhúmedo	TSH
	8	Templado Húmedo	TH
	9	Templado Semihúmedo	Tsh
	10	Templado Semiárido	Tsa
	11	Templado Árido	TA
	12	Templado Desértico	TD
<b>Tipos de Clima Según Caldas – Lang (1962)</b>	13	Frio Superhúmedo	FSH
	14	Frio Húmedo	FH
	15	Frio Semihúmedo	Fsh
	16	Frio Semiárido	Fsa
	17	Frio Árido	FA
	18	Frio Desértico	FD
	19	Paramo Bajo Superhúmedo	PBSH
	20	Paramo Bajo Húmedo	PBH
	21	Paramo Bajo Semihúmedo	PBsh
	22	Paramo Bajo Semiárido	Pbsa
	23	Paramo Alto Superhúmedo	PASH
	24	Paramo Alto Húmedo	PBH
	25	Nieves Perpetuas	NP

### 6.3. Red Hidrográfica

La red Hídrica de Balsas se encuentra dispuesta sobre la cuenca del río Puyango, en el cantón Balsas se encuentran 4 unidades hidrográficas tipo cuenca, siendo estas las quebradas Milagro, El Palmal, La Esperanza, Las Acacias y Santa Elena, específicamente en el área de

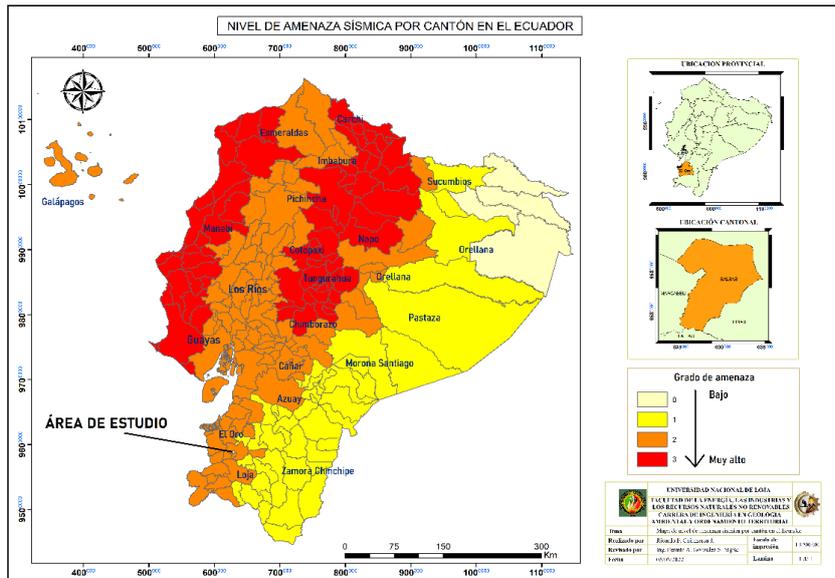
estudio no se evidencia la presencia de la red hídrica, sin embargo al encontrarse en las partes más altas, aquí se localizan las corrientes de primer orden o también denominadas “vaguadas”, las cuales aportan caudal a la quebrada que se forman aguas abajo fuera de la zona de estudio, siendo esta la quebrada El Palmal que se incorpora al río Balsas para posterior desembocar en el río Puyango. (ver Figura 35)



**Figura 35.** Red Hídrica de la zona de estudio  
 Nota: Cajamarca R. (2022)

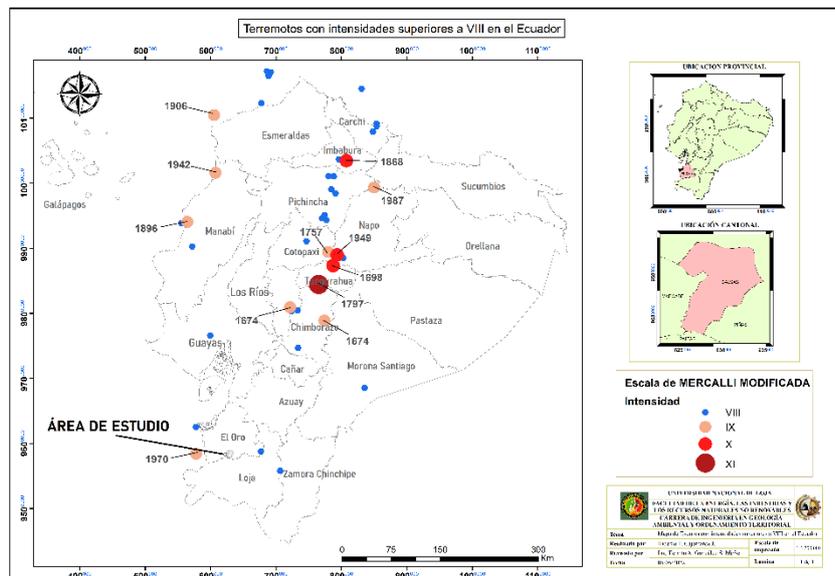
#### 6.4. Sísmica

El área de estudio, al alojarse en la parte alta de la provincia del Oro se encuentra en riesgo, con un grado de amenaza alto de 2. Las zonas más susceptibles a peligro con respecto a la actividad sísmica, se evidencian en la parte costera, principalmente las provincias del Guayas, Manabí y Esmeraldas, esto a consecuencia de la subducción de la placa de Nasca ante la placa de Sudamericana, produciendo liberación de energía que se manifiesta con fuertes sismos, de la misma forma las provincias de la Sierra Norte, producto de la actividad volcánica se encuentran en alto nivel de peligro en un grado de amenaza nivel 3 en muy alto. (ver Figura 36)



**Figura 36.** Mapa de nivel de amenaza sísmica por cantón.  
 Nota: Cajamarca R. (2022)

Sin embargo, en el mapa de “Terremotos con intensidades superiores a VIII de Ecuador” con un recuento de 456 años de registros, se puede observar que estos eventos se han desarrollado en mayor frecuencia en la parte centro ecuatorial desde la provincia del Chimborazo hasta la provincia de Carchi, existiendo dos eventos con intensidades de VIII y IX en los límites fronterizos la provincia del oro, sin dejar registros de afectaciones en el área de estudio. (ver Figura 37).



**Figura 37.** Terremotos con intensidades superiores a VIII en el Ecuador  
 Nota: Cajamarca R. (2022)

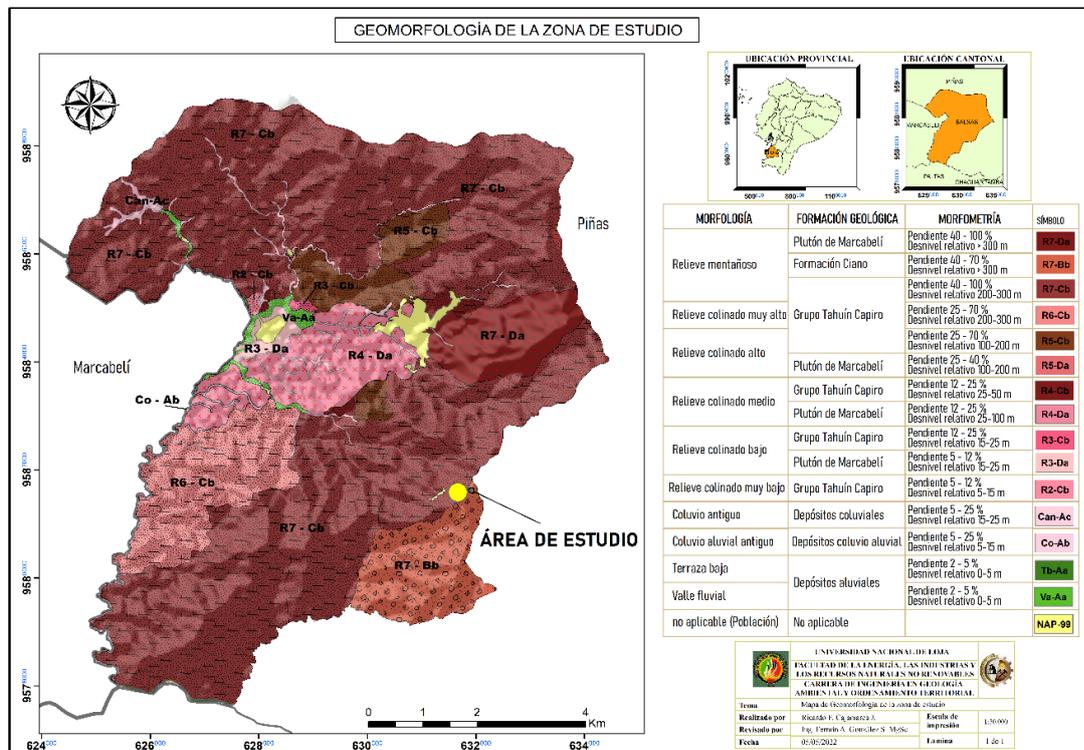
## 6.5. Geomorfología

El área de estudio al estar ubicada al Sureste del cantón Balsas, se encuentra sobre 3 unidades geomorfológicas de Unidad genética (Origen) Tectónico Erosivo que corresponde a levantamientos tectónicos que generan unidades geomorfológicas colinadas y montañosas de diversas alturas y pendientes, de las cuales en el área se tiene las formas de “relieve montañoso”, relieve colinado muy alto” y finalmente el “relieve colinado alto”.

**Tabla 12.** Unidades Geomorfológicas del área de estudio

Morfología	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Relieve Montañoso	231.03	47.43
Relieve colinado muy alto	235.54	48.26
Relieve colinado alto	21.43	4.38

**Nota:** Cajamarca R. (2022)



**Figura 38.** Geomorfología de la zona de Estudio

**Nota:** Cajamarca R. (2022)

### - Relieve Montañoso (R7-Cb)

Abarca desde la parte central de la zona de estudio, extendiéndose hasta el límite Sur de la misma, este tipo de relieve es característico por presentar pendientes fuertes a muy fuertes de (40 a 100 %) con forma de la cima agudas, vertientes rectilíneas e irregulares con desniveles relativos > 300 m.



**Figura 39.** Relieve montañoso, zona de estudio  
**Nota:** Cajamarca R. (2022)

- **Relieve colinado muy alto (R6-Cb)**

Este tipo de relieve se distribuye desde la parte Norte de la zona de estudio hasta la parte central, se caracteriza por presentar un desnivel relativo comprendido entre 200 y 300 metros, pendientes inclinadas a verticales, cimas con formas redondeadas y laderas de formas irregulares y mixtas. El sustrato sobre el que se desarrolla esta unidad geomorfológica corresponde en parte a los granitoides del plutón de Marcabelí y la Unidad El Tigre.



**Figura 40.** Relieve colinado muy alto, zona de estudio  
**Nota:** Cajamarca R. (2022)

- **Relieve colinado alto (R5-Cb)**

Este tipo de relieve se distribuye de forma puntual en el sector noroccidental. Este presenta un desnivel relativo de 100 a 200 metros, con formas de cima en su mayoría redondeadas y vertientes mixtas e irregulares. Aparece en los alrededores de la cabecera cantonal, sobre los granitoides de la unidad Plutón de Marcabelí, con pendientes de muy inclinadas hasta verticales. la pendiente varía desde media (25 a 40 %) a fuerte (40 a 70 %)

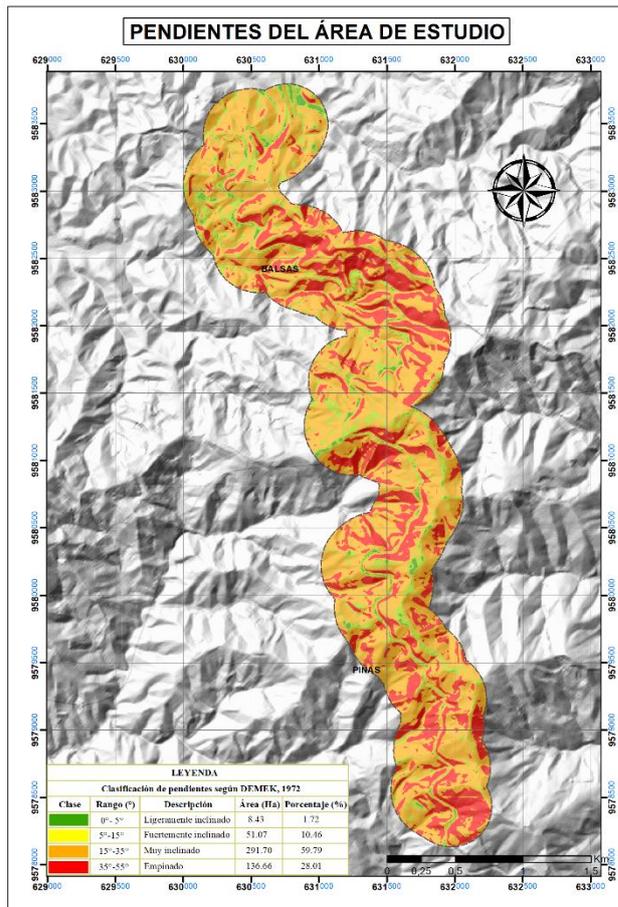


**Figura 41.** Relieve colinado alto, zona de estudio  
**Nota:** Cajamarca R. (2022)

## 6.6. Pendientes

Las pendientes obtenidas del área de estudio, mediante el geoprocesamiento del Modelo de Elevación Digital, en una primera etapa se identifican 5 clases, sin embargo en la clasificación “vertical” al ser no significativa con un área de 0.85 ha y un porcentaje de 0.17% se la agrupa en la clase anterior “empinado” para una mejor interpretación, como se muestra en la (Figura 42), las pendientes se las representó en grados, de acuerdo a la clasificación elegida por la metodología, (clasificación de Demek, 1972) con un total de 4 clases de pendientes que van desde ligeramente inclinadas hasta empinado, agrupándolas según sus características similares de distribución en el polígono, con la finalidad de una mejor descripción.

De acuerdo al análisis del mapa de pendientes, en la zona de estudio se puede observar que existe un predominio de pendientes “Muy inclinado” en más de la mitad de la totalidad de la zona de estudio, alcanzando un porcentaje de 59.79 %, con un área de 291.70 Ha, dispersa por toda el área. Mientras que los lugares con pendientes “fuertemente inclinado” y “empinado“ se distribuyen a lo largo del área de estudio en un 38.29 % con una particularidad que la pendiente “Empinado” se da con mayor tendencia en la parte central del área de estudio, específicamente a los 1100 m del inicio de la urbe del cantón Balsas, siguiendo un recorrido de 4.400 m, que ha ambos lados del eje vial predomina esta clasificación, sin embargo esta se distribuye en menor proporción hacia la parte sur, hasta el km 9 de la zona de estudio, La clasificación de ligeramente inclinado es sumamente poco representable con un 1.72 % extendiéndose en lo que abarca la vía el tramo de los 9 km y algunas pequeñas zonas en particular a lo largo de toda el área de estudio.



**Figura 42.** Pendientes del área de estudio  
 Nota: Cajamarca R. 2022

## 6.7. Fotointerpretación

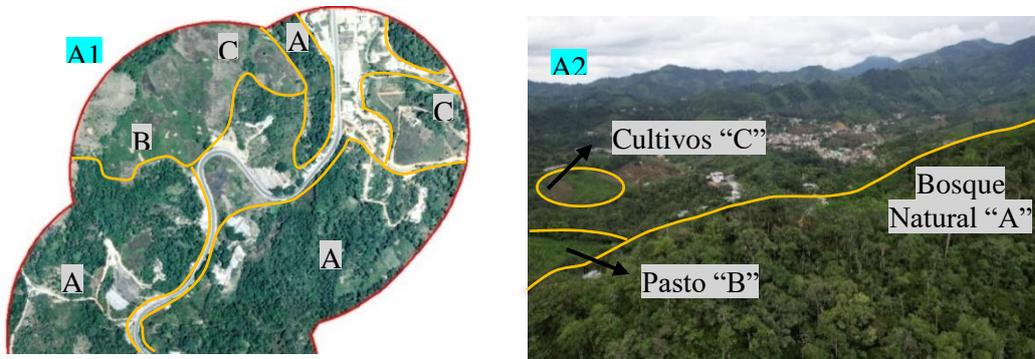
Reconocida y delimitada el área de estudio se analizó aspectos de vegetación, y drenaje, en este caso el conjunto de ríos, quebradas y vaguadas en el terreno que nos ayudaron a la determinación y deducción de la litología propia del sector.

### 6.7.1 Análisis de Vegetación

Al tener un conocimiento previo sobre las Unidades presentes en el área de estudio, podemos seccionar la zona de acuerdo a la litología característica de la misma. Alcanzamos observar sin dificultad en las imágenes A1 y A2 una variedad de vegetación entre natural y agrícola como lo es cultivos, pastos, y bosque.

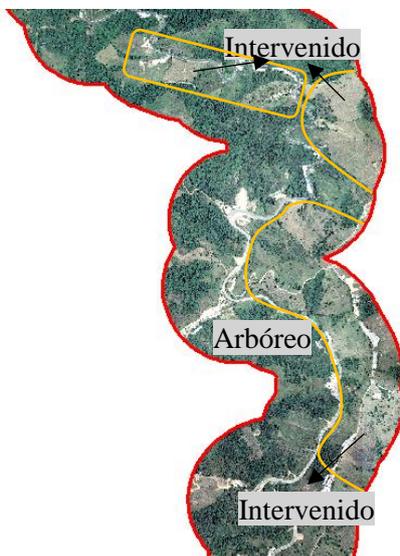
Con esto podemos inferir que estamos en la presencia de suelos desarrollados sobre rocas ígneas, en este caso predominando la granodiorita, los cuales aportan a una mayor fertilidad, debido a la presencia de minerales como las plagioclasas y feldespatos ricos en potasio (Ka) Mendivelso, (2008, p. 14), dando la posibilidad a la variedad de vegetación que existe en la zona. (Ver Figura 43).

En la imagen A2, se puede apreciar con mayor detalle la densidad y variedad de vegetación característica de la roca existente en la zona, que abarca del mosaico de la imagen A1.



**Figura 43.** Tipos de vegetación  
**Nota:** Cajamarca R. 2022.

Sobre la Unidad El Tigre (PZTt) se denota en la Ortofoto, actividad antrópica, zonas de deforestación y en algunos casos vegetación implantada “pasto” para actividad pecuaria característica de la zona, dejando sin intervenir las partes de fuerte pendiente en donde las zonas de vaguada han sido propicias para el desarrollo de vegetación densa tipo arbustiva y arbórea muy característica de areniscas, lutitas, limolita, en ambientes húmedos. (Gutiérrez J, 2005, p. 33)

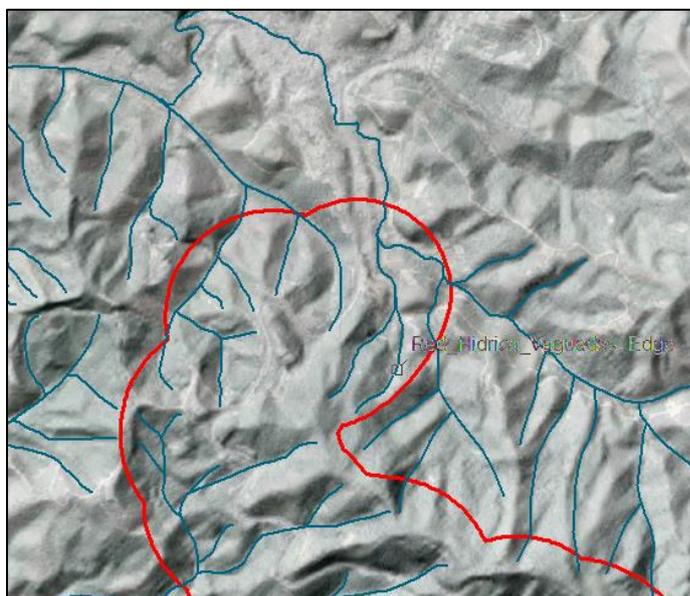


**Figura 44.** Ortofoto Vegetación Intervenido – Arborea  
**Nota:** Cajamarca R. 2022.

### 6.7.2 *Análisis del drenaje*

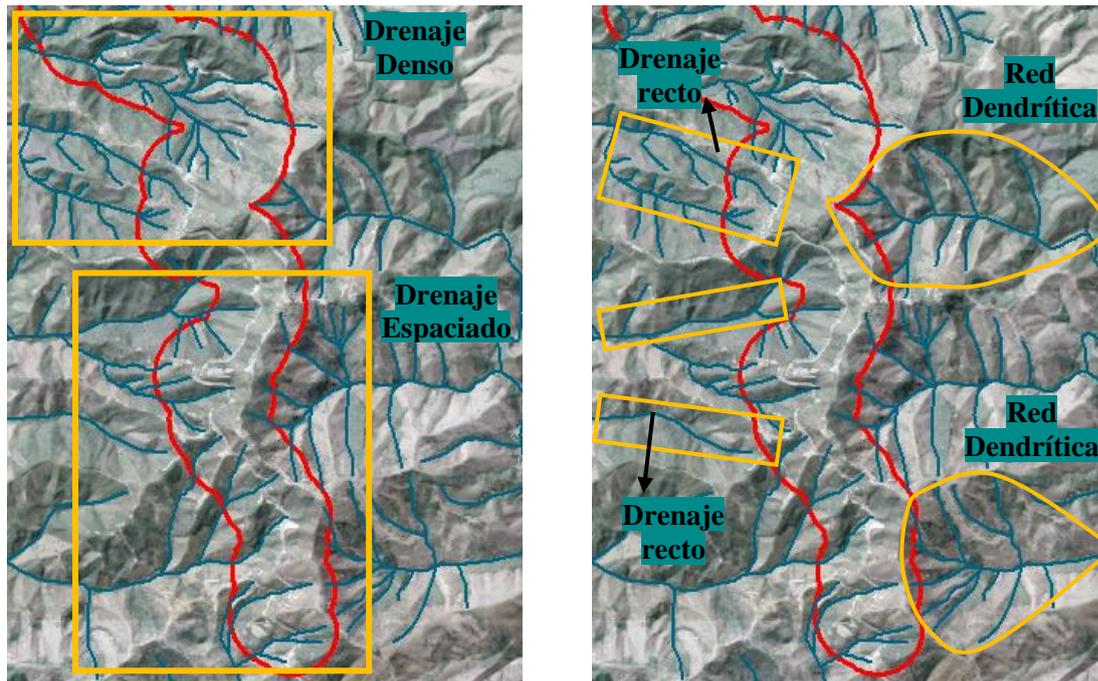
Se analizó las distintas redes de drenaje entre ríos, quebradas y vaguadas, que se encuentran influyendo o siendo parte de la zona de estudio, mediante la fotointerpretación se pudo definir el tipo de drenaje característico de litología de la zona.

La parte norte de la zona de estudio caracterizada por la Unidad Plutón de Marcabelí, y conociendo que las rocas plutónicas dan lugar a formas típicas de los arroyos con terminaciones en forma de pinza, se puede apreciar claramente estas sobre una red angular característica de los drenajes graníticos (ver Figura 45) con una adaptación de los arroyos y vaguadas a la tectónica de la zona, con un espaciado generalmente más tupido que la red dendrítica, propia de rocas graníticas. (Gutiérrez J, 2005, p. 36)



**Figura 45.** Drenaje de la zona de estudio Angular  
**Nota:** Cajamarca R. 2022.

Seguido en la Unidad El Tigre (PZTt) se puede evidenciar con claridad una red dendrítica de drenaje variable la cual en algunas zonas se torna mucho más tupida o llamada “densa” característica de rocas y suelos impermeables de grano fino, como lo son: limos, lutitas y en algunos lugares más espaciada con un drenaje pobre, propia de rocas permeables de grano más grueso como lo son areniscas. Evidenciando relieves fuertes, y drenajes rectos propio de cuarcitas.



**Figura 46.** Características de la red de drenaje de la zona de estudio  
**Nota:** Cajamarca R. 2022.

La fotointerpretación de la parte estructural de la geología que se analizó, se la puede observar en el mapa de fotointerpretación del área de estudio, seguido a este, la descripción de las zonas encontradas en el mapa. (Ver Anexo 10)

### 6.8. Geología Local

Localmente se encontraron distintas unidades con litologías referentes a cada una de estas, en el trabajo de levantamiento de información se pudo determinar 71 puntos de muestreo que se los describió en la ficha de afloramientos (Ver Anexo 1).

**Tabla 13.** Afloramientos levantados en el área de estudio

N	Coordenadas			Formación	Tipo de Afloramiento
	X	Y	Z		
1	631957	9578151	900	El Tigre	Natural
2	631778	9578167	850	El Tigre	Natural
3	631948	9578269	885	El Tigre	Natural
4	632012	9578406	908	El Tigre	Natural
5	631903	9578497	930	El Tigre	Natural
6	631801	9578544	918	El Tigre	Natural
7	631704	9578491	864	El Tigre	Natural
8	631914	9579013	970	El Tigre	Natural
9	631907	9579080	997	El Tigre	Natural
10	632104	9579461	1090	El Tigre	Natural
11	631374	9580296	1029	El Tigre	Natural
12	632184	9579428	1113	El Tigre	Natural

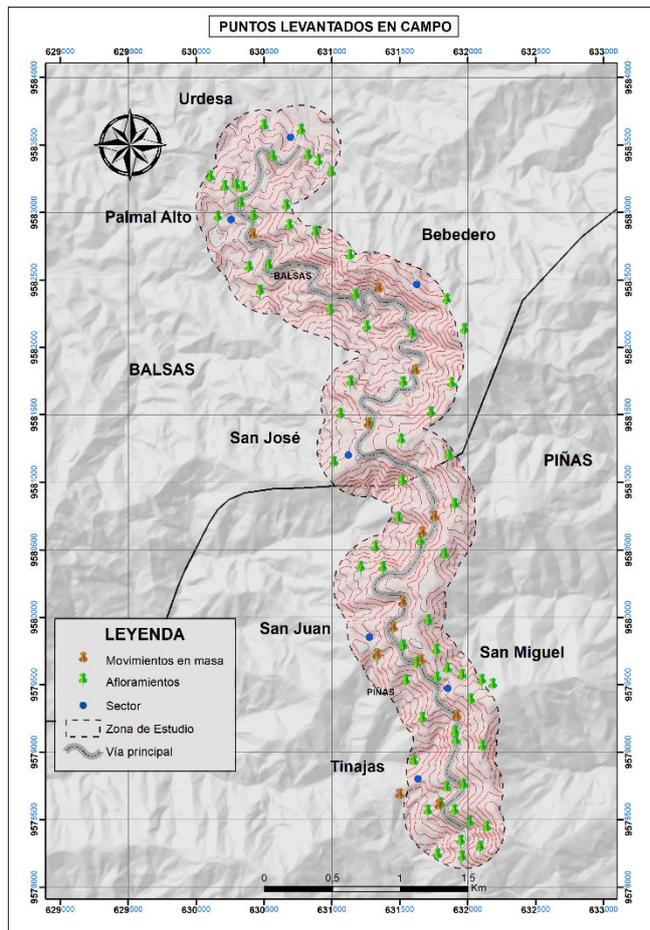


13	631652	9580491	1025	El Tigre	Natural
14	630901	9583307	720	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
15	631330	9579644	942	El Tigre	Natural
16	631522	9579715	1040	El Tigre	Natural
17	630823	9583351	720	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
18	631976	9582061	1102	El Tigre	Natural
19	631508	9581245	1102	El Tigre	Natural
20	631275	9581364	1019	El Tigre	Natural
21	631136	9581672	985	El Tigre	Antrópico
22	631524	9581668	970	El Tigre	Natural
23	630564	9583340	740	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
24	630211	9583121	777	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
25	630422	9582901	762	El Tigre	Natural
26	631173	9582316	840	El Tigre	Natural
27	631588	9582031	923	El Tigre	Natural
28	631967	9578683	954	El Tigre	Natural
29	631862	9581124	1119	El Tigre	Natural
30	631904	9580765	1120	El Tigre	Natural
31	631828	9580393	1068	El Tigre	Antrópico
32	631710	9579903	1035	El Tigre	Antrópico
33	631544	9579457	920	El Tigre	Antrópico
34	632090	9578223	985	El Tigre	Natural
35	632140	9578371	995	El Tigre	Natural
36	631768	9579682	1068	El Tigre	Natural
37	631844	9578667	910	El Tigre	Natural
38	631623	9579588	998	El Tigre	Natural
39	632021	9579316	1065	El Tigre	Natural
40	631211	9580298	980	El Tigre	Natural
41	631958	9579497	1075	El Tigre	Natural
42	631849	9579547	1065	El Tigre	Natural
43	631772	9579479	1004	El Tigre	Natural
44	630773	9583540	708	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
45	630997	9583225	798	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
46	630662	9582979	862	El Tigre	Natural
47	630686	9582833	889	El Tigre	Natural
48	630879	9582782	902	El Tigre	Natural
49	631132	9582610	971	El Tigre	Natural
50	631845	9582283	1023	El Tigre	Natural
51	631882	9581660	1120	El Tigre	Natural
52	631730	9581443	1121	El Tigre	Natural
53	630499	9583572	710	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
54	630293	9583131	776	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
55	630389	9582521	748	El Tigre	Natural
56	630344	9583116	768	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
57	630104	9583193	740	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
58	630328	9582998	770	Unidad Plutón Marcabelí	Natural
59	630534	9582536	775	El Tigre	Natural

60	631014	9581075	1018	El Tigre	Natural
61	631519	9580938	930	El Tigre	Natural
62	631488	9580663	901	El Tigre	Natural
63	631320	9580444	925	El Tigre	Natural
64	630159	9582895	722	El Tigre	Natural
65	630469	9582347	728	El Tigre	Natural
66	630988	9582205	803	El Tigre	Natural
67	631256	9582081	845	El Tigre	Natural
68	631062	9581433	985	El Tigre	Natural
69	631666	9579179	946	El Tigre	Natural
70	631604	9578859	834	El Tigre	Natural
71	632107	9578969	1079	El Tigre	Natural

**Nota:** Cajamarca R. 2022.

El trabajo de campo dado por el levantamiento de las características litológicas del área de estudio, junto con el levantamiento de los movimientos en masa, se expresan de una mejor forma en el mapa de puntos levantados en campo dentro del área de estudio.



**Figura 47.** Mapa de puntos levantados en el área de estudio

**Nota:** Cajamarca R. 2022.

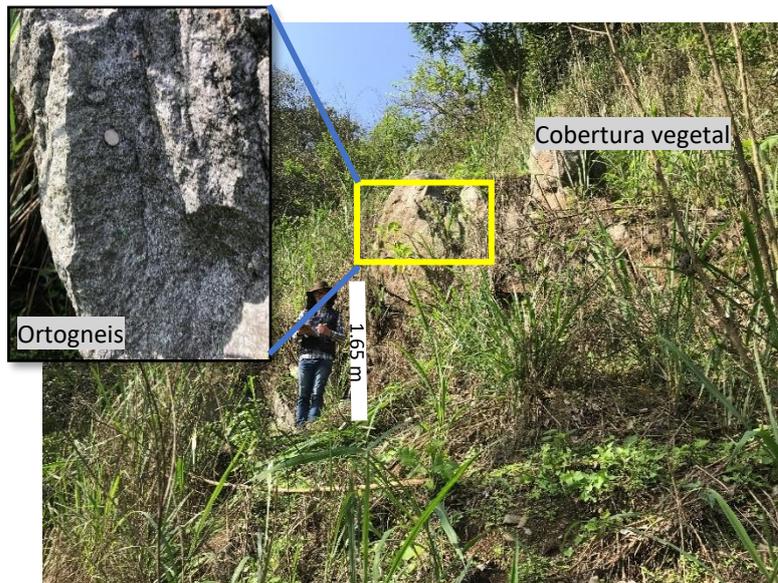
Culminado el levantamiento en campo de la litología, geología estructural, junto con los movimientos en masa, se interpreta y pasa a digital la información obtenida, consiguiendo los siguientes resultados de los afloramientos más representativos de la zona de estudio:

- **Unidad Plutón de Marcabelí (TrMb)**

**Edad:** Triásico

**Genesis:** Ígnea

**Tipo de material:** Granodiorita generalmente masiva



**Figura 48.** Afloramiento de Ortogneis

**Nota:** Cajamarca R. 2022

En el afloramiento ubicado en las coordenadas UTM/WGS84; 630564, 9583340, situado al costado derecho en dirección Tinajas – Balsas, con dimensiones de un alto 1.60 m y ancho de 4.80 m, se evidenció material producto del Plutón de Marcabelí, en forma de macizo rocoso fracturado, de coloración gris (Ver Figura 48), para su identificación se ha realizado un análisis microscópico de los minerales de la muestra de roca en el cual se determinó un porcentaje de los mismos obteniendo un porcentaje de cuarzo (50 %), feldespato (35 %), biotitas (10 %), moscovita (5 %), definiendo a la roca como un ortogneis, considerando la disposición y orientación de los minerales en la misma debido a procesos de presión y temperatura.



**Figura 49.** Afloramiento de Granodiorita meteorizada  
**Nota:** Cajamarca R. 2022

El afloramiento se encuentra en la ciudadela Urdesa, de un ancho de 11.60 m y alto de 5.50 m, en las coordenadas UTM/WGS84; 630901; 9583307, al costado derecho de una vía de segundo orden a 100 metros del coliseo de la Urdesa, ha dejado en evidencia una roca ígnea intrusiva, definiéndola como una granodiorita de coloración café amarillenta con una estructura granular de textura fanerítica que está muy alterada al punto de disgregarse fácilmente al tacto, se evidencia microcristales de 1 a 2 mm de cuarzo (20 %), plagioclasas (40 %), feldespato (30 %), biotitas (5 %), moscovita (5 %).. (Ver Figura 49).

Se observó una diferencia de este afloramiento, con el afloramiento ubicado en la misma Unidad Plutón de Marcabelí, en las coordenadas UTM/WGS84; 630564, 9583340 compuesto por un Ortogneis. denotando que la granodiorita en su totalidad se presenta en estado de disgregación de la roca y sus minerales, considerando que este se ubica geográficamente en las partes más altas aflorando a pocos metros de profundidad, siendo mucho más fuerte la meteorización que recibe, en comparación con el afloramiento de Ortogneis, que se encuentra en el pie de la montaña por tal motivo a mayor profundidad, y al encontrarse en una zona de vaguada, esta ha dejado expuesta la matriz rocosa observando el macizo con mayor consistencia y una alineación de los minerales de la roca por las presiones ejercidas.

Además, se evidenció zonas de cambio litológico, contactos, en las cuales el área de estudio está atravesando por el Norte con la Unidad Plutón de Marcabelí, y seguido hasta el límite Sur, se encuentra la Unidad El Tigre (PZTt) (Ver Figura 29).



**Figura 50.** Contacto U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre

**Nota:** Cajamarca R, 2022



**Figura 51** Vista panorámico; Contacto U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre

Fuente: Cajamarca R, 2022

En la coordenada UTM/WGS84; 630423 - 9582935, desde la vía panamericana se puede determinar la zona de contacto con una dirección SW – NE por el evidente cambio del material a la izquierda una granodiorita altamente meteorizada, y al costado derecho separado por una zona de vaguada (contacto) se observa claramente por un afloramiento antrópico el cambio del material, evidenciando rocas de limolita y un suelo laterítico “Limo” que se forma de la descomposición de la roca ígnea en este caso la granodiorita, su color es café rojizo. En campo no se pudo definir estructuralmente el contacto entre materiales al ser este de tipo gradacional según lo establece Litherland M, Aspden J. & Jemielita R. (1994 p. 66), como se lo observa en los afloramientos próximos la degradación paulatina de la roca granodiorita. (Ver Figura 52).



**Figura 52.** Contacto entre U. Plutón de Marcabelí – Unidad El Tigre

**Nota:** Cajamarca R, 2022

- **Unidad El Tigre**

**Edad:** Paleozoico – Cretácico Inferior

**Genesis:** Bajo grado Metamórfico - Sedimentario

**Tipo de material:** grauvaca, lutitas, cuarcita, limolita, limo



**Figura 53.** Afloramiento de grauvaca con lutita

**Nota:** Cajamarca R. 2022

En el dominio Amotape Tahuin específicamente en la Unidad El Tigre, a la altura de 1102 m s.n.m en las coordenadas UTM/WGS84; 631508, 9581245, se observa un afloramiento con dimensiones de un alto de 2.70 m y ancho de 5.20 m, entre una cobertura tipo arbustiva, una grauvaca de coloración café amarillento con una estructura masiva y textura detrítica, con un tamaño de grano de 0.25 - 0.5 mm, que por su alta meteorización dada por factores climáticos, se identificó en campo un materia de una baja compacidad que se disgrega fácilmente al golpeteo con la piqueta, en el afloramiento, además se evidenció clastos de lutita de una matriz arcillosa con coloración rojiza producto de los óxidos de hierro. (Ver Figura 53).

En campo se denotó la presencia de humedad produciendo la oxidación de la cara expuesta del afloramiento.



**Figura 54.** Afloramiento de limo y lutitas  
**Nota:** Cajamarca R. 2022

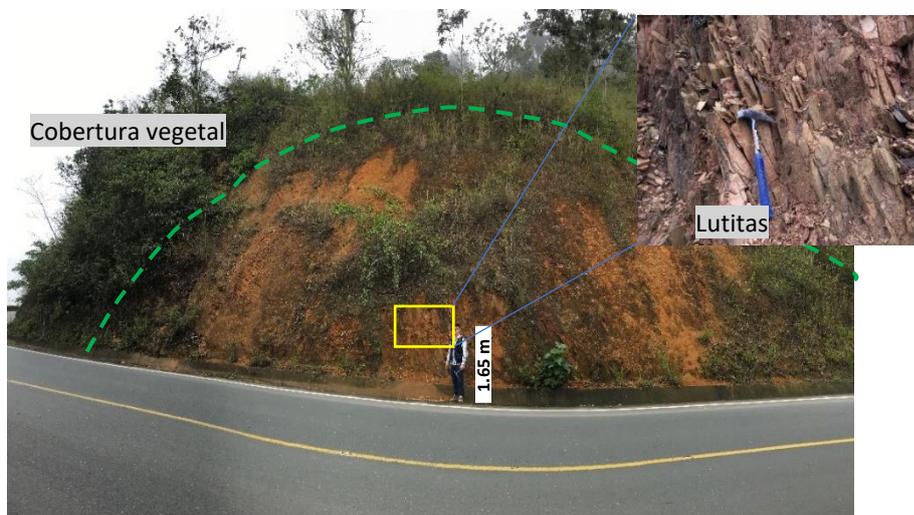
En el afloramiento ubicado en las coordenadas UTM/WGS84; 631588; 9582031, con dimensiones de un alto de 2.00 m y ancho de 3.50 m, se evidencia material sedimentario de lutitas que han experimentado una meteorización esferoidal en algunas de estas, de coloración verdosa con una estructura laminar y textura pelítica, de tamaño entre 0.002 – 0.004 mm, dispuestas en un matriz limosa, la cual predomina sobre todo el afloramiento, esta es de coloración café rojizo de estructura granular y textura detrítica, las lutitas se presentan disgregadas y altamente meteorizado por acción del agua al punto de romperse fácilmente con el golpeteo de la piqueta.



**Figura 55.** Afloramiento de grauvaca disgregada

**Nota:** Cajamarca R. 2022

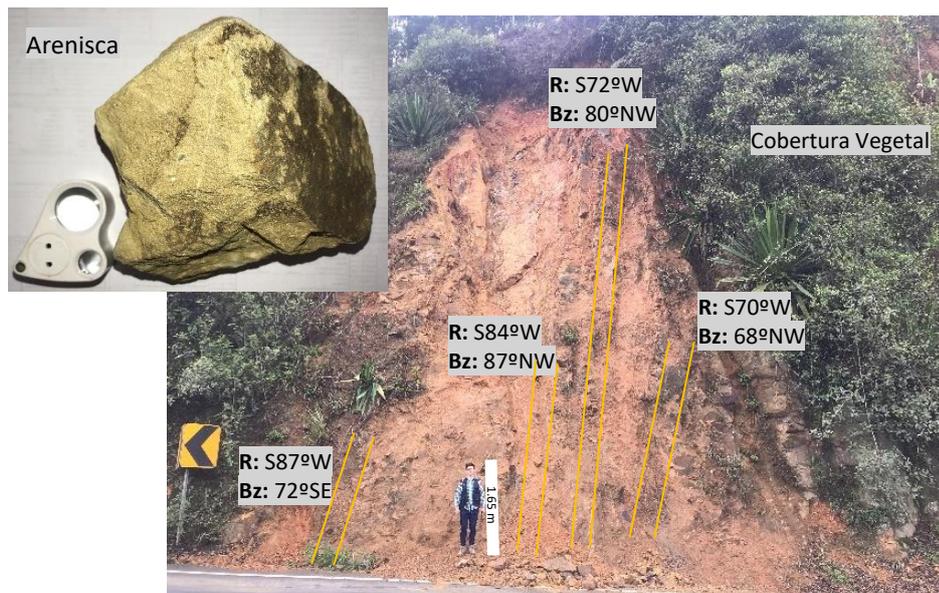
El afloramiento ubicado a 20 m del costado derecho de la vía panamericana en dirección Tinajas - Balsas en las coordenadas UTM/WGS84; 631524; 9581668, pone en evidencia material sedimentario, de roca grauvaca, en los clastos de la roca se denotan patinas de caolín, con impregnaciones de pirolusita ( $Mn^{4+}O_2$ ) en los planos de fractura. La roca presenta una alta meteorización, se observó igualmente rocas de limolita de estructura granular y textura detrítica decoloración café rojizo, además en campo se pudo observar que la totalidad del afloramiento se encuentra recubierta por una lámina de oxidación, esto producto de la permanente humedad que existe en la zona.



**Figura 56.** Afloramiento de lutitas

**Nota:** Cajamarca R. 2022

En el afloramiento ubicado al flanco derecho de la vía que conduce a Balsas, en las coordenadas UTM/WGS84; 631957; 9578151, con dimensiones de un alto de 10.75 m y ancho de 25 m, se evidencia material sedimentario, del tipo lutitas de coloración café en tonalidad clara, de estructura laminar y textura pelítica, emplazadas en una matriz limosa de coloración café amarillenta, localmente en muestra de mano se denota cierto grado de dureza, afectada medianamente por la meteorización, la roca se encuentra con una estratificación, el cual tiene una dirección preferencial con un rumbo  $S72^{\circ}W$  y buzamiento  $80^{\circ}NW$ . (Ver Figura 56)



**Figura 57.** Afloramiento de grauvaca con intercalaciones de lutitas

**Nota:** Cajamarca R. 2022

El afloramiento expuesto al costado derecho de la vía panamericana en dirección Tinajas - Balsas, con dimensiones de un alto de 9.80 m y ancho 11.00 m, ubicado en las coordenadas UTM/WGS84; 631914 , 9579013; (Ver Figura 57) deja en evidencia una roca del tipo arenisca de una coloración café amarillenta, de estructura masiva y textura detrítica, la cual ha sido influenciada por una media meteorización, pero con una alteración evidente en sus caras expuestas.

Se observa en el afloramiento intercalaciones de lutitas de coloración café de una estructura laminar y textura pelítica, con una potencia de 25 a 40 cm que, por su alto grado pendiente y buzamiento del material, se podría tratarse del flanco izquierdo de un pliegue, el cual en campo no se pudo evidencia su secuencia debido a la espesa cobertura vegetal del sector. En la parte baja del afloramiento se disponen detritos de lutita y arenisca.



**Figura 58.** Afloramiento de bloques de cuarcita  
**Nota:** Cajamarca R. 2022

El afloramiento con dimensiones de alto de 8 m y ancho 24 m de que se ubica en lado derecho de la vía panamericana en dirección Tinajas – Balsas en las coordenadas UTM/WGS84; 632012; 9578406 se evidencia un macizo rocoso el cual se encuentra cubierto por una densa capa de cobertura vegetal de tipo arbustiva de un espesor aproximado de 0.50 m, en muestra de mano se pudo identificar una roca de cuarcita de coloración gris de una estructura masiva y textura granoblástica de grano medio de 0.25 – 0.5 mm , además en muestra de mano se pudo observar una roca levemente meteorizada compuesta por Cuarzo (90%), Feldespato (5%), con cantidades menores de Biotita, Moscovita, Anfíbol (5%). Localmente se pudo denotar una secuencia de lutita estratificada con alto buzamiento, característico de la formación con un rumbo N80°W y un Buzamiento 65°NE. El afloramiento presenta una media oxidación y alteración por efecto climático.

Al analizar y describir los distintos afloramientos en el área de estudio podemos encontrar ciertas diferencias en estos, de acuerdo a las rocas características de cada unidad, por tal motivo, se establece de que la geología del sector se encuentra dispuesta de la siguiente manera:

El área de estudio se encuentra influenciada por el Norte con la intrusión del Plutón de Marcabellí (TrMb), con una edad del Triásico, que de acuerdo con el mapa del complejo metamórfico el Oro (1992) y corroborando con la hoja geológica de Zaruma (2017) se puede evidenciar que el plutón se extiende con un rumbo Este – Oeste, el cual en el área de estudio, se observa rocas del plutón, con un cierto grado elevado de meteorización, al punto de encontrar este tipo de rocas graníticas principalmente granodiorita, en un grado de disgregación de la roca, como se lo puede observar en el afloramiento ubicado en las coordenadas UTM/WGS84;



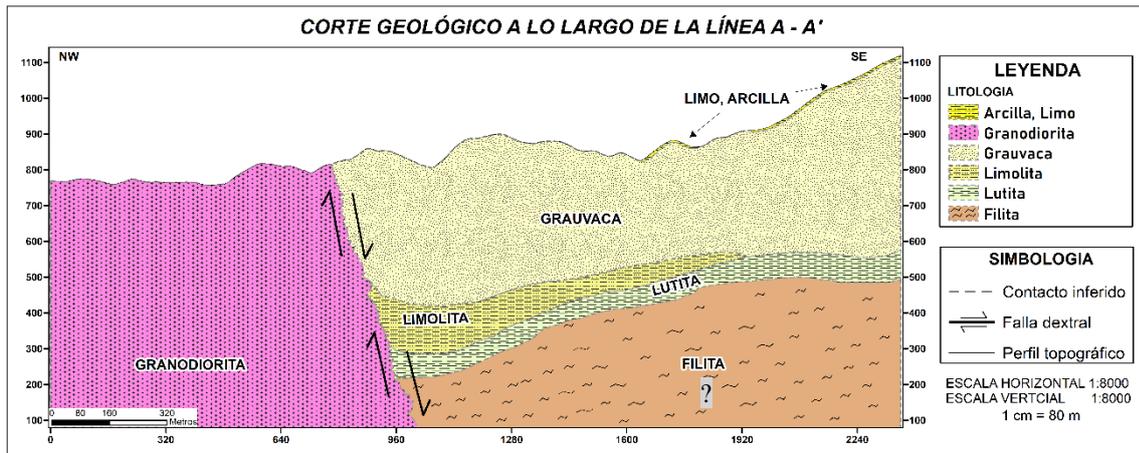
630901; 9583307, sin embargo en diversas zonas si se puede apreciar afloramientos y muestras de rocas con un mayor grado de compactación como lo es el afloramiento ubicado en las coordenadas UTM/WGS84; 630823, 9583351. Notándose una alteración con menor grado “sin dejar de haberla”, debido factores climáticos característicos de la zona.

La Unidad El Tigre al ser parte del Dominio Amotape Tahuin, se le otorga una edad Paleozoica característica de rocas metamórficas de un bajo grado de metamorfismo a no metamorfizadas de acuerdo a lo establecido en el libro de “Los cinturones metamórficos del Ecuador” por Litherland M, Aspden J. & Jemielita R. (1994 p. 64), evidenciando en el área de estudio, filita y cuarcita, como se observa las cuarcitas encontradas dispuestas en los afloramientos UTM/WGS84 632012; 9578406; y más esporádicamente entre las rocas sedimentarias en el afloramiento UTM/WGS84 631374; 9580296, estas rocas sedimentarias según el libro en mención se encuentran en la Unidad con un origen turbidico, lo que quiere decir, que no vamos a encontrar una estratificación de estas rocas como lo podemos observar en los diversos afloramientos levantados en campo, siendo representativo el ubicado en las coordenadas UTM/WGS84 631508, 9581245.

Se pudo distinguir los materiales de cada una de las unidades presentes en el área de estudio, siendo de este modo evidenciado en el Plutón de Marcabellí, 2 tipos de rocas, una granodiorita, la cual predomina en esta unidad y rocas de ortogneis ubicadas en forma de macizo rocoso, encontrándose en una zona de vaguada, la cual ha dejado expuesta la matriz rocosa. En la Unidad El Tigre, se obtuvo un total de 10 clasificaciones de los materiales encontrados, en los cuales entre todos se determinó suelos de limo y arcilla, además de rocas de grauvaca, limolita, filita, lutita, arenisca, clastos de cuarcita.

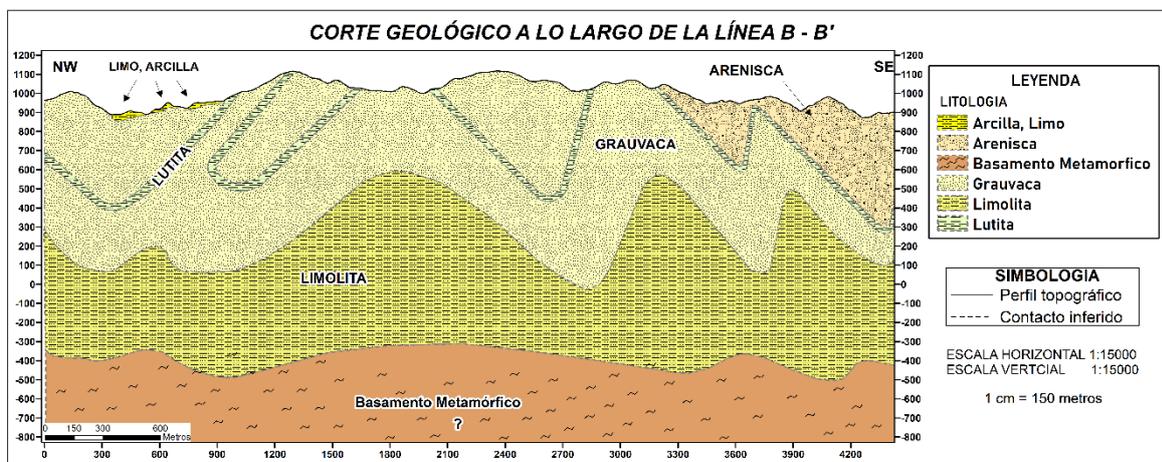
Finalmente, el trabajo cartográfico del levantamiento en campo mediante el mapeo geológico realizado y post procesamiento de datos en el software ArcGis 10.5 se ve reflejado en digital, siendo el resultado el mapa de la geología local del área de estudio. (Ver Anexo 12).

### 6.8.1 Corte Geológico



**Figura 59.** Corte Geológico A – A`  
 Nota: Cajamarca R. 2022

El corte geológico A-A` tiene una dirección NW – SE, visto en el mapa, en el mismo se puede divisar un rango superficial entre los 760 – 1100 m s.n.m, su composición litológica desde el NW, empieza por el intrusivo de roca granodiorita, que se encuentra en contacto discordante con rocas de la Unidad el Tigre de limolita, grauvaca y filita, siendo esta última la roca de bajo grado metamórfico consideradas parte del basamento metamórfico característico del dominio Amotape Tahuin, a lo largo del tramo se evidencia en predominancia rocas sedimentarias, que en base a criterios de grano clasificación creciente, siendo este el cual las rocas con partículas de menor tamaño se encuentran en la base y las de mayor tamaño, en la parte alta. Se define en la parte superior grauvacas, subyaciendo en un tramo de 360 m rocas de limolita que se acuñan al SE, subyacidas, a su vez por estratificaciones de lutitas soportadas por el basamento de rocas filitas.



**Figura 60.** Corte Geológico B-B`  
 Nota: Cajamarca R. 2022



El corte geológico B-B` tiene una dirección NW – SE, visto en el mapa, en el mismo se puede divisar un rango superficial entre los 900 – 1100 m.s.n.m, su composición litológica general viene configurada formando algunos plegamientos en las lutitas, ha esto se ha inferido la acción del intrusivo sobre este comportamiento estructural en los materiales, por los fuertes buzamientos de las estratificaciones. Desde el NW del corte y en base a los afloramientos de toda el área de estudio se evidencia que a lo largo de todo el perfil se extienden rocas de grauvaca que a los 300 m del NW soportan suelos de limo, arcilla y al SE considerando el criterio de grano clasificación creciente, siendo este el cual las rocas con partículas de menor tamaño se encuentran en la base y las de mayor tamaño, en la parte alta, se evidencia rocas de Arenisca, estas dos subyacidas por limolitas y lutitas con buzamientos pronunciados y variables, asumiendo su basamento metamórfico.

### **6.8.2 Columnas Estratigráficas**

Se realizaron mediante el uso del Software SedLog 3.0. El desarrollo de las mismas se cumplió siguiendo los Estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para la cartografía geológica del (IIGE, 2019). En base a la interpretación de resultados desde la visita in situ y en relación con la parte bibliográfica sobre las depositaciones de los materiales en la zona de estudio.

La sucesión estratigráfica del área de estudio, se elaboró teniendo en cuenta aspectos como: las potencias de los materiales, considerando los datos establecidos en el estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento, por Dávila J (2017) haciendo referencia estas series sedimentarias con densidades de 2.32 g/cm<sup>3</sup> con profundidades entre los 2000 a 2500 m aproximadamente, en contraste con el estudio de Análisis litoestratigráfico y de procedencia de los depósitos sedimentarios cretácicos. Por Carrasco H (2018) el cual estima un espesor de 2000 m. El basamento metamórfico de acuerdo al proyecto de “Modelo cortical y estimación de flujo de calor para la identificación de zonas de madurez en la cuenca de antearco golfo de Guayaquil - Tumbes” en donde a partir de perfiles sísmicos mediante modelos Forward 2D, estimando profundidades de 16 km. De acuerdo a las épocas y edades de las unidades geológicas se hizo énfasis en el informe del: Proyecto multinacional Andino; geociencias para las comunidades Andinas Ecuador – Perú - Canadá – GEOLOGIA DEL ECUADOR Y PERÚ ENTRE 3° S Y 6° S (2005), siendo esta una de las bibliografías más actualizadas.

Así finalmente se determinó que el basamento del área de estudio está constituido por rocas metamórficas de un bajo grado de metamorfismo, de edad (Paleozoico) mismas que pueden presentar espesores aproximados de 16 km instruido discordantemente por un evento del Triásico como es el plutón de Marcabelí con profundidades muy variables desde el manto superior de la corteza terrestre, y finalmente debido a la erosión del cratón sudamericano como lo establece Dickinson (1985) en su “Análisis litoestratigráfico de procedencia de los depósitos sedimentarios Cretácicos” concediéndole una edad del Cretácico Superior a las rocas sedimentarias que estiman profundidades de 2000 a 2500 m. (Ver Anexo 11)

### 6.9. Geología Estructural

Localmente el área de estudio presenta una geología estructural compleja, dada principalmente por fenómenos de carácter plutónico (Unidad Plutón de Marcabelí), que a lo largo del área de estudio se ve reflejado en planos entre 45 a 70° de estratificación de algunos materiales producto de las fuerzas compresivas que este ha provocado, evidenciando diversos comportamientos en materiales sedimentarios, además en campo se pudo notar la presencia de familia de diaclasas de tipo ortogonales, en las lutitas grises y paralelo en las lutitas verdosas con unas dimensiones de alto 0.30 m – ancho 0.30 m. (Ver Figura 61).



**Figura 61.** Diaclasas en lutitas  
**Nota:** Cajamarca R, 2022

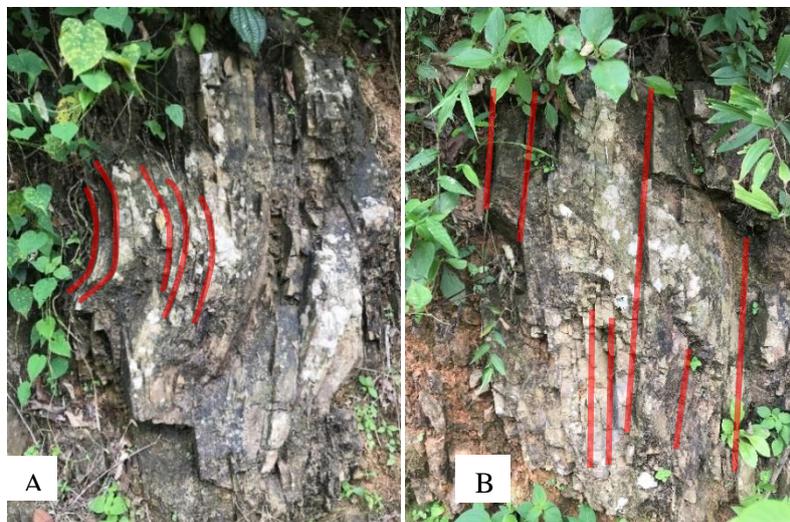
Por otra parte, según la información del SNGR, expedida en el PDOT 2019, el cantón Balsas, el cual la zona de estudio se encuentra en su mayor parte, está afectado por fallamiento local, repartido por diversos sectores del cantón, con fallas que van de Este a Oeste del territorio, desde los 2,97 km hasta los 10,92 km, cabe recalcar que dentro de los límites del cantón no se evidencia la presencia de fallas a nivel regional. La falla que se encuentra al Sur del cantón en dirección Este – Oeste, de una extensión de 10.2 km que va desde el sector Santa Elena pasando a 950 m al Sur del sector El Palmal, llegando al límite cantonal, se encuentra

atravesando el área de estudio, pasando en la parte vial en las coordenadas UTM/WGS 84: 630552; 9582728, a 1400 m de la ciudadela Urdesa. (Ver Figura 62).



**Figura 62.** Falla Geológica  
**Nota:** Cajamarca R, 2022

Esta falla presenta un rumbo  $S68^{\circ}W$ , dentro del área de estudio, al ser una falla de tipo dextral, siendo aquella que se acomoda a un movimiento horizontal de los bloques adyacentes, Anderson (1905 p. 04), en campo se pudo evidenciar rasgos característicos de la misma, observando un micro plegamiento tumbado, (Ver Figura 63 “A”) junto con estructuras con un clivaje en las rocas de filitas biotíticas con un rumbo  $S34^{\circ} E$  y buzamiento  $65^{\circ} NE$  en sentido de la falla, (Ver Figura 63 “B”), además de su identificación en el etapa de fotointerpretación.



**Figura 63.** Estructuras de falla  
**Nota:** Cajamarca R, 2022

De igual manera se encuentra atravesando el área de estudio tres fallas inferidas, identificadas mediante fotointerpretación y en corroboración con la Hoja Geológica de Zaruma (2017) y mapa del complejo metamórfico el Oro (1992), se verifica que dos de estas estas se encuentran en mencionados mapas, las cuales tienen extensiones de 9.5 km y 12 km, la falla que se encuentra en el sector San Miguel se extiende en una dirección de W-E y la siguiente

falla que pasa por el sector San Juan, extendiéndose en una dirección SW-NE y finalmente la falla que cruza a 200 metros de la entrada al sector San José dirección SW-NE. Estas 3 fallas se identificó su presencia mediante fotointerpretación debido al lineamiento y cortes abruptos en la topografía, acompañado de la vegetación que estas presentan, en campo no se pudo encontrar rasgos característicos, debido a la meteorización y erosión que ha sufrido los flancos de las fallas, sin embargo, si se puede evidenciar y deducir su presencia debido a las variaciones de los buzamientos en estas zonas de leves a muy fuertes producto posiblemente de la acción de estas fallas, conjuntamente con micro plegamientos en las lutitas en estos sectores.

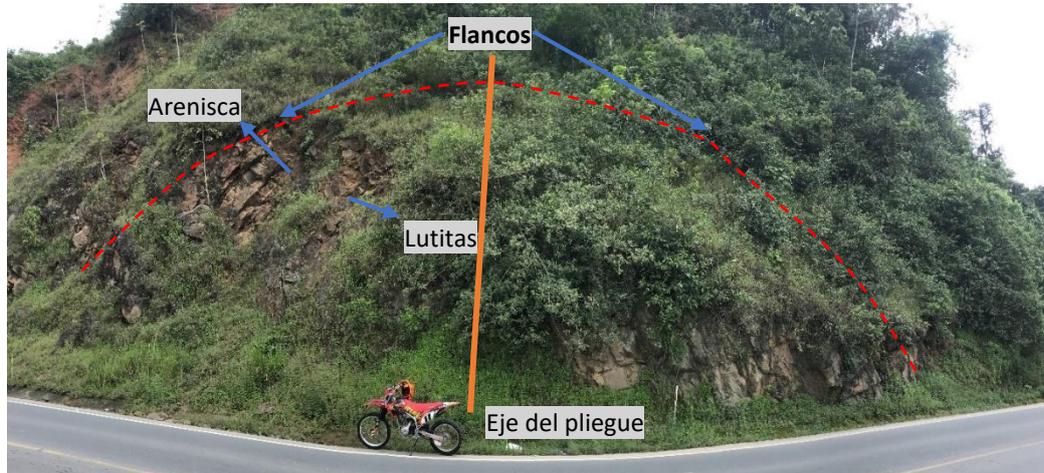
Una falla inversa se pudo identificar debido a las características del bloque hundido al encontrarse un diaclasamiento de la roca paralelo al sentido al buzamiento de la falla considerando que es el bloque que ha experimentado mayores esfuerzos, al ser el que sumerge, esta se encontró en las coordenadas UTM WGS 84: 632014 957835 con un rumbo S75°W y buzando 54° NW



**Figura 64.** Falla Inversa  
**Nota:** Cajamarca R, 2022

Además, al costado derecho de la vía en dirección Tinajas – Balsas, ubicado geográficamente en las coordenadas UTM/WGS84; 631892; 9578951, en la Unidad El Tigre, se pudo identificar un pliegue anticlinal con una extensión de 18 m de largo y 6 m de alto, cubierto por una densa capa de cobertura vegetal de tipo arbustiva de un espesor aproximado de 1 metro. En campo se pudo observar bloques de Grauvaca de coloración café amarillenta con intercalaciones de lutitas de coloraciones gris a verdosa de una potencia de 30 – 40 cm (Ver Figura 65 ). El plano axial o eje del pliegue presenta una dirección de N75°W, el flanco

derecho tiene una dirección de N20°W y un buzamiento de 72° SW, y el flanco izquierdo un rumbo de N25°E y un buzamiento 51°NW



**Figura 65.** Pliegue anticlinal  
 Nota: Cajamarca R, 2022

### 6.10. Inventario de movimientos en masa

El inventario de los movimientos en masa del área de estudio se lo realizó con la finalidad de verificar el comportamiento actual de los materiales, apoyado del uso del formato para inventario de movimientos en masa del Proyecto multinacional Andino, modificado de acuerdo al desarrollo del trabajo de investigación. En el trabajo de campo se pudo determinar un total de 13 movimientos en masa en el área, mismos que se muestran a continuación. (Ver Tabla 14 )

**Tabla 14.** Inventario de MRM

N	Coordenadas			Tipo de Movimiento	Dimensiones (m)		Pendiente (°)	Dirección
	X	Y	Z		Largo	Ancho		
1	631497	9578613	835	D. Traslacional	21	12	52	S85°W
2	631786	9578534	909	D. Traslacional	15.20	25	44	S48°W
3	631919	9579197	998	D. Rotacional - Traslacional	28	90	32	N60°W
4	631654	9579611	1040	D. Traslacional	100	20	44	S60°W
5	631452	9579850	1053	D. Traslacional	21	27	56	S51°W
6	631330	9579644	942	D. Rotacional	10.70	8.5	43	N75°W
7	631518	9580038	1044	D. Traslacional	33	45	64	N80°W
8	631664	9580557	1025	D. Rotacional	27	36	45	N62°W
9	631264	9581363	1020	D. Rotacional	6	7	46	N65°W
10	631753	9580675	1048	D. Rotacional	42	91	56°	N72°W
11	630418	9582765	766	D. Rotacional	14	23	34	S10°W

12	631613	9581759	975	D. Traslacional	8	15	51	S72°W
13	631341	9582366	890	D. Traslacional	9.50	11	48	S60°W

Nota: Cajamarca R. 2022

Zonificando los movimientos en masa encontrados se puede decir que el 100% de estos pertenece a la Unidad El Tigre y en la Unidad Plutón de Marcabelí no se presencié ningún tipo de movimiento.

A lo largo de la Unidad El Tigre se pudo evidenciar movimientos en masa de tipo deslizamiento, existiendo los dos tipos entre deslizamientos Rotacional, en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Cruden y Varnes, (1996 p. 09) y Traslacional, caracterizado por darse el movimiento tipo laminar, debido que la zona es caracterizada por laderas con fuertes pendientes de 45° - 55° que dan lugar a este tipo de movimientos, Hoek y Bray (1981 p. 09)

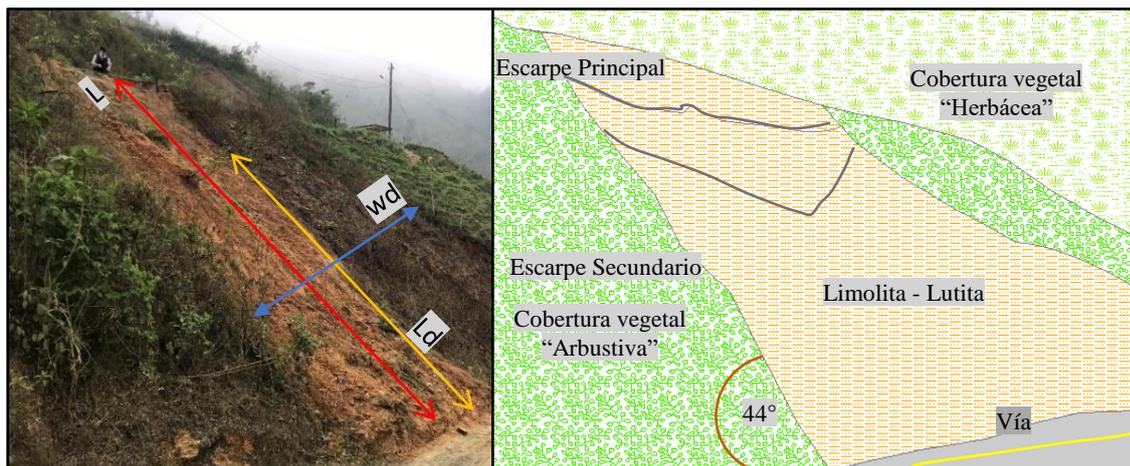


Figura 66. Movimiento en masa COD: Des-02

Nota: Cajamarca R. 2022

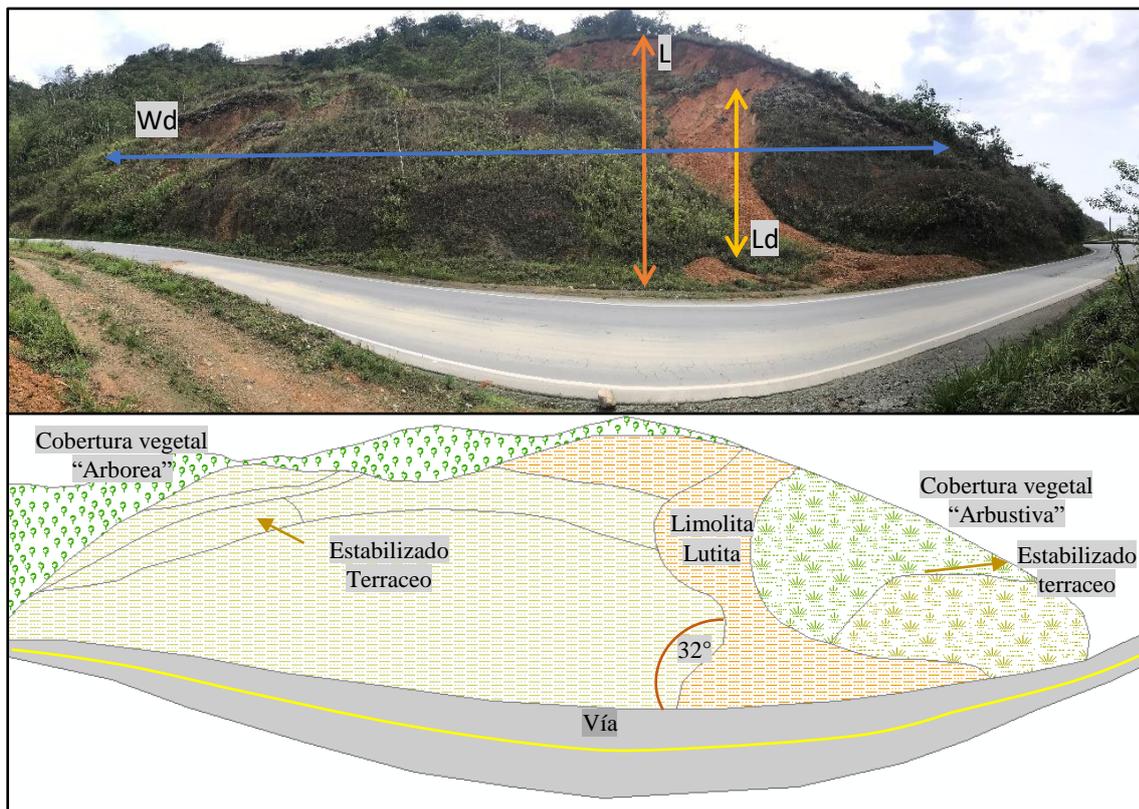
El presente movimiento en masa se encuentra ubicado en la entrada al sector Tinajas específicamente en las coordenadas UTM/WGS84; 9578534; 631786 en límite sur del área de estudio, en la Unidad El Tigre.

En el costado izquierdo de la imagen se puede apreciar una cobertura vegetal tipo arbustivo, mientras que en el costado derecho se observa una cobertura vegetal de tipo herbácea, en la parte superior se encuentra la vía que conduce al sector Tinajas, misma que ha sido parte del factor desencadenante para que se produzca el mismo, debido a las vibraciones concurrencias de los vehículos que transitan en esta, debido a las actividades productivas del sector (avícola, porcícola).

El movimiento corresponde al tipo deslizamiento traslacional, este se encuentra en estado activo, con un estilo múltiple, debido que se muestran movimientos repetidos de mismo tipo, generalmente ampliando la superficie de falla. Extendiéndose desde derecha a izquierda “vista imagen” (Ver Figura 66).

Morfométricamente el deslizamiento presenta un ancho de la masa desplazada “Wd” de 25 m, con una Longitud total, “L” de 10,30 m, en una dirección S48°W con una pendiente de 44° enmarcándose en “empinado” de acuerdo a la clasificación de Demek trabajada en el presente proyecto.

Localmente se pudo evidenciar rocas de limolita de color café rojiza de estructura granular con textura detrítica, en la que se encuentran detritos de lutitas de coloraciones amarillenta de estructura laminar y textura pelítica.



**Figura 67.** Movimiento en masa COD: Des-03

**Nota:** Cajamarca R. 2022

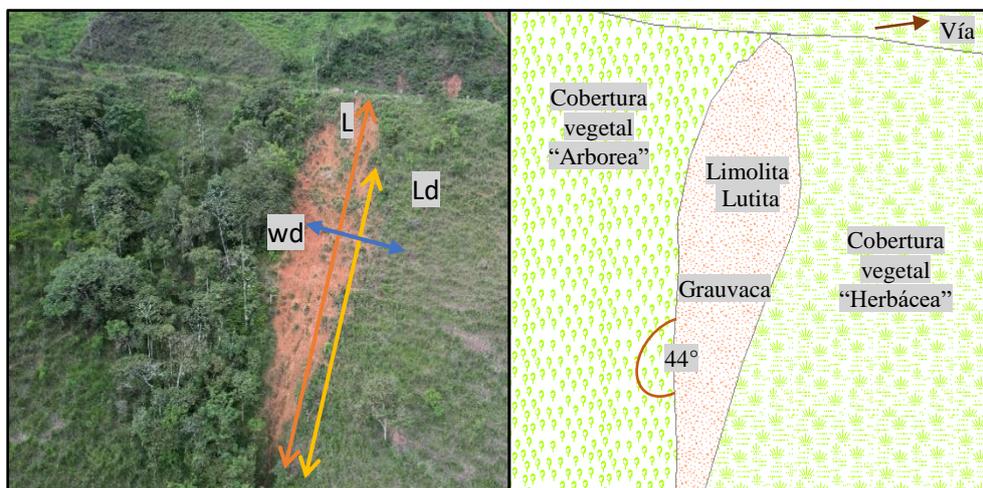
El movimiento en masa se encuentra ubicado al costado derecho, en dirección a Balsas en la vía principal, a 300 metros de la entrada al sector San Miguel, específicamente en las coordenadas UTM/WGS84 631919; 9579197.

En sus costados se encuentra una cobertura vegetal tipo Arbustiva, “Matorrales”, el movimiento en un principio se dio como un deslizamiento rotacional, y posteriormente se

observa que se ha reactivado con un deslizamiento de tipo traslacional, de tal forma se puede decir que comprende a un evento de estilo compuesto, el cual consiste de varios segmentos, que se pueden desarrollar de formas planares y curvos. (Hutchinson, 1988)

Morfométricamente el deslizamiento presenta un ancho de la masa desplazada “Wd” de 90 m, con una Longitud total, “L” de 31 m, en una dirección N60°W con una pendiente de 32° enmarcándose en “Muy inclinado” de acuerdo a la clasificación de Demek trabajada en el presente proyecto.

El deslizamiento se encuentra en la Unidad El Tigre la cual localmente se pudo evidenciar rocas de limolita de color café amarillenta de estructura granular con textura detrítica, en la que se encuentran detritos de lutitas de coloraciones amarillenta y rojizas oxidadas producto del factor climático sobre el sector.



**Figura 68.** Movimiento en masa COD: Des-04  
**Nota:** Cajamarca R. 2022

El movimiento en masa se encuentra ubicado al costado izquierdo, en dirección a Balsas en la vía principal, a 350 metros de la entrada al sector San Juan, específicamente en las coordenadas UTM/WGS84 631654; 9579611.

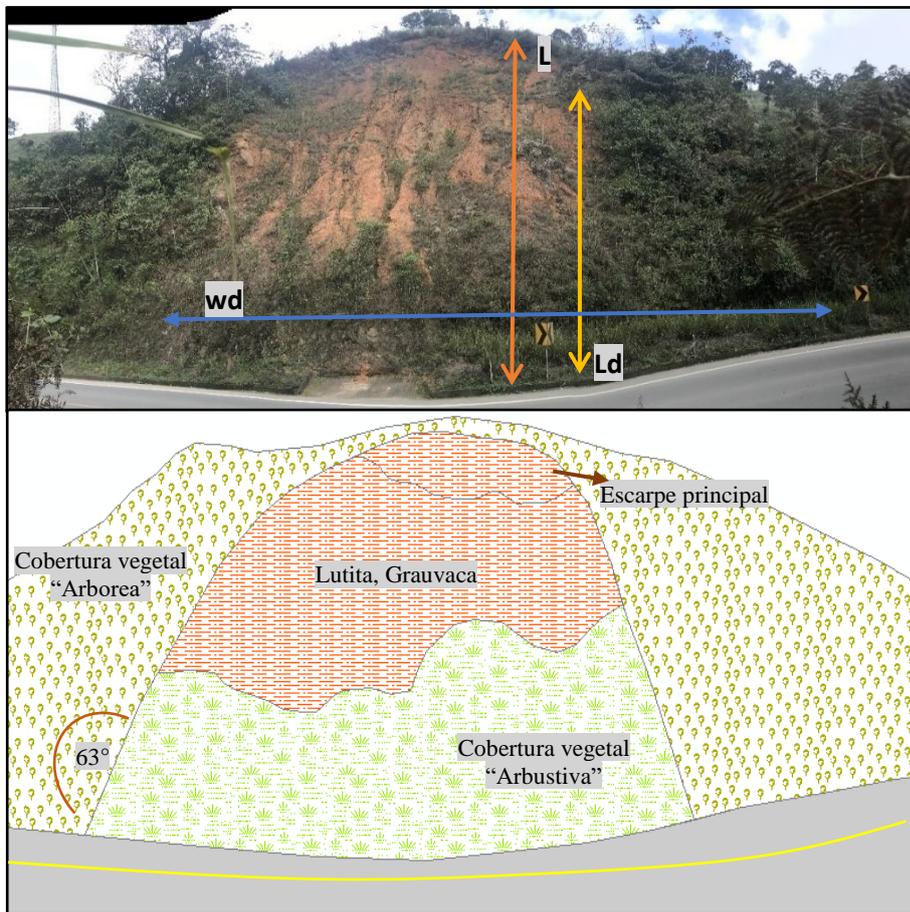
En el costado izquierdo de la imagen se puede apreciar una cobertura vegetal tipo Arborea, mientras que en el costado derecho se observa una cobertura vegetal de tipo herbácea, en la parte superior se encuentra la vía principal “Panamericana”, misma que ha sido parte del factor desencadenante para que se produzca el mismo, debido a las vibraciones concurrencias de los vehículos que transitan en esta, al ser la vía de primer orden que conecta las provincias El Oro - Loja.

El movimiento corresponde al tipo deslizamiento traslacional, siendo un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada

Cruden y Varnes, (1996 p. 09) este se encuentra en estado latente, con un estilo único debido a que consiste de un solo movimiento del material desplazado.

Morfométricamente el deslizamiento presenta un ancho de la masa desplazada “Wd” de 20 m, con una longitud total, “L” de 100 m, en una dirección S60°W con una pendiente de 44° enmarcándose en “empinado” de acuerdo a la clasificación de Demek trabajada en el presente proyecto.

El material sedimentario corresponde a la Unidad El Tigre, se evidencia detritos como clastos de lutita de coloración café amarillento de estructura laminar y textura pelítica, Grauvaca de coloración café amarillenta de estructura masiva y textura detrítica y limolita coloración café rojiza de estructura granular y textura detrítica



**Figura 69.** Movimiento en masa COD: Des-07

**Nota:** Cajamarca R. 2022

El movimiento en masa se encuentra ubicado al costado derecho, en dirección a Balsas en la vía principal, a 250 metros de la entrada al sector San Juan, específicamente en las coordenadas UTM/WGS84 631518; 9580038.



En general se encuentra con una cobertura vegetal tipo arbustiva, el movimiento corresponde al tipo deslizamiento traslacional, mismo que se encuentra en estado latente, con un estilo único, debido a que consiste de un solo movimiento del material desplazado.

Morfométricamente el deslizamiento presenta un ancho de la masa desplazada “Wd” de 45 m, con una Longitud total, “L” de 33 m, en una dirección S80°W con una pendiente de 64° enmarcándose en “vertical” de acuerdo a la clasificación de Demek trabajada en el presente proyecto.

Localmente el material presente en el deslizamiento es de tipo sedimentario, correspondiente a la Unidad El Tigre, se evidencia detritos como clastos de lutita de coloración café amarillento de estructura laminar y textura pelítica, grauvacas de coloración café amarillenta de estructura masiva y textura detrítica y limolita coloración café rojiza de estructura granular y textura detrítica.

En el análisis global de los movimientos en masa encontrados en el área de estudio y considerando los antecedentes de la zona en mención, hace indispensable definir, que las características geológicas del sector dan un panorama de inestabilidad, dado que en estos se encontró materiales de carácter sedimentario como lo son limolitas, lutitas, grauvacas, que al ser materiales poco consolidados y acompañado de distintos factores como lo es la actividad antrópica, el clima, topografía muy accidentada de altitudes muy variables (como se lo puede observar en el apartado de Topografía), dando pendientes que van desde los 32° - 64° en un promedio de 47.30° de pendiente que de acuerdo a la clasificación de Demek (1972) se denomina “Empinado”, además antrópicamente se puede decir que el cambio geométrico que se ha producido en las laderas, para el desarrollo de la arteria vial, que conecta las provincias El Oro – Loja y las vibraciones vehiculares que son permanentes en dicha sector hace que la zona en mención sea muy inestable.



## 7. Discusión

El levantamiento geológico estructural en el área de estudio, tramo vial Balsas – Tinajas ha sido de importancia para elevar el conocimiento geológico del sector, haciendo referencia desde el contexto litológico, sus estructuras, y procesos que se han dado, como lo son los movimientos en masa.

Geológicamente se localizó, dos Unidades litológicas; la Unidad Plutón de Marcabelí, (TrMb) que aflora al Norte en una extensión vial de 1,4 Km hasta aproximadamente el sector Palmal Alto, esta Unidad es de carácter ígneo, predominando en el área la roca granodiorita altamente meteorizada, desde la cdla Urdesa hasta el límite de contacto en el sector Palmal Alto y en menor proporción evidenciando un afloramiento de rocas de ortogneis, con una edad de Triásico, corroborado con lo establecido en la memoria técnica de la hoja geológica de Zaruma (2017) al afirmar la presencia de este tipo de rocas con la edad establecida. La Unidad El Tigre (PzTt), continua hasta el límite Sur del área de estudio con una extensión de 8.2 km, de una edad del Paleozoico, siendo su basamento metamórfico, sin embargo, se evidencia y predomina material sedimentario con un bajo grado de metamorfismo, que durante la investigación se pudo contrastar en el trabajo realizado por Pilatasig, Gordon, Palacios & Sánchez (2005, p. 67). En el PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS ECUADOR-PERU-CANADA, que el tipo de materiales sedimentarios presentes en la Unidad El Tigre, como lo son, limolitas, lutitas, grauvacas, areniscas, observadas a lo largo del área de estudio, las cuales se puede evidenciar en el afloramiento representativo ubicado en las coordenadas UTM/WGS84; 632184; 9579428, una secuencia de grauvacas y lutitas, se les concede una edad Cretácico Superior. Además, se concuerda con el análisis petrográfico de Dickinson (1985, p 77) sobre las grauvacas, la cual establece que estaría relacionada probablemente a la erosión de bloques continentales correspondientes a las rocas del cratón Sudamericano, confiriéndole a este asentamiento sedimentario una edad del Cretácico Superior.

De igual manera, en campo se encontró una diversidad de estructuras desarrolladas principalmente por la actividad Plutónica que se dio en su momento, tal y como lo expresa en la memoria técnica de la hoja geológica de Zaruma (2017) que debido a los esfuerzos compresivos intensos producto de los cuerpos intrusivos como es el caso del Plutón de Marcabelí, que ha dejado evidencias en los fuertes buzamientos de las lutitas, y además de plegamientos, así mismo se evidencio familia de diaclasas tipo ortogonales y paralelas en las lutitas y granodiorita. Se observó una falla de tipo dextral, que, como evidencia en campo, a



un costado de la zona de falla se pudo notar esta fricción en un micro pliegue tumbado, que ha sido resultado del movimiento de los bloques, Así mismo se localizó tres fallas inferidas, una se extienden en una dirección de W-E y las otras dos con dirección SW-NE, observando su presencia mediante fotointerpretación, en campo no se pudo encontrar rasgos característicos, debido a la meteorización y erosión que ha sufrido los flancos de las fallas, sin embargo, si se puede evidenciar y deducir su presencia debido a las variaciones de los buzamientos en estas zonas de leves a muy fuertes, y la existencia de micro pliegues, producto posiblemente de la acción de estas fallas, finalmente a 300 metros del límite Sur del polígono se encuentra una falla inversa con la misma dirección SW-NE.

El área de estudio se encuentra dispuesta en un relieve diverso con una topografía muy irregular con alturas que van desde 656 m s.n.m, hasta los 1144 m s.n.m; propiedad intrínseca del sector que da la característica de poseer pendientes muy variadas, predominando el rango de “muy inclinado” entre  $15^{\circ}$  –  $35^{\circ}$ , coincidiendo con la investigación dada por Castillo J. (2017) al manifestar que en estas zonas las pendientes bordan entre fuertes a muy fuertes de 40 % – 100 % en grados  $18^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ , siendo esto para algunos sectores el detonante para que se produzcan movimientos en masa.

Se observó un total de 13 movimientos en masa de tipo deslizamiento, existiendo los dos tipos entre deslizamientos rotacional y traslacional, recayendo solo en la Unidad El Tigre (PzTt), sin haber ningún movimiento en masa en la Unidad Plutón de Marcabelí (TrMb), y con predominancia desde los sectores San José hasta Tinajas, con esto se entiende que las principales causas para que este tipo de eventos se desarrolle, son la litología presente en esta Unidad, al predominar los limos, arcillas, grauvacas, lutitas, al ser materiales poco competentes no consolidados, acompañados de las fuertes pendientes de la zona provocando que los materiales tiendan a deslizarse. La mayoría de estos eventos ha afectado directamente a la vía principal “Panamericana”, Transversal Sur (E50), ocasionando interrupciones de hasta días, dada la magnitud de algunos deslizamientos del sector, dejando grandes pérdidas económicas a distintos sectores productivos. Coincidiendo su presencia, de acuerdo al mapa preliminar de amenaza por movimientos en masa del cantón Balsas provincia del Oro, evidenciando la zona con una susceptibilidad muy alta a movimientos en masa con pendientes mayores al 100%.

Finalmente definiendo un mapa geológico estructural y mapa de movimientos en masas, que comprenden una síntesis de los aspectos anteriormente observados en campo y analizados, con la finalidad de obtener la información completa referente a la topografía, litología, estructuras, geología, de la realidad que presenta el tramo vial Balsas – Tinajas.



## 8. Conclusiones

- Se determinó que en el área de estudio se emplazan dos unidades litológicas, la Unidad Plutón de Marcabelí (TrMm) abarcando un área de 70.33 ha y la Unidad El Tigre (PzTt), con un área de 417.67 ha, siendo esta la más extensa, misma que está conformada por matrices de arcilla y limo, rocas de lutita, grauvaca, arenisca, limolita, cuarcita, filita, mientras la Unidad Plutón de Marcabelí se encuentran rocas de granodiorita y Ortogneis.
- Geológicamente se comprueba el estudio de Pilatasig, Gordon, Palacios & Sánchez en el 2005, al hablar sobre las rocas sedimentarias encontradas en la Unidad El Tigre (PzTt) que se tratarían de la erosión del cratón sudamericano, encontrando estas rocas a lo largo del área de estudio en esta Unidad, y al ser parte del Dominio Amotape Tahuin se ha encontrado además rocas metamórficas, en este caso filitas, y cuarcitas, características de esta Unidad.
- La geología estructural del área de estudio, es ocasionada por las fuerzas tectónicas del Plutón de Marcabelí, encontrando fuertes buzamientos en las estratificaciones de lutitas que van desde 36 – 80°, además de observarse pliegues formados en las rocas de arenisca y lutitas, otras evidencias son las diaclasas ortogonales y paralelas.
- Se comprueba el movimiento de la falla dextral, con la evidencia de un micropliegue encontrado al costado derecho en dirección a Balsas, en las rocas filitas, mismo que se encuentra dispuesto de forma tumbado en dirección al sentido de la falla “horario” desarrollando un clivaje con un Buzamiento de 65°NE.
- Se pudo evidenciar en el levantamiento de movimientos en masa, en el primer análisis a partir de la fotointerpretación (ortofotos otorgadas por el SigTierras) un total de 10 movimientos en masa, corroborando y definiendo su exactitud en la visita a campo, con un total de 13 movimientos en masa, ubicados geológicamente en la Unidad El Tigre (PzTt), que de acuerdo a sus características tipológicas, se define que 7 son movimientos de tipo traslacional, 5 rotacional y 1 compuesto, el cual contempla los dos movimientos traslacional y rotacional.
- En el desarrollo del mapa geológico estructural se sintetizó la representación cartográfica de los datos obtenidos en campo (litología, estructuras, Unidades) trabajados en el software ArcGIS 10.5, analizando todos los datos obtenidos in situ, contemplando así la representación por colores y tramados, de acuerdo a las



características de los materiales encontrados, estableciendo dentro del mismo las características más relevantes (signos convencionales) para una mejor orientación y entendimiento. Su levantamiento se desarrolló bajo el Datum WGS 84.

- El mapa de inventario de movimientos en masa fue realizado sobre la base geológica local, este mapa contempla los datos más relevantes de la característica tipológica de cómo se desarrolló el movimiento y el área de afectación en m<sup>2</sup>, desarrollado bajo el Datum WGS 84.



## 9. Recomendaciones

Obtenidos los resultados del presente levantamiento geológico – estructural, se estima recomendar lo siguiente:

- Se recomienda ampliar los estudios geológicos en la Unidad Plutón de Marcabelí y en la Unidad El Tigre, con la finalidad de caracterizar el grado de alteración en los parámetros físicos producidos por la acción de la meteorización y erosión local.
- Al tratarse de un cuerpo intrusivo la Unidad Plutón de Marcabelí, se recomienda realizar estudios geológico estructurales, a mayor detalle a fin de identificar los comportamientos estructurales que ésta ha generado sobre las Unidades colindantes.
- Realizar estudios geofísicos en la zona de estudio especialmente para determinar las depositaciones de los materiales sedimentarios y metamórficos, además de verificar el contacto entre las dos unidades presentes.
- Recomendable en base al inventario de deslizamientos dado en el presente trabajo, realizar un análisis de los factores condicionantes y desencadenantes que produce estos eventos.
- Realizar levantamientos geológicos a mayor detalle, 1:5 000; 1:1 000 los cuales permitan identificar y caracterizar de forma más precisa la litología y sus estructuras levantadas en el área de estudio.



## 10. Bibliografía

- Duque Escobar, G. (2020). Manual de Geología para Ingenieros. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Manual de levantamiento geológico: una introducción a la geología de campo / Horacio Echeveste [et al.]; coordinación general de Horacio Echeveste. -1ra ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata; La Plata: EDULP, 2018.
- Griem. (2020). Apuntes Geología. Obtenido de <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap11.htm>
- Asensio, R. (2010). CICLO LITOLOGICO Y ROCAS. Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16649/ciclo%20rocas.pdf?sequence=1>
- Varela. (2014). Manual de Geología. La Plata. Obtenido de [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc\\_21/pdf/varela\\_misclanea\\_21\\_manual\\_de\\_geologia.pdf](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_21/pdf/varela_misclanea_21_manual_de_geologia.pdf)
- <http://contenidos.educarex.es/mci/2004/35/Diccionario/pliegues.html>
- FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. Engineering Geology, 102:85 – 98.
- KIENHOLZ H.; KRUMMENACHER, B. 1995. Légende modulable pour la cartographie des phénomènes, Dangers natural: Office fédérale de lé environnement des forêts et du paysage OFEFP, 42 p. Davos Dorf, Suiza.
- Castillo L. Angamarca L. Ojeda F. Cuenca D. Introducción a la petrografía, Atena, Ponta Grossa, 2021.
- Soto, M. (2005) “TEXTO UNIVERSITARIO DE PETROLOGÍA, Universidad Nacional Altiplano – Puno. DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA.
- Tarbuck E. Lutgens Frederick (Madrid, 2005), Ciencias de la tierra, Una introducción a la geología física - 8va edición.
- Navarrete, E. (2005). Apuntes de Geología General. Ecuador: ESPOL.
- Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). Topografía: conceptos y aplicaciones. (1a ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones Ltda
- González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, (2002) Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación.



- Heiningen, M. V. (Julio 2009). *espeleogenesis. blogspot*. Recuperado de de espeleogenesis. blogspot: <http://espeleogenesis.blogspot.com/>
- Molina I, Nitescu. B. Universidad de los Andes. (2016). Obtenido de <https://geociencias.uniandes.edu.co/es/investigacion/geologia-estructural>
- Arellano, J. (2010). Universidad Nacional Autónoma de México, pliegues y fallas, obtenido de <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase%2010%20Pliegues.pdf>
- CATEDU. (2018). Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación. Obtenido de [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/750/982/html/21\\_pliegues.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/750/982/html/21_pliegues.html)
- Rincón B. (2016). CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO DEL AREA DEL CONTRATO 01-068-96 “COOPERATIVA COOPROCARBON SUGAMUXI” MUNICIPIO DE GÁMEZA BOYACA. Monografía, (UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA UPTC)
- Educarex. (2004). Obtenido de: <http://contenidos.educarex.es/mci/2004/35/Diccionario/pliegues.html>
- Espinoza R. (2017). CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y ESTRUCTURAL DE LOS AFLORAMIENTOS PRESENTES EN EL CERRO COLORADO, DESDE LA URBANIZACIÓN METRÓPOLIS I HASTA EL INGRESO A VILLA ESPAÑA II. Tesis. (UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES)
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p.
- Beltrán L, (Bogotá, 2019). ELABORACIÓN DE UN INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA MEDIANTE TÉCNICAS GEOMÁTICAS EN EL MUNICIPIO DE VILLET A CUNDINAMARCA. Tesis UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES.
- VARNES, D. J. 1978, Slope movements types and processes. En: SCHUSTER R.L., y KRIZEK R.J. (ed.). Landslides analysis and control: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176: 9 - 33. Washington D.C.



SOETERS, R.; Van WESTEN, C. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation.

En: TURNER And SHUSTER (ed.). Landslides, investigation and mitigation. Special Report 247: 129-177.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Balsas. (GADMB). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial* (2019).

SIGTIERRAS. (2022). Modelo Digital del terreno, Ortofoto, obtenido de:  
<http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo>



## 11. Anexos

### Anexo 1. Ficha de descripción de afloramientos

 		<b>LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DEL TRAMO DE LA VÍA PANAMERICANA, BALSAS – TINAJAS, CANTÓN BALSAS, PROVINCIA DEL ORO, ESCALA 1:10 000</b>			
DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTO					
<b>Fecha:</b>		<b>Ficha N°</b>		<b>Código</b>	
Descripción de:					
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA			COORDENADAS		
<b>Provincia</b>		<b>Datum</b>	WGS84		
<b>Cantón</b>		<b>Coord. X</b>			
<b>Parroquia</b>		<b>Coord. Y</b>			
<b>Barrio/Sector</b>		<b>Altura (m.s.n.m.)</b>			
CARACTERÍSTICAS DEL AFLORAMIENTO		CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL			
<b>Alto (m)</b>		<b>Material 1</b>		<b>Material 2</b>	
<b>Ancho (m)</b>		<b>Estructura</b>		<b>Estructura</b>	
<b>Tipo de Afloramiento</b>		<b>Textura</b>		<b>Textura</b>	
<b>Formación</b>		<b>Meteorización</b>		<b>Meteorización</b>	
<b>Estado de Alteración</b>		<b>Color</b>		<b>Color</b>	
<b>Tipo de Material</b>		<b>Potencia (m)</b>		<b>Potencia (m)</b>	
<b>Color</b>		<b>Rumbo</b>		<b>Rumbo</b>	
<b>Cobertura Vegetal</b>		<b>Buzamiento</b>		<b>Buzamiento</b>	
FOTOGRAFÍA					
ESQUEMA LITOLÓGICO					
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA					

Nota: INIGEMM. Modificado Cajamarca R (2022)



Anexo 2. Ficha de descripción de afloramientos

<b>Ficha de descripción de afloramientos</b>			
<b>1. Información General</b>			
<b>Responsable:</b>			
<b>Nº Ficha:</b>			
<b>Código de muestra:</b>			
<b>2. Información de ubicación</b>			
<b>Este (X)</b>		Coordenadas UTM (Datum WGS84)	
<b>Norte (Y)</b>			
<b>Altura (m.s.n.m)</b>			
<b>3. Características de los componentes</b>			
<b>Color:</b>		<b>Grado de Alteración</b>	
<b>Largo (m)</b>		<b>Alto (m)</b>	
<b>Estructura:</b>		<b>Textura:</b>	
<b>Forma de los clastos:</b>		<b>Tamaño de grano:</b>	
<b>Tipo de material</b>			
<b>4. Descripción:</b>			
<b>Nombre de la roca:</b>			
<b>5. Datos estructurales (elementos de yacencia)</b>			
<b>Rumbo:</b>			
<b>Dirección de buzamiento:</b>			

Nota: INIGEMM. Modificado Cajamarca R (2022)



**Anexo 3. Ficha de Inventario de movimientos en masa**

FICHA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA						
<b>PROYECTO</b>		LEVANTAMIENTO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL DE LA VIA PANAMERICANA BALSAS - TINAJAS, CANTÓN BALSAS, PROVINCIA DEL ORO, ESCALA 1: 10 000				
<b>DATOS GENERALES</b>		<b>COORDENADAS DATUM: UTM WGS84</b>			<b>CÓDIGO</b>	
Cantón		Este/Long.				
Parroquia		Norte/Lat.				
Sector		Altura (m.s.n.m.)				
<b>TIPO DE MOVIMIENTO</b>		<b>ESTADO</b>		<b>HUMEDAD</b>		<b>ESTILO</b>
	Caída		Activo		Seco	Compuesto
	Deslizamiento traslacional		Reactivado		Lig. Húmedo	Único
	Deslizamiento Compuesto		Antiguo		Húmedo	Complejo
	Flujo		Estabilizado		Muy húmedo	Sucesivo
	Reptación		Latente		Mojado	Múltiple
<b>DISTRIBUCIÓN</b>		<b>DEFORMACIÓN DEL TERRENO</b>			<b>COVERTURA VEGETAL</b>	
	Retrogresivo		<b>MODO</b>	<b>SEVERIDAD</b>		Cultivos
	Progresivo		Ondulación	Leve		Bosque/Selva
	Ensanchándose		Escalonamiento	Media		Matorrales
	Confinado		Otro	Severa		Construcciones
	Enjambre					Sin cobertura
<b>MATERIAL</b>		<b>MORFOMETRÍA</b>				
	Roca	GENERAL			DIMENSIONES	
	Detritos	Diferencia de altura corona a punta (m)			Ancho de la masa desplazada Wd (m)	
	Suelo	Longitud horizontal escarpe principal (m)			Longitud de masa desplazada Ld (m)	
<b>PENDIENTE</b>		Pendiente de ladera (°)			Longitud de la línea central Lcl (m)	
	Natural	Dirección de pendiente			Longitud total, L (m)	
	Artificial					
<b>ORIGEN DEL SUELO</b>		<b>DESCRIPCION LITOLÓGICA</b>				
	Residual					
	Coluvial					
	Volcánico					
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>						

**Nota:** (GEMMA). Modificado Cajamarca R (2022)

#### Anexo 4. Fotointerpretación de Movimientos en Masa



Nota: Cajamarca R (2022)

En el proceso de fotointerpretación de los movimientos en masa se pudo determinar 10 movimientos en la zona de estudio, por un evidente cambio en el tono con coloraciones claras, con una falta de vegetación repentina, y que de acuerdo al análisis del mapa de pendientes, se encuentra en zonas de alta pendiente de carácter “Muy inclinado” Hasta “Empinado” y considerando la litología de la zona como geológicamente inestable al tratarse de arcillas, lutitas, grauvacas, se vio la necesidad de corroborar en la zona, mediante la ficha de campo cada uno de los procesos.



Anexo 5. Ficha de descripción macroscópica

<b>Ficha para descripción macroscópica de rocas</b>			
<b>1. Información General</b>			
<b>Responsable:</b>	Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo		
<b>N° Ficha:</b>			
<b>Código de muestra:</b>			
<b>2. Información de ubicación</b>			
<b>Este (X)</b>		Coordenadas UTM (Datum WGS84)	
<b>Norte (Y)</b>			
<b>Altura (m.s.n.m)</b>			
<b>3. Características de los componentes</b>			
<b>Color:</b>		<b>Grado de Meteorización</b>	
<b>Estructura:</b>		<b>Textura:</b>	
<b>Forma de los granos:</b>		<b>Tamaño de grano:</b>	
<b>Minerales:</b>			
<b>4. Descripción Petrográfica:</b>			

Nota: INIGEMM. Modificado Cajamarca R (2022)



**Anexo 6.** Mapa Topográfico

**Anexo 7.** Mapa de Pendientes

**Anexo 8.** Mapa de Isotermas

**Anexo 9.** Mapa de Isoyetas

**Anexo 10.** Fotointerpretación de la geología estructural

**Anexo 11.** Columnas Estratigráficas de la zona de estudio

**Anexo 12.** Mapa de geología Local

**Anexo 13.** Mapa de Inventario de movimientos en masa

(Ubicados en el CD.R Nro. 1 )



#### **Anexo 14.** Certificación de traducción del resumen

Manuel Arturo Sevillano Valdez

#### **LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN ESPECIALIZACIÓN INGLÉS**

Certifico. –

Que la traducción del documento adjunto por el señor Ricardo Fabricio Cajamarca Jaramillo con número de cédula de ciudadanía 0750449357, cuyo tema de investigación se titula “Levantamiento geológico estructural del tramo de la vía panamericana, Balsas - Tinajas, cantón Balsas, provincia del Oro, escala 1:10 000”, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciado en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

Manuel Arturo Sevillano Valdez

**Licenciado en ciencias de la educación especialización inglés**

**C.I:** 0703522060

**Numero de registro:** 1011-06-689396



Quito, 26/08/2022

CERTIFICADO DE REGISTRO DE TÍTULO

La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, certifica que SEVILLANO VALDEZ MANUEL ARTURO, con documento de identificación número 0703522060, registra en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador (SNIESE), la siguiente información:

Nombre: SEVILLANO VALDEZ MANUEL ARTURO  
 Número de documento de identificación: 0703522060  
 Nacionalidad: Ecuador  
 Género: MASCULINO

Título(s) de tercer nivel de grado

Número de registro	1011-06-689396
Institución de origen	UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
Institución que reconoce	
Título	LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACION ESPECIALIZACION INGLES
Tipo	Nacional
Fecha de registro	2006-06-06
Observaciones	