



1859

**UNL**

## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO  
RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**TÍTULO:**

**LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA "LA TINGUE"  
PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA A ESCALA 1:10 000.**

**Tesis previa a la obtención del título de  
Ingeniero en Geología Ambiental y  
Ordenamiento Territorial**

**AUTOR:**

**Stalin Fernando Jiménez Jiménez.**

**DIRECTOR:**

**Ing. Fermín Alexander González Sisalima. Mg. Sc.**

**Loja - Ecuador**

**2022**



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Certificación de tesis

Ingeniero.

Fermin Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: STALIN FERNANDO JIMÉNEZ JIMÉNEZ con C.I.; 1105272908, en su proceso de investigación denominado: “LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA “LA TINGUE” PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA A ESCALA 1:10 000”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizó su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 13 de enero de 2022



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

---

Fermin Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

### **Autoría de tesis**

Yo, **STALIN FERNANDO JIMÉNEZ JIMÉNEZ**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi tesis en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**C.I:** 1105272908

**Fecha:** 24/03/2022

**Correo electrónico:** [stalin.jimenez@unl.edu.ec](mailto:stalin.jimenez@unl.edu.ec)

**Celular:** +593 988967705



**Carta de autorización de tesis por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo.**

Yo **STALIN FERNANDO JIMÉNEZ JIMÉNEZ** declaro ser autor de la tesis titulada **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA “LA TINGUE” PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA A ESCALA 1:10 000”** como requisito para optar el 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 la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticuatro días del mes de marzo del dos mil veintidós.

**Firma:**

**Autor:** Stalin Fernando Jiménez Jiménez

**Cédula:** 1105272908

**Dirección:** Ciudadela El Rosal, calle Antonio Machado

**Correo electrónico:** [stalin.jimenez@unl.edu.ec](mailto:stalin.jimenez@unl.edu.ec)

**Celular:** +593 988967705

**DATOS COPLEMENTARIOS:**

**Director de Tesis:** Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc

**Tribunal de Grado:** Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc

Ing. Stalin Iván Puglla, Mg. Sc.

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg. Sc.



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo y sustento fundamental a lo largo de mi carrera universitaria y de mi vida.

*Stalin Fernando Jiménez Jiménez*



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Agradecimiento

Agradezco sumamente a mi familia, profesores, amigos y demás participantes de la investigación. Gracias por su apoyo, guía e ideas que contribuyeron en este trabajo investigativo.

*Stalin Fernando Jiménez Jiménez*



## Índice

<b>Carátula.....</b>	<b>i</b>
<b>Certificación de tesis.....</b>	<b>ii</b>
<b>Autoría.....</b>	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización.....</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>x</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>xii</b>
<b>1 Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Resumen.....</b>	<b>2</b>
2.1 Abstract.....	3
<b>3 Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Marco teórico.....</b>	<b>6</b>
4.1 Geología.....	6
4.1.1 Rocas ígneas.....	6
4.1.2 Rocas sedimentarias.....	12
4.1.3 Rocas metamórficas.....	14
4.1.4 Ciclo de las Rocas.....	15
4.2 Geología estructural.....	15
4.2.1 Tipo de esfuerzos.....	16
4.2.2 Estructuras geológicas.....	17
4.2.3 Mapeo de estructuras geológicas.....	22
4.3 Estratigrafía.....	23
4.3.1 Principios de la clasificación estratigráfica.....	23
4.3.2 Unidad Litoestratigráficas.....	24



4.3.3	Principios estratigráficos. ....	24
4.3.4	Correlaciones estratigráficas. ....	26
4.4	Mapeo geológico. ....	26
4.4.1	Elaboración de mapas geológicos. ....	26
4.5	Sistemas de Información Geográfica. ....	30
4.5.1	Datos. ....	30
4.5.2	Modelos de datos. ....	31
4.5.3	Modelo Digital de Terreno (MDT). ....	32
4.6	Proyección estereográfica. ....	32
4.6.1	Aplicaciones en geología estructural. ....	34
<b>5</b>	<b>Materiales y métodos. ....</b>	<b>35</b>
5.1	Materiales. ....	35
5.2	Métodos. ....	35
5.3	Metodología. ....	35
5.3.1	Metodología para el primer objetivo. ....	35
5.3.2	Metodología para el segundo objetivo. ....	37
5.3.3	Metodología para el tercer objetivo. ....	38
<b>6</b>	<b>Resultados. ....</b>	<b>40</b>
6.1	Descripción general del área de estudio. ....	40
6.1.1	Ubicación. ....	40
6.1.2	Acceso. ....	41
6.2	Descripción biofísica del sector. ....	42
6.2.1	Hidrografía. ....	42
6.2.2	Precipitación. ....	42
6.2.3	Pendiente. ....	43
6.2.4	Geomorfología. ....	43
6.2.5	Clima. ....	44





6.2.6	Ecosistemas.....	45
6.3	Marco geológico regional.....	46
6.4	Geología local.....	51
6.4.1	Unidad Bramaderos (KBr).....	51
6.4.2	Unidad Catacocha (OCat).....	54
6.4.3	Unidad Zambi (KZ).....	57
6.4.4	Unidad Yunguilla (KY).....	60
6.4.5	Unidad Celica (KCe).....	61
6.4.6	Subvolcánico.....	64
6.4.7	Coluvial (Qc).....	65
6.5	Estructuras.....	66
6.5.1	Pliegues.....	66
6.5.2	Diaclasas.....	68
6.5.3	Fallas.....	69
6.6	Cortes geológicos locales.....	71
<b>7</b>	<b>Discusión de resultados.....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>80</b>
<b>11</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>85</b>

## Índice de figuras.

<b>Figura 1</b> Texturas de las rocas ígneas .....	7
<b>Figura 2</b> Mineralogía de las rocas ígneas comunes y de los magmas a partir de los que se forman. ....	9
<b>Figura 3</b> Clasificación de los principales grupos de rocas ígneas según su composición mineral y su textura. ....	11
<b>Figura 4</b> Rocas ígneas intrusivas.....	11
<b>Figura 5</b> Rocas ígnea extrusivas.....	12
<b>Figura 6</b> Rocas ígneas ultrabásicas. ....	12
<b>Figura 7</b> Rocas sedimentarias detríticas .....	13
<b>Figura 8</b> Rocas sedimentarias químicas. ....	13
<b>Figura 9</b> Clasificación de las rocas metamórficas comunes. ....	14
<b>Figura 10</b> Ciclo de las rocas. ....	15
<b>Figura 11</b> Tipo de esfuerzos en geología .....	16
<b>Figura 12</b> Estructuras geológicas primarias. ....	17
<b>Figura 13</b> Elementos de un pliegue. ....	18
<b>Figura 14</b> Clasificación de los pliegues .....	19
<b>Figura 15</b> Tipos de diaclasas .....	20
<b>Figura 16</b> Partes de una falla geológica. ....	21
<b>Figura 17</b> Clasificación básica de fallas.....	22
<b>Figura 18</b> Diagrama de corte transversal representando horst y graben .....	22
<b>Figura 19</b> Dirección y buzamiento de un estrato rocoso.....	23
<b>Figura 20</b> Horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos .....	25
<b>Figura 21</b> Superposición de los estratos.....	25
<b>Figura 22</b> Sucesión faunística o de la correlación.....	25
<b>Figura 23</b> Esquema de realización de la cartografía geológica convencional. ....	27
<b>Figura 24</b> Símbolos de mapas geológicos.....	29
<b>Figura 25</b> Algunos símbolos geológicos litológicos. ....	29
<b>Figura 26</b> Colores por edad .....	29
<b>Figura 27</b> Colores litológicos.....	30
<b>Figura 28</b> Modelo ráster y modelo vectorial.....	31
<b>Figura 29</b> Diferencia entre MDS y MDT .....	32
<b>Figura 30</b> Proyección estereográfica, .....	33

<b>Figura 31</b> Elementos que definen una recta y un plano en geología.....	33
<b>Figura 32</b> Proyección estereográfica de un plano inclinado. ....	34
<b>Figura 33</b> Elementos de un plano y una recta .....	34
<b>Figura 34</b> Ubicación de la zona de estudio. ....	40
<b>Figura 35</b> Acceso terrestre a la zona de estudio.....	41
<b>Figura 36</b> Red hídrica de la zona Sur de la parroquia La Tingue .....	42
<b>Figura 37</b> Pendientes de la zona Sur de la parroquia La Tingue.....	43
<b>Figura 38</b> Unidades Geomorfológicas de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ...	44
<b>Figura 39</b> Clima de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	45
<b>Figura 40</b> Ecosistemas de la zona Sur de la parroquia La Tingue .....	46
<b>Figura 41.</b> Esquema de los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador. ....	47
<b>Figura 42</b> Geología regional de la zona Sur de la Parroquia la Tingue. ....	48
<b>Figura 43</b> Afloramiento de toba volcánica.....	52
<b>Figura 44</b> Afloramiento de aglomerado volcánico .....	53
<b>Figura 45</b> Afloramiento de toba masiva.....	55
<b>Figura 46</b> Afloramiento de andesita en un cuello volcánico.....	56
<b>Figura 47</b> Afloramiento de brecha volcánica. ....	57
<b>Figura 48</b> Afloramiento de lutita.....	58
<b>Figura 49</b> Afloramiento de metalutita .....	59
<b>Figura 50</b> Afloramiento de limolita .....	60
<b>Figura 51</b> Afloramiento de limolita .....	61
<b>Figura 52</b> Afloramiento de andesita.....	62
<b>Figura 53</b> Afloramiento de toba. ....	63
<b>Figura 54</b> Afloramiento de andesita porfídica. ....	65
<b>Figura 55</b> Afloramiento del depósito coluvial. ....	66
<b>Figura 56</b> Pliegue anticlinal inclinado .....	67
<b>Figura 57</b> Flanco de un pliegue anticlinal erosionado. ....	67
<b>Figura 58</b> Pliegues de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	68
<b>Figura 59</b> Diaclasa de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	69
<b>Figura 60</b> Fallas de la zona de estudio. ....	70
<b>Figura 61</b> Falla normal en el sector El Chorro.....	71
<b>Figura 62</b> Corte geológico A-A' de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	72
<b>Figura 63</b> Corte geológico B-B' de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	72



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

## Índice de tablas.

<b>Tabla 1</b> Tamaño del grano mineral. ....	8
<b>Tabla 2</b> Clasificación de las rocas ígneas por el contenido de SiO <sub>2</sub> .....	10
<b>Tabla 3</b> Tipos de pliegues.....	18
<b>Tabla 4</b> Tipos de eventos simultaneo en el tiempo. ....	26
<b>Tabla 5</b> Materiales y equipos. ....	35
<b>Tabla 6</b> Ubicación de la zona de estudio.....	41
<b>Tabla 7</b> Pendientes de la zona Sur de la parroquia La Tingue. ....	43
<b>Tabla 8</b> Unidades Geomorfológicas de la zona Sur de la parroquia La Tingue.....	44
<b>Tabla 9</b> Ecosistemas de la Parroquia La Tingue .....	45



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales No Renovables

# 1 Título.



LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUR DE LA  
PARROQUIA “LA TINGUE” PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA  
DE LOJA A ESCALA 1:10 000



## 2 Resumen.

La parroquia la Tingue está ubicada al Sur del territorio ecuatoriano, al Norte de la provincia de Loja y al Este del cantón Olmedo al que pertenece, esta parroquia tiene una superficie de 51,49km<sup>2</sup>, de los cuales 25.74km<sup>2</sup> conforman La Tingue Sur que es la zona de estudio. Esta área de investigación está limitada geográficamente al Norte con la división La Tingue Norte, al Este la parroquia Zambí y al Sureste con la parroquia San Pedro De La Bendita, parroquias pertenecientes al cantón Catamayo, al Sur limita con la parroquia Catacocha del cantón Paltas, y al Oeste con la parroquia Olmedo del cantón Olmedo.

Con el levantamiento geológico - estructural de la zona Sur de la parroquia La Tingue a escala 1:10 000 se llega a caracterizar siete Unidades litológicas: Unidad Celica, Unidad Bramaderos, Unidad Catacocha, Unidad Zambí, Unidad Yunguilla, Subvolcánico y Depósito Coluvial. La Unidad Celica es la más extensa con 8.41km<sup>2</sup> y a su vez constituye el basamento de la zona de estudio, esta unidad litológica aflora en los sectores Aguasillas y Yacuma, se encuentra compuesta por andesitas (lavas andesíticas) y toba (toba cristalina). La Unidad Bramaderos aflora en los sectores Aguasillas, Guayuro, Tambara Bajo y Chivatos, ocupando 4.83km<sup>2</sup>, está formada por toba volcánica (toba cristalina) y aglomerado volcánico. La Unidad Catacocha se emplaza en los sectores Cola, Chivatos y Yacuma, con una superficie de 4.21km<sup>2</sup>, está compuesta por toba masiva (toba cristalina), andesita (asociada a cuellos volcánicos) y brecha volcánica. La Unidad Zambí se ubica en los sectores Tambara, Guayuro y Lobongo, extensionalmente ocupa 5.11km<sup>2</sup>, está compuesta de lutita, metalutita y limolita. La Unidad Yunguilla, se ubica en los sectores Aguasillas y Cola, ocupa 1.39km<sup>2</sup>, y está formada por limolitas. El Subvolcánico se ubica en el sector Aguasillas en una superficie de 0.39km<sup>2</sup>, este cuerpo hipoabisal es de composición andesítica. Finalmente, el Depósito Coluvial ubicado en el sector Guayuro, ocupa 1.40km<sup>2</sup> de superficie, está compuesto de fragmentos andesíticos soportados en una matriz limosa.

En cuanto a la geología estructural, se identificó mediante la fotointerpretación y el levantamiento en campo de todos los afloramientos estructuras importantes en la zona de estudio, como: pliegues anticlinales, diaclasas con distintas direcciones y buzamientos, y 7 fallas geológicas, de las cuales 6 son inferidas y 1 es observada, la más representativa es una falla dextral inferida que cruza toda la zona de estudio en sentido S-N.

**Palabras clave:** geología estructural, levantamiento geológico, mapeo por afloramientos.

## 2.1 Abstract.

La Tingue parish is located in southern Ecuadorian territory, north of the province of Loja and east of the Olmedo canton to which it belongs. This parish has an area of 51.49km<sup>2</sup>, of which 25.74km<sup>2</sup> make up La Tingue Sur, which is the study area. This research area is geographically limited to the north by La Tingue Norte division, to the east by Zambí parish and to the southeast by San Pedro De La Bendita parish, parishes belonging to Catamayo county, to the south by Catacocha parish of Paltas county, and to the west by Olmedo parish of Olmedo county.

With the geological-structural survey of the southern zone of La Tingue parish at a scale of 1:10,000, seven lithological units have been characterized: Celica Unit, Bramaderos Unit, Catacocha Unit, Zambí Unit, Yunguilla Unit, Subvolcanic Unit and Colluvial Deposit. The Celica Unit is the largest with 8.41km<sup>2</sup> and is the basement of the study area. This lithological unit outcrops in the Aguasillas and Yacuma sectors and is composed of andesites (andesitic lavas) and tuff (crystalline tuff). The Bramaderos Unit outcrops in the Aguasillas, Guayuro, Tambara Bajo and Chivatos sectors, occupying 4.83km<sup>2</sup> and is composed of volcanic tuff (crystalline tuff) and volcanic agglomerate. The Catacocha Unit is located in the Cola, Chivatos and Yacuma sectors, with an area of 4.21km<sup>2</sup>, and is composed of massive tuff (crystalline tuff), andesite (associated with volcanic necks) and volcanic breccia. The Zambí Unit is located in the Tambara, Guayuro and Lobongo sectors; it occupies an extensional area of 5.11km<sup>2</sup> and is composed of shale, metallutite and siltstone. The Yunguilla Unit is located in the Aguasillas and Cola sectors, occupies 1.39km<sup>2</sup>, and is formed by siltstones. The Subvolcanic Unit is located in the Aguasillas sector in an area of 0.39km<sup>2</sup>, this hypoabyssal body is of andesitic composition. Finally, the Colluvial Deposit located in the Guayuro sector, occupies an area of 1.40km<sup>2</sup> and is composed of andesitic fragments supported in a silty matrix.

Regarding the structural geology, important structures in the study area were identified through photo interpretation and field survey of all outcrops, such as: anticlinal folds, diaclasses with different directions and dips, and 7 geological faults, of which 6 are inferred and 1 is observed, the most representative is an inferred dextral fault that crosses the entire study area in a S-N direction.

**Key words:** *structural geology, geological survey, outcrop mapping.*

### 3 Introducción.

En la actualidad, en la región Sur del Ecuador la cartografía geológica - estructural a detalle es escasa, sin embargo, dicha información es necesaria para el desarrollo de proyectos ingenieriles, Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), etc., pero al no existir a escalas mayores se trabaja con información a escalas generales. Motivo por el cual se desarrolló este proyecto investigativo, con la finalidad de aportar datos geológico - estructurales detallados a partir de estudios técnico-científicos.

El área de estudio está comprendida en varios estudios geológicos como los de Wolf, T. en 1892 y CODIGEM-BGS hasta el 2000, en escalas de 1:2.000.000 y 1:200.000 respectivamente. En una edición provisional en 1980 J. B. Kennerley, bajo la dirección de la Misión Británica publicaron la Hoja Geológica de Zaruma a escala 1:100 000. En el año 2005 se desarrolla el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA:GCA), donde se describe la geología del Sur de Ecuador y Norte de Perú a escala 1:500 000. El trabajo más reciente es el desarrollado en 2013 por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM,) con la actualización de la Hoja Geológica de Zaruma a escala 1:100 000.

El presente trabajo de investigación titula “LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA “LA TINGUE” PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA A ESCALA 1:10 000”, que se enfoca en la recopilación y generación de información geológica - estructural, determinando unidades litológicas y estructuras presentes (pliegues, diaclasas y fallas) en la zona de estudio, aplicando el método de mapeo de todos los afloramientos.

Para la ejecución de esta investigación, primeramente, se inició con el marco geológico regional y la realización de la cartografía base del área estudiada, posteriormente, la fotointerpretación realizando un análisis geológico - estructural de la zona de estudio, datos que más adelante fueron corroborados en campo. Para la fase de campo se implementó el mapeo de todos los afloramientos, idóneo para cartografía detallada a escala 1:10 000, las muestras de roca recolectadas de afloramientos representativos se caracterizaron macroscópicamente para su distinción litológica. Toda la información geológica - estructural compilada se plasmó en el mapa geológico - estructural a escala 1:10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue, adicional a ello se realizaron cortes geológicos interpretativos complementarios.





Para el cumplimiento de este proyecto investigativo se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo general.

Realizar el levantamiento geológico - estructural de la zona Sur de la parroquia “La Tingue”, ubicada en el cantón Olmedo, provincia de Loja a escala 1:10 000.

Objetivos específicos.

- Identificar y caracterizar las unidades litológicas y su correlación estratigráfica.
- Determinar y caracterizar las estructuras geológicas del área de estudio.
- Elaborar el mapa geológico - estructural de la zona Sur de la parroquia La Tingue a escala 1:10 000.

## 4 Marco teórico.

### 4.1 Geología.

La geología estudia la composición y constitución de la corteza terrestre, los fenómenos que en esta suceden y las leyes físicas y químicas por las que se rigen. La geología investiga la historia y evolución de las actividades de la tierra desde los tiempos más remotos hasta la actualidad, la composición, disposición y origen de las rocas, y los minerales que forman la corteza terrestre y los procesos que han dado lugar a su presente estructura (Plaza, 2008)

La geología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de la Tierra, se centra fundamentalmente en el análisis de su composición y estructura, y en establecer la dinámica de los procesos que tienen lugar tanto en la superficie, como el interior del planeta. (Carenas, Giner, González, & Pozo, 2014).

Geología es la ciencia que estudia la tierra, en todos sus aspectos y alcances, su origen, constitución, evolución, los procesos que se realizan en ella tanto interna como externamente a través del tiempo geológico. (Dávila J. , 2011)

#### 4.1.1 Rocas ígneas.

Roca resultante del enfriamiento y consolidación de un magma. La roca ígnea resultante es función de la composición original (constituyentes minerales) del magma parental y de la velocidad de enfriamiento (textura) (Navarrete, 2005).

##### a) *Texturas de las rocas ígneas.*

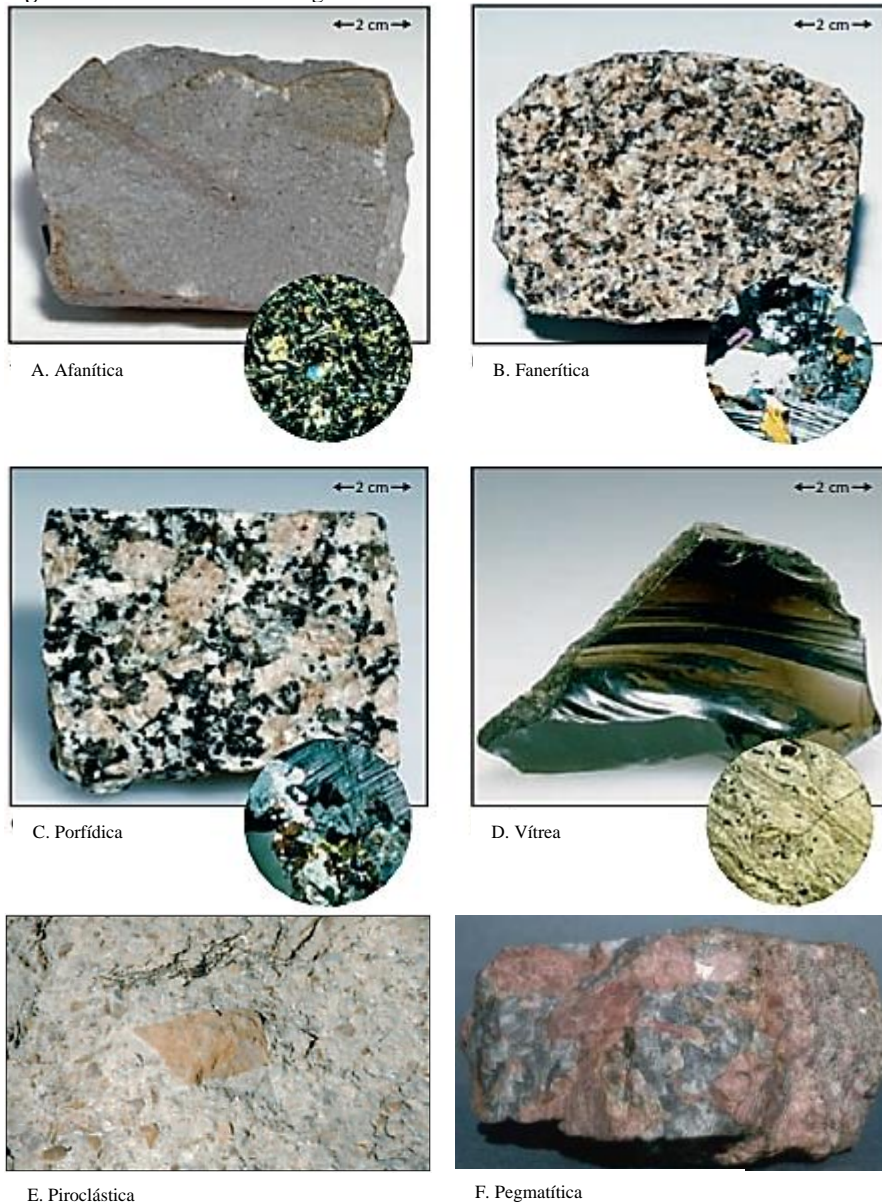
Según (Tarbuck & Lutgens, 2005) la textura es una característica importante utilizada para describir el aspecto general de la roca en función del tamaño, forma y ordenamiento de sus cristales. Los tipos de textura se describen a continuación:

- Textura afanítica (de grano fino): Textura de las rocas constituidas por minerales o partículas muy finos que sólo pueden ser discriminados al microscopio. Esta textura es característica de las rocas volcánicas. (Dávila J. , 2011)
- Textura fanerítica (de grano grueso): Roca cuyos elementos (minerales) componentes tienen un tamaño que pueden ser distinguidos a la simple vista del ojo. También se le denomina textura granular. Esta textura es propia de las rocas ígneas plutónicas. (Dávila J. , 2011).
- Textura porfídica: grandes cristales (fenocristales) incrustados en una matriz de cristales más pequeños (pasta). (Tarbuck & Lutgens, 2005). Algunos geólogos la dividen en dos

tipos a esta textura: Textura porfídica es aquella con pasta fanerítica, y textura porfirítica cuya pasta es afanítica (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021).

- Textura vítrea: Textura de algunas rocas volcánicas que han sufrido un enfriamiento rápido, dando lugar a una masa amorfa en la que no se diferencian cristales. Suele presentar las características de un vidrio: fragilidad, fractura concoidea y ausencia de exfoliación. (RACEFN, 2011)

**Figura 1** Texturas de las rocas ígneas



**Nota:** Adaptado de (Tarbuck & Lutgens, 2005), elaborado por (Jiménez, 2022).

- Textura piroclástica: Algunas rocas ígneas se forman por la consolidación de fragmentos de roca individuales que son emitidos durante erupciones volcánicas violentas (cenizas muy finas, gotas fundidas o grandes bloques angulares arrancados de las paredes de la

chimenea volcánica durante la erupción). Las rocas ígneas formadas por estos fragmentos de roca se dice que tienen una textura piroclástica o fragmental. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

- Textura pegmatítica: Bajo condiciones especiales, pueden formarse rocas ígneas de grano especialmente grueso, denominadas pegmatitas. Esas rocas, que están compuestas por cristales interconectados todos mayores de un centímetro de diámetro, se dice que tienen una textura pegmatítica. (Tarbuck & Lutgens, 2005) Intercrecimiento simplectítico de cuarzo y feldespato formando microestructuras gráficas. (RACEFN, 2011)

Se puede establecer relaciones de tamaño de los granos de la siguiente manera:

**Tabla 1** Tamaño del grano mineral.

<b>Grano grueso</b>	>5mm
<b>Grano medio</b>	5-1mm
<b>Grano fino</b>	<1mm

**Nota:** Adaptado de (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)

### ***b) Composición de las rocas ígneas***

Las rocas ígneas están compuestas fundamentalmente por silicatos. La composición mineral de una roca ígnea está definida en última instancia por la composición química del magma a partir del cual cristaliza.

El análisis químico demuestra que el oxígeno (O) y el silicio (Si) (contenido en sílice [SiO<sub>2</sub>] de un magma) son los constituyentes mayoritarios de las rocas ígneas. Estos dos elementos, más los iones aluminio (Al), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), hierro (Fe) constituyen aproximadamente el 98% en peso de muchos magmas. Además, el magma contiene pequeñas cantidades de muchos otros elementos, entre ellos el titanio y el manganeso, y trazas de muchos elementos más raros, como oro, plata y uranio.

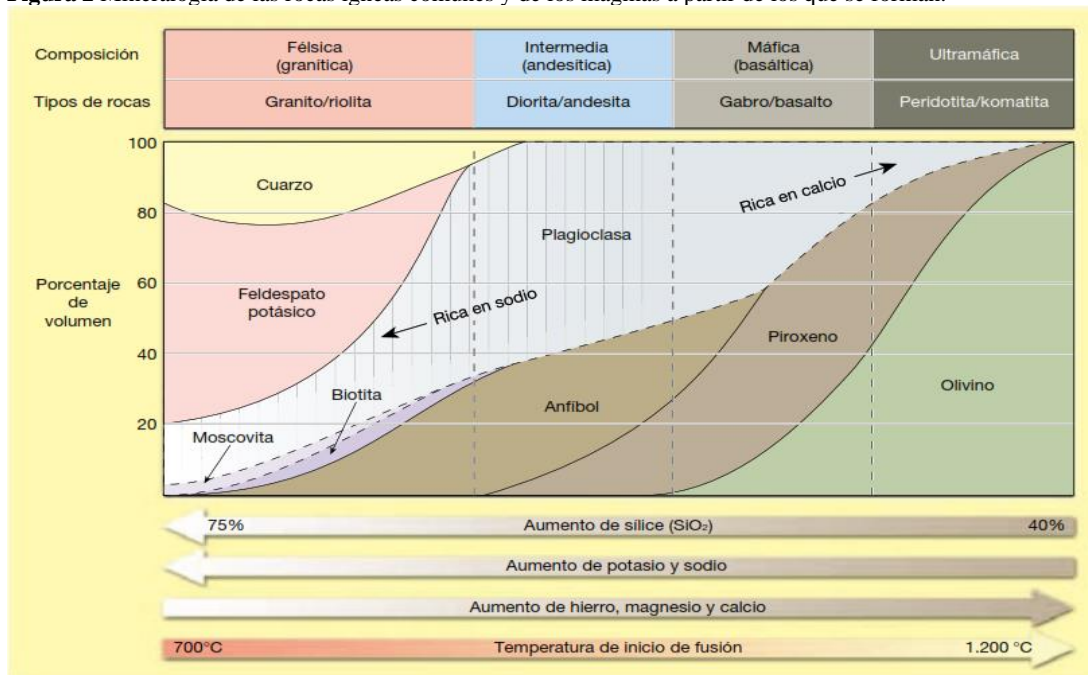
Conforme el magma se enfría y solidifica, esos elementos se combinan para formar dos grupos importantes de silicatos. Los silicatos oscuros (o ferromagnesianos) son minerales ricos en hierro y en magnesio, o en ambos, y normalmente con bajo contenido en sílice. El olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita son los constituyentes ferromagnesianos comunes de la corteza terrestre. Por el contrario, los silicatos claros contienen mayores cantidades de potasio, sodio y calcio que de hierro y magnesio. Como grupo, esos minerales son más ricos en sílice que los silicatos oscuros. Entre los silicatos claros se cuentan el cuarzo, la moscovita y el grupo mineral más abundante, los feldespatos.

## ❖ Composiciones graníticas frente a composiciones basálticas.

Las rocas ígneas (y los magmas de los que se forman) pueden clasificarse a grosso modo en función de sus proporciones de minerales oscuros y claros. Cerca de uno de los extremos se encuentran las rocas compuestas fundamentalmente por silicatos de colores claros: cuarzo y feldespatos. Las rocas ígneas en las que éstos son los minerales dominantes tienen una composición granítica (félsica). Además del cuarzo y el feldespato, la mayoría de las rocas ígneas contiene alrededor del 10% de silicatos oscuros, normalmente biotita y anfíbol.

Las rocas que contienen cantidades sustanciales de silicatos oscuros y plagioclasa rica en calcio (pero no cuarzo) se dice que tienen una composición basáltica (máfica). Debido a su contenido en hierro, las rocas máficas son normalmente más oscuras y densas que otras rocas ígneas.

**Figura 2** Mineralogía de las rocas ígneas comunes y de los magmas a partir de los que se forman.



**Nota:** Adaptado de (Tarbuck & Lutgens, 2005), elaborado por (Jiménez, 2022).

## ❖ Otros grupos composicionales.

Como se observa en la figura 2, las rocas con una composición comprendida entre las rocas graníticas y las basálticas se dice que tienen una composición intermedia o andesítica. Las rocas intermedias contienen al menos un 25% de silicatos oscuros, principalmente anfíbol, piroxeno y biotita, el otro mineral dominante es la plagioclasa.

Esta importante categoría de rocas ígneas se asocia con la actividad volcánica que normalmente se localiza en los márgenes de los continentes. Otra roca ígnea importante, la peridotita, contiene fundamentalmente olivino y piroxeno, y por tanto se encuentra en el lado

opuesto del espectro composicional de las rocas graníticas (figura 2). Dado que la peridotita está compuesta casi por completo por minerales ferromagnesianos, se hace referencia a su composición química como ultramáfica. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

c) **Clasificación de las rocas ígneas.**

❖ **Clasificación por su origen.**

- *Roca ígnea intrusiva:* Se solidifica dentro de la corteza terrestre a profundidades mayores a 2 Km; está conformada por cristales grandes y tiene una textura cristalina gruesa y media. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)
- *Roca ígnea filoniana o subvolcánica o hipoabisal:* Se solidifica dentro de la corteza terrestre a profundidades menores a 2 Km., estas rocas se encuentran en los conductos y chimeneas que han logrado solidificarse; se caracterizan por su matriz fina con fenocristales. La denominación de estas rocas se efectúa de la misma manera que las rocas ígneas intrusivas, solamente adicionando el término porfídico o porfirítico, por ejemplo, granito porfirítico. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)
- *Roca ígnea extrusiva:* Son aquellas que salen a través de los volcanes ya sea en forma de piroclastos (fragmentos del tamaño de la ceniza o grandes bloques de varios metros de diámetro), o en forma de lava que se solidifica en la superficie. La textura de estas rocas es fina y cristalina, a veces hay presencia de fenocristales. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)

❖ **Clasificación química.**

Está en función de la proporción de silicatos oscuros o ferromagnesianos (ricos en hierro, magnesio y calcio con bajo contenido en sílice) y silicatos claros (ricos en potasio, sodio, con alto contenido en sílice). (Tabla 2 y Figura 3).

**Tabla 2** Clasificación de las rocas ígneas por el contenido de SiO<sub>2</sub>

<b>Composición</b>	Félsica (granítica)	Intermedia (andesítica)	Máfica (basáltica)	Ultramáfica
<b>Contenido de Sílice</b>	>65% SiO <sub>2</sub>	52-65 % SiO <sub>2</sub>	45-52% SiO <sub>2</sub>	<45% SiO <sub>2</sub>

**Nota:** Basado en (Tarbuck & Lutgens, 2005), elaborado por (Jiménez, 2022).

**Figura 3** Clasificación de los principales grupos de rocas ígneas según su composición mineral y su textura.

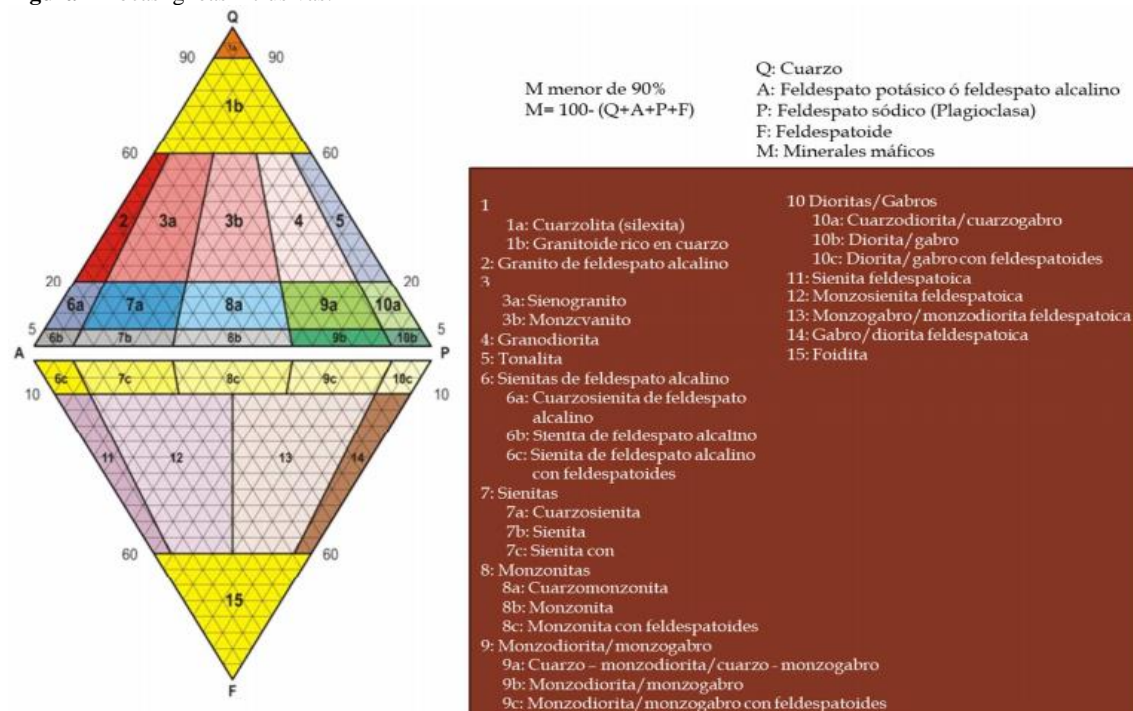
Composición química		Granítica (félsica)	Andesítica (intermedia)	Basáltica (máfica)	Ultramáfica
Minerales dominantes		Cuarzo Feldespato potásico Plagioclasa rica en sodio y calcio	Anfibol Plagioclasa rica en sodio y calcio	Piroxeno Plagioclasa rica en calcio	Olivino Piroxeno
Minerales accesorios		Anfibol Moscovita Biotita	Piroxeno Biotita	Anfibol Olivino	Plagioclasa rica en calcio
TEXTURA	Fanerítica (grano grueso)	Granito	Diorita	Gabro	Peridotita
	Afanítica (grano fino)	Riolita	Andesita	Basalto	Komatita (poco común)
	Porfídica	«Porfídico» precede cualquiera de los nombres anteriores siempre que haya fenocristales apreciables			
	Vitrea	Obsidiana (vidrio compacto) Pumita (vidrio vacuolar)			Poco comunes
	Piroclástica (fragmentaria)	Toba (fragmentos de menos de 2 mm) Brecha volcánica (fragmentos de más de 2 mm)			
Color de la roca (basado en el % de minerales oscuro)		0% a 25%	25% a 45%	45% a 85%	85% a 100%

**Nota:** Obtenido de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

### ❖ Diagrama QAFP o Streckeisen.

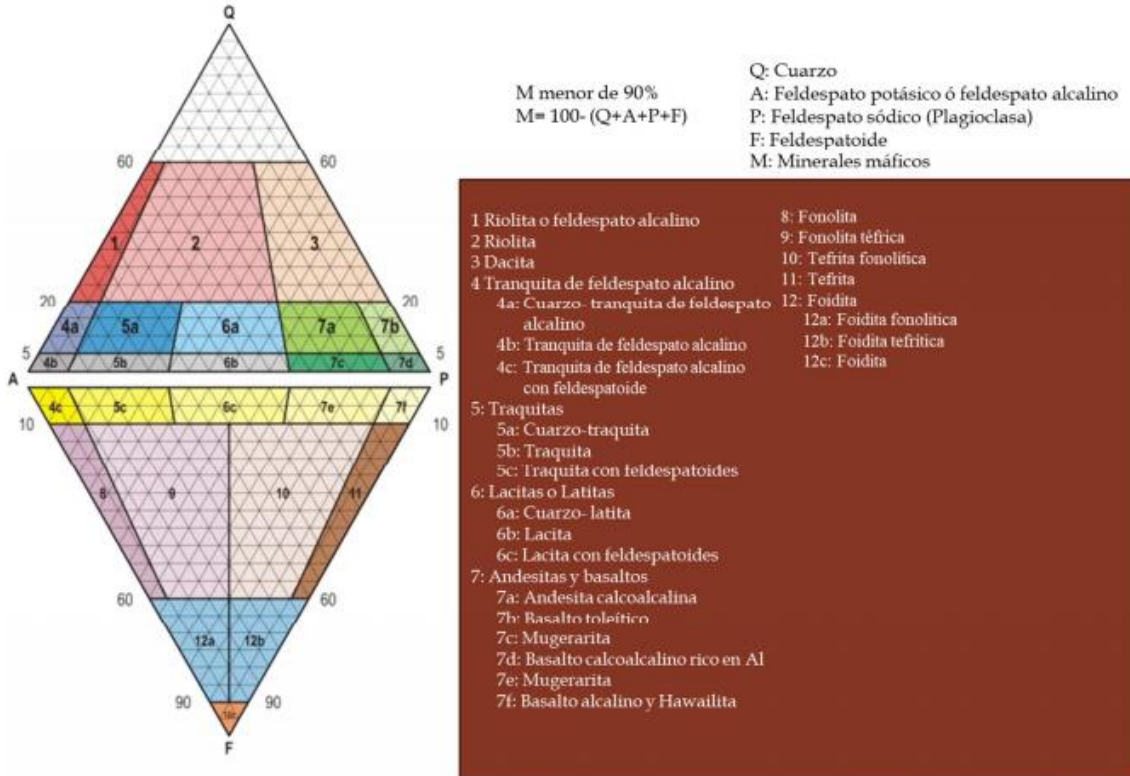
El diagrama "STRECKEISEN" o "QAPF" es actualmente el diagrama más "oficial" en la denominación de las rocas ígneas. El diagrama permite en una manera bastante fácil la denominación de rocas plutónicas (figura 4) y volcánicas (figura 5). Solamente el contenido modal de 4 minerales en una muestra (y la textura) definen al final el nombre de la roca. (Griem W. , 2020)

**Figura 4** Rocas ígneas intrusivas.



**Nota:** Recuperado de (Moreno & Ibañez, s.f.)

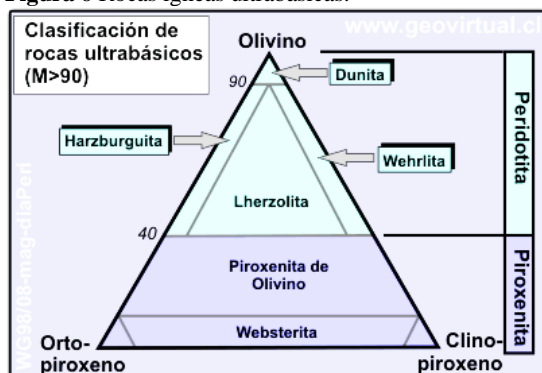
**Figura 5** Rocas ígnea extrusivas.



**Nota:** Recuperado de (Moreno & Ibañez, s.f.)

Existen solamente pocas excepciones: Nombres como "ignimbrita" o piedra pómez no tienen su origen en este diagrama. Además, todas las rocas con un contenido menor de 10% en Q-A-P-F, significa sí la suma del contenido modal en cuarzo + feldespato alcalino + plagioclasa + feldespatoides no alcanza 10 % se tratan en un otro diagrama, el diagrama de los ultrabásicos (figura 6). (Griem W. , 2020)

**Figura 6** Rocas ígneas ultrabásicas.



**Nota:** Recuperado de (Griem W. , 2020), [www.geovirtual2.cl](http://www.geovirtual2.cl)

#### 4.1.2 Rocas sedimentarias.

Rocas sedimentarias son aquellas que se forman por la acumulación de fragmentos minerales, depositados por el agua, el viento o el hielo y posteriormente cementados. También



se forman por precipitación química de sales disueltas en el agua y por la actividad biológica de ciertos organismos. (Iriondo, 1985).

a) **Clasificación de las rocas sedimentarias.**

Según el origen de sus sedimentos se dividen principalmente en: detríticas y químicas,

- **Clásticas o detríticas:** Resultan de acumulaciones mecánicas de fragmentos de minerales y rocas. (figura 7) (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)

**Figura 7** Rocas sedimentarias detríticas

Textura clástica Tamaño del clasto		Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Grueso (más de 2 mm)		Grava (clastos redondeados)	Conglomerado
		Grava (clastos angulosos)	Brecha
Medio (de 1/16 a 2 mm)		Arena (Si el feldespato es abundante la roca se denomina arcosa)	Arenisca
Fino (de 1/16 a 1/256 mm)		Limo	Limolita
Muy fino (menos de 1/256 mm)		Arcilla	Lutita

**Nota:** Obtenido de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

- **Químicas:** Rocas depositadas por medios químicos o bioquímicos. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021). La distinción entre las rocas sedimentarias químicas se basa, primordialmente, en su composición mineral (figura 8).

**Figura 8** Rocas sedimentarias químicas.

Composición	Textura	Nombre de la roca	
Calcita, $\text{CaCO}_3$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Caliza cristalina	
		Travertino	
	Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón visibles, cementados débilmente	Coquina	b i o q u í m i c a
	Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón de diversos tamaños cementados con cemento de calcita	Caliza fosilífera	
Clástica: caparazones y arcilla microscópicos	Creta		
Cuarzo, $\text{SiO}_2$	No clástica: cristalino muy fino	Rocas silíceas (silix) (color claro) Pedernal (color oscuro)	
Yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Yeso	
Halita, NaCl	No clástica: cristalino de fino a grueso	Salgema	
Fragmentos vegetales alterados	No clástica: materia orgánica de grano fino	Hulla	

**Nota:** Obtenido de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

### 4.1.3 Rocas metamórficas.

Son aquellas rocas formadas por la recristalización de las rocas ígneas o sedimentarias (rocas preexistentes) por la acción de la presión y temperatura (metamorfismo), que ocurre a considerables profundidades de la superficie terrestre. (Castillo, Angamarca, Ojeda, & Cuenca, 2021)

Según su estructura primaria se clasifican en:

**a) Rocas metamórficas foliadas.**

Presentan una estructura primaria, es decir una apariencia de bandas, debido a las presiones diferenciales a la que estuvo sometida. Pueden presentar las siguientes características: crucero pizarroso, crucero filítico, esquistosidad y bandeamiento gnéisico (figura 9) (Aguirre, 2007).

**b) Rocas metamórficas no foliadas.**

No demuestran una apariencia primaria, en este tipo de rocas el metamorfismo se produce por una recristalización sin la acción de las presiones diferenciales. Presentan como característica una paragénesis mineral. (figura 9) (Aguirre, 2007).

**Figura 9** Clasificación de las rocas metamórficas comunes.

Nombre de la roca	Textura	Tamaño de grano	Observaciones	Protolito
Pizarra	Foliada	Muy fino	Pizarrosidad excelente, superficies lisas sin brillo	Lutitas, pelitas
Filita		Fino	Se rompe a lo largo de superficies onduladas, brillo satinado	Pizarra
Esquisto		Medio a grueso	Predominan los minerales micáceos, foliación escamosa	Filita
Gneis		Medio a grueso	Bandeado composicional debido a la segregación de los minerales	Esquisto, granito o rocas volcánicas
Migmatita		Medio a grueso	Roca bandeada con zonas de minerales cristalinos claros	Gneis, esquisto
Milonita	Poco foliada	Fino	Cuando el grano es muy fino, parece sílex, suele romperse en láminas	Cualquier tipo de roca
Metaconglomerato		De grano grueso	Cantos alargados con orientación preferente	Conglomerado rico en cuarzo
Mármol	No foliada	Medio a grueso	Granos de calcita o dolomita entrelazados	Caliza, dolomía
Cuarcita		Medio a grueso	Granos de cuarzo fundidos, masiva, muy dura	Cuarzoarenita
Corneana		Fino	Normalmente, roca masiva oscura con brillo mate	Cualquier tipo de roca
Antracita		Fino	Roca negra brillante que puede mostrar fractura concoide	Carbón bituminoso
Brecha de falla		Medio a muy grueso	Fragmentos rotos con una disposición aleatoria	Cualquier tipo de roca

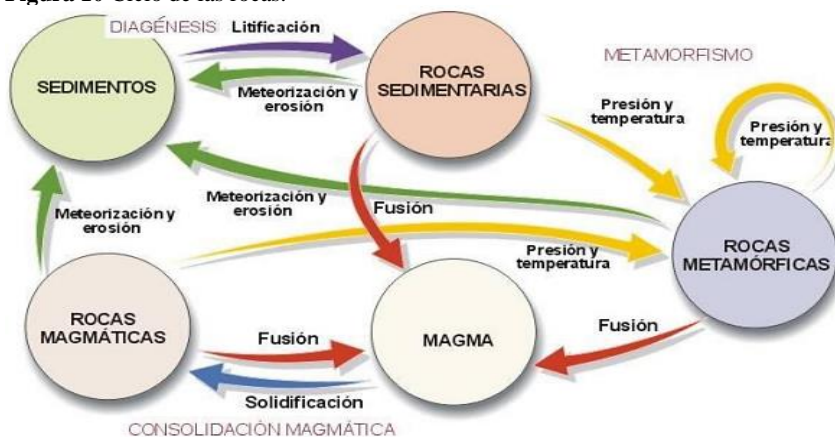
**Nota:** Obtenido de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

#### 4.1.4 Ciclo de las Rocas.

El ciclo de las rocas ilustra las posibles transformaciones de unas rocas en otras y nos muestra los procesos geológicos que originan los diferentes tipos de rocas: sedimentarias, metamórficas y magmáticas. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Como se observa en la figura 10, el magma, que consiste en una masa de material fundido que existe en la astenosfera terrestre, puede inyectarse en la corteza o subir hasta la superficie a través de fracturas, sufriendo un proceso de enfriamiento denominado solidificación que genera las rocas ígneas. Los materiales sobre la superficie terrestre incluyen rocas ígneas, sedimentos y rocas viejas de todas clases. Estos materiales son meteorizados, transportados y acumulados (sedimentados) en áreas subsidentes como cuerpos de sedimentos en un proceso que se denomina sedimentación. Después de la compactación y cementación de los sedimentos, proceso que se realiza dentro de la corteza y se denomina de manera general como litificación o diagénesis, se generan las rocas sedimentarias. A profundidades más grandes en la corteza, las rocas sedimentarias o de otro tipo sufren un proceso denominado metamorfismo que ocurre a gran presión y temperatura y deforma las rocas originales generando un tipo de roca conocido como roca metamórfica. Cuando la presión y la temperatura sobrepasan los límites del metamorfismo, las rocas metamórficas sufren una fusión, y la posterior solidificación las transforma en rocas ígneas, completándose de esta manera este ciclo de rocas. (Navarrete, 2005)

Figura 10 Ciclo de las rocas.



Nota: Adaptado de: (Vallejo, 2014)

#### 4.2 Geología estructural.

Según (Belousov, 1979) la geología estructural es parte de la geotectónica, que se encarga de estudiar las particularidades de las estructuras y del desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar.

La geología estructural se encarga de estudiar la geometría, distribución y formación de las estructuras geológicas. Interpreta y entiende la disposición de la corteza terrestre y su relación espacial, determinando las deformaciones que presenta y la geometría subsuperficial de las estructuras rocosas. (Fossen, 2016)

La geología estructural es parte de la geología, que estudia las configuraciones geométricas de las rocas originadas por procesos de deformación natural, los desplazamientos y mecanismos implicados en el desarrollo de tales configuraciones, su evolución espaciotemporal y las causas que dieron lugar a su formación. (Dávila J. , 2011)

#### 4.2.1 Tipo de esfuerzos.

Cuando se habla de esfuerzos se hace referencia a la fuerza aplicada a un área determinada de roca. En la naturaleza, según la dirección de las fuerzas aplicadas, el esfuerzo puede reconocerse en tres variedades; la compresión, la tensión y la cizalla. (García, 2012) Como se puede observar en la figura 11.

Figura 11 Tipo de esfuerzos en geología

Tension	Compresion	Cizalla	
			Indefornado
			Dúctil
			Frágil

Nota: Adaptado de (GeoxNet, 2016), <https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/>

##### a) *Compresión.*

Esfuerzo al que son sometidas las rocas cuando se comprimen por fuerzas dirigidas unas contra otras a lo largo de una misma línea (figura 11). Cuando los materiales se someten a este tipo de esfuerzos, tienden a acortarse en la dirección del esfuerzo mediante la formación de pliegues o fallas según su comportamiento: dúctil o frágil. (García, 2012)

##### b) *Tensión.*

Resultado de las fuerzas que actúan a lo largo de la misma línea, pero en dirección opuesta. Este tipo de esfuerzo actúa alargando o separando las rocas (figura 11). (García, 2012)

**c) Cizalla.**

Esfuerzo en el cual las fuerzas actúan en paralelo, pero en direcciones opuestas, lo que da como resultado una deformación por desplazamiento a lo largo de planos poco espaciados (figura 11). (García, 2012)

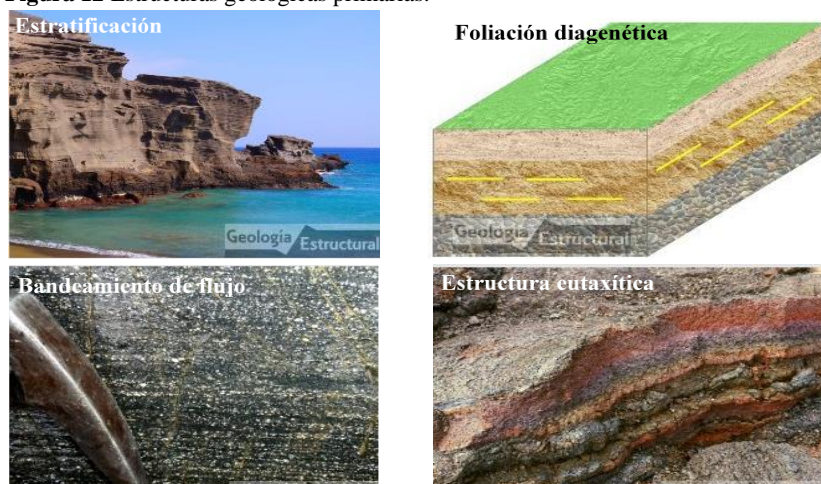
#### **4.2.2 Estructuras geológicas.**

El término estructura geológica hace referencia a la configuración geométrica de las rocas y la geología estructural se ocupa de estudiar dicha configuración cuando las rocas han sufrido alguna deformación (Fossen, 2016). Las estructuras geológicas determinan el desarrollo del relieve terrestre. Existen dos tipos de estructuras geológicas:

**a) Estructuras primarias**

Son aquellas que se originan simultáneamente a la formación de las rocas como resultado de su depósito o su emplazamiento, pueden ocurrir en rocas sedimentarias y rocas ígneas; su existencia es clave para interpretar los procesos de acumulación o depósito y el medio ambiente en que se formaron. (Tarbuck & Lutgens, 2005). Dentro de estas se encuentran: estratificación, foliación diagenética, bandeamiento de flujo, estructura eutaxítica, etc. (figura 12).

**Figura 12** Estructuras geológicas primarias.



**Nota:** Adaptado de (Geología Estructural, 2020), <https://www.geologiaestructural.com>

**b) Estructuras secundarias.**

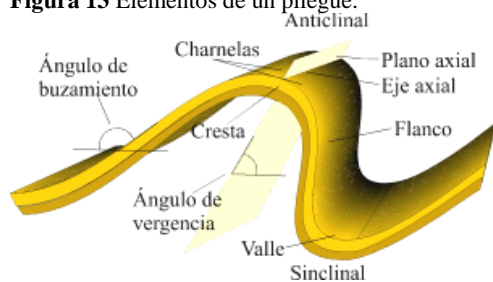
Son aquellas estructuras geológicas que adquieren las rocas posteriormente a su litificación como respuesta a un estado de esfuerzo y por cambios en la temperatura, sus características finales dependen de diversos factores, entre otros, la propia naturaleza de las rocas sujetas al proceso de deformación (Tarbuck & Lutgens, 2005).

## ❖ **Pliegue.**

Es una deformación de las rocas, generalmente de las rocas sedimentarias, en la que elementos de carácter horizontal, como los estratos o los planos de esquistosidad (en el caso de las rocas metamórficas), quedan curvados formando ondulaciones alargadas y de direcciones más o menos paralelas entre sí. (Díaz, Rodríguez, & Luque, 2017)

### • **Elementos de un pliegue.**

**Figura 13** Elementos de un pliegue.



**Nota:** Adaptado de (Geotecnia Fácil, 2021), <https://geotecniafacil.com>

Como se muestra en la figura 13 según (Plaza, 2008) los elementos de un pliegue son:

- *Charnela:* es la zona de máxima curvatura.
- *Cresta:* es la zona más elevada del pliegue, puede o no coincidir con la charnela.
- *Superficie axial:* es la definida por todas las líneas de charnela.
- *Flancos:* son los laterales del pliegue.
- *Núcleo:* es la parte interna del pliegue.
- *Inmersión:* es el ángulo que forma la línea de charnela con el plano horizontal.
- *Vergencia:* es el ángulo de buzamiento del plano axial.
- *Buzamiento o inclinación:* es el ángulo que forma el plano del estrato con la horizontal.
- *Amplitud:* La amplitud de un pliegue es la distancia vertical entre la cresta o punto culminante y un surco.

### • **Tipos de pliegues.**

Las clasificaciones más comunes y utilizadas se relacionan a la forma y orientación que tienen los elementos principales que los conforman: plano axial, el eje y el ángulo entre flancos (ángulo interlimbal). En la tabla 3 se presenta los principales tipos de pliegues y en la figura 14 la representación gráfica de cada tipo.

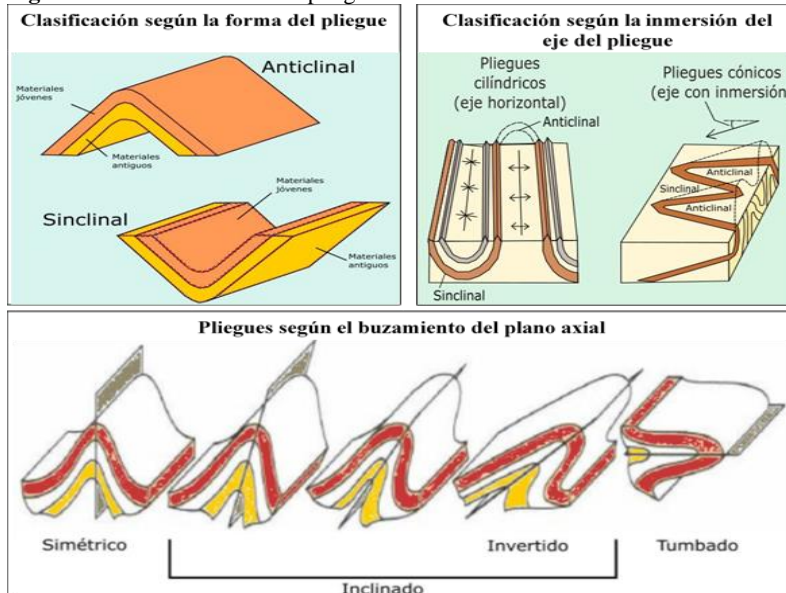
**Tabla 3** Tipos de pliegues

<b>Clasificación según su forma</b>	Anticlinal (convexo hacia la parte superior)
	Sinclinal (cóncavo hacia la parte superior)
	Simétrico (el plano axial es vertical)

<b>Clasificación según el buzamiento del plano axial</b>	Inclinado (el plano axial del pliegue está inclinado siendo diferente a 0° y 90°)
	Invertido (el ángulo de buzamiento de uno de los flancos se invierte)
	Tumbado (el plano axial es totalmente horizontal, buzamiento igual a 0°)
<b>Clasificación según el eje del pliegue</b>	Cilíndricos (el eje es horizontal, su inclinación igual a 0°)
	Cónicos (el eje se encuentra inclinado, forma un ángulo con respecto a la horizontal)

**Nota:** Basado en (Maldonado, 2020), elaborado por (Jiménez, 2022).

**Figura 14** Clasificación de los pliegues



**Nota:** Adaptado de (Maldonado, 2020).

#### ❖ **Diaclasa.**

Según (Tarbuck & Lutgens, 2005) son fracturas a lo largo de las cuales no se ha producido desplazamiento apreciable. Aunque algunas diaclasas tienen una orientación aleatoria, la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos.

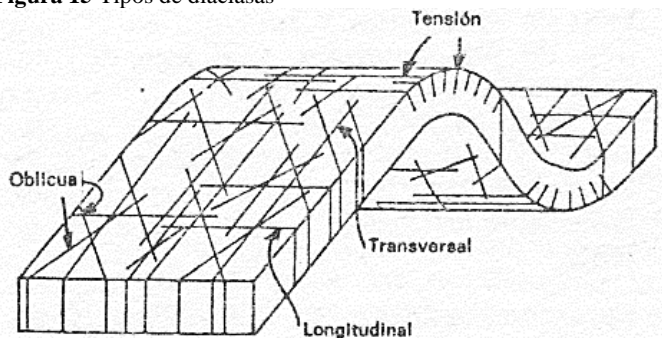
Las diaclasas no suelen aparecer aisladas, sino asociadas a fallas y a pliegues. Cuando existen dos o más conjuntos de diaclasas, se habla de un sistema de diaclasas. Las diaclasas interceptan superficies primarias, tales como estratificación, exfoliación, esquistosidad, etc.

- **Clasificación genética de las diaclasas.**

- Diaclasas de retracción:* éstas son causadas por un sistema de fuerzas tensionales que actúan sobre el cuerpo rocoso, como resultado de un enfriamiento (en una roca ígnea o de una desecación). (Glosario Geología, 2012)
- Diaclasas de descompresión:* Un sistema de diaclasas puede desarrollarse más o menos paralelamente a la superficie del terreno, especialmente en intrusiones ígneas plutónicas. (Glosario Geología, 2012)

- c) *Diaclasas tectónicas*: Las diaclasas tectónicas pueden formarse en relación con campos de esfuerzos regionales o campos locales., estas pueden originarse por tracción, compresión o cizalla. (López, 2017). Pueden admitirse tres sistemas, un sistema de rumbo (diaclasas longitudinales), paralelo a los ejes del pliegue; un sistema inclinado (diaclasas cruzadas), perpendicular a las diaclasas longitudinales; y un sistema conjugado de diaclasas oblicuas, que aparecen a menos de  $45^\circ$  en la dirección del transporte tectónico, (figura 15).

**Figura 15** Tipos de diaclasas



Nota Adaptado de (Glosario Geología, 2012), <https://glosarios.servidor-alicante.com>

#### ❖ **Fallas.**

Según (García, 2012) son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable. Pueden tener longitudes en planta desde pocos metros hasta centenares de kilómetros.

Se elige arbitrariamente un desplazamiento mínimo de 0,5 mm para que una fractura reciba el nombre de falla. Si no hay desplazamiento o si éste es demasiado pequeño para que sea visible, la fractura se denomina diaclasa. (Hans, 1999).

#### • **Partes de una falla.**

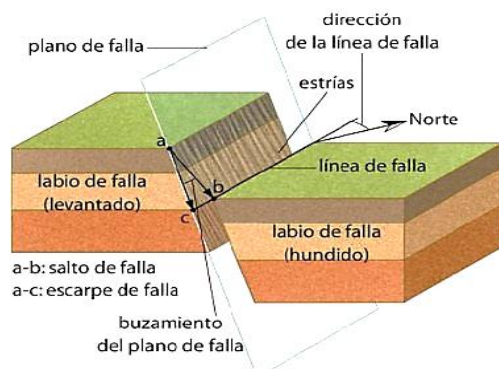
(García, 2012) indica que los elementos que definen una falla son (figura 16):

- *Plano de falla*: Es la superficie de rotura sobre la que se produce el movimiento de un bloque sobre el otro.
- *Labio levantado*: Porción del terreno o bloque con un movimiento de ascenso con respecto al labio hundido.
- *Labio hundido*: Bloque del terreno con un movimiento descendente con respecto al labio levantado.
- *Dirección de la falla*: Ángulo que forma con el norte geográfico la línea que resulta de la intersección de un plano imaginario horizontal con el plano de falla.



- *Buzamiento de la falla:* Ángulo que forma el plano de falla con un plano horizontal imaginario medido en la línea de máxima pendiente.
- *Espejo de falla:* Superficie pulida que se visualiza sobre el plano de falla como consecuencia de la fricción entre los dos bloques.
- *Estrías de falla:* Estrías o hendiduras sobre el plano de falla por presión y fricción entre los dos bloques.
- *Brecha de falla:* Material de aspecto caótico que se encuentra en el plano de falla debido al desplazamiento y presión de los dos bloques.
- *Techo de falla:* Superficie rocosa que está inmediatamente por encima de la falla.
- *Muro de falla:* Superficie rocosa que está inmediatamente por debajo de la falla.
- *Salto de falla:* Desplazamiento de un bloque o labio con respecto al otro, medido en las componentes vertical y horizontal.

**Figura 16** Partes de una falla geológica.

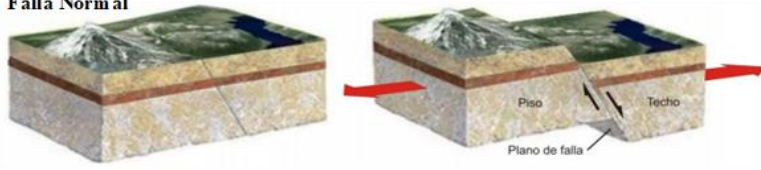
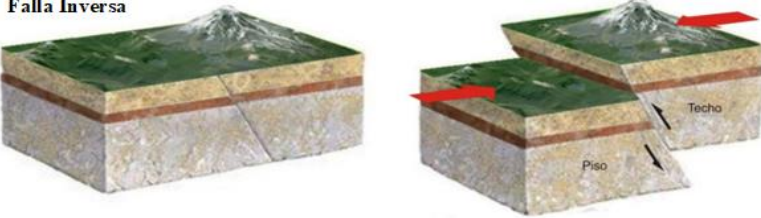
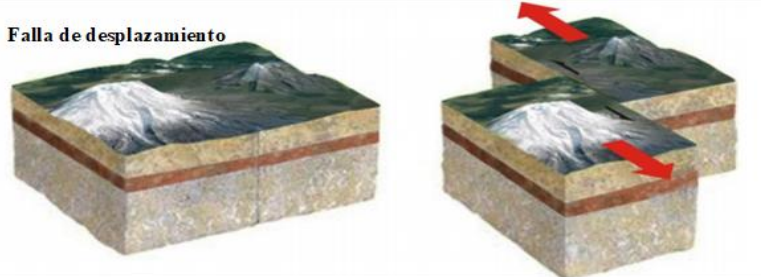


Nota: Adaptado de (Geotecnia Fácil, 2021), <https://geotecniafacil.com>

- ***Tipos de fallas.***

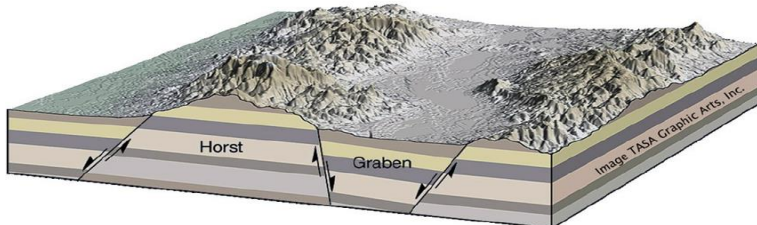
Según el tipo de desplazamiento que tengan los bloques uno respecto a otro, así como que se trate de movimientos en la vertical u horizontal, pueden definirse los siguientes tipos:

- a) *Falla normal:* Cuando el bloque de arriba desciende por acción de la gravedad debido a la falta de sustento en el plano de falla o escarpe. (figura 17) (Rivadeneira, y otros, 2007)
- b) *Fallas inversas:* Es aquella en que el bloque colgante se ha movido hacia arriba con respecto al bloque yacente. (figura 17) (Navarrete, 2005)
- c) *Falla de rumbo, desplazamiento o transcurrente:* Predomina el movimiento horizontal de un bloque con respecto al otro, a lo largo de planos de pendiente fuerte o semivertical. Pueden clasificarse en dextral o sinistral. (figura 17) (Suárez, 2020).

**Figura 17** Clasificación básica de fallas**Falla Normal****Falla Inversa****Falla de desplazamiento**

**Nota:** Adaptado de (INPRES, 2020), elaborado por (Jiménez, 2022).

Existen dos tipos de estructuras geológicas que se presentan en serie continua y debido a la combinación de varias fallas normales (figura 18) (Navarrete, 2005):

**Figura 18** Diagrama de corte transversal representando horst y graben

**Nota:** adaptado de (Alamo Impact, 2015), [http://geology.isu.edu/Alamo/devonian/basin\\_range.php](http://geology.isu.edu/Alamo/devonian/basin_range.php)

- *Horst*: es un pilar tectónico limitado por fallas normales.
- *Gaben*: es una depresión limitada por fallas normales.

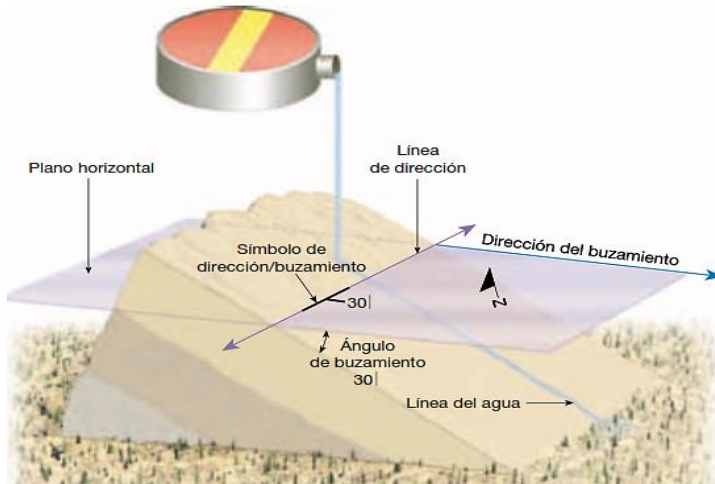
### 4.2.3 Mapeo de estructuras geológicas.

Para describir la orientación de un plano geológico matemáticamente se necesitan de dos o tres propiedades, que se describen a continuación:

- 1) *Rumbo*: Ángulo horizontal formado entre el norte o sur magnético y la línea de rumbo. Varía entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  desde el norte o sur hacia el este u oeste. (figura 19). (Echeveste, 2017)

- 2) *Buzamiento (manteo)*: Medida del ángulo formado entre la superficie de la capa y un plano horizontal, medido en un plano vertical que sea ortogonal a la traza del rumbo. (figura 19). (Navarrete, 2005).
- 3) *Dirección de inclinación*. La dirección de inclinación (Dip Direction) marca hacia donde se inclina el plano, o la proyección horizontal de la línea de máxima pendiente. (figura 19). (Griem W. , 2020)

**Figura 19** Dirección y buzamiento de un estrato rocoso.



Nota: Obtenido de (Tarbuck & Lutgens, 2005)

### 4.3 Estratigrafía.

La estratigrafía es la descripción de todos los cuerpos rocosos que forman la corteza terrestre y de su organización en unidades distintas, útiles y cartografiables. Las unidades están basadas en sus características o cualidades a fin de establecer su distribución y relación en el espacio y su sucesión en el tiempo, para interpretar la historia geológica. (Reguant & Ortiz, 2001).

La estratigrafía es la ciencia que estudia la secuencia o sucesión de las capas o estratos que se han formado a través del tiempo geológico. Tiene dos bases fundamentales en el estudio de la secuencia: la de los fósiles que marca la edad relativa de las capas y de las facies que determina la naturaleza y el origen de los materiales. (Dávila J. , 2011)

Él (IIGE, 2019) toma la definición de (Murphy & Salvador, 1999) quienes definen a la estratigrafía como la descripción de las características de los cuerpos rocosos que forman la corteza terrestre y de su organización en unidades distintas, útiles y cartografiables.

#### 4.3.1 Principios de la clasificación estratigráfica.

(Murphy & Salvador, 1999) señala que la clasificación estratigráfica engloba a todas las rocas de la corteza terrestre; pudiendo ser clasificadas en función a características, que son

propiedades tangibles y medibles de las rocas, como la litología y la edad de formación o por características interpretativas, tal como el medio en el que se han formado o su génesis.

En este sentido, la unidad estratigráfica se considera como un cuerpo rocoso definido como una entidad específica en la clasificación de las rocas terrestres, basándose en alguna de sus características o cualidades o en una combinación de varias de ellas. (IIGE, 2019)

**a) Clasificación estratigráfica.**

El (IIGE, 2019) basado en (Murphy & Salvador, 1999) clasifica según sus propiedades y características a las unidades estratigráficas formales de la siguiente manera:

- *Unidades litoestratigráficas*: son unidades basadas en características litológicas de los cuerpos rocosos.
- *Unidades cronoestratigráficas*: son unidades basadas en la edad de formación de los cuerpos rocosos.
- *Unidades bioestratigráficas*: unidades basadas en el contenido fósil de los cuerpos rocosos.
- *Unidades limitadas por discontinuidades*: son cuerpos rocosos limitados en su parte superior e inferior por discontinuidades significativas en la sucesión estratigráfica.
- *Unidades de polaridad magnetoestratigráfica*: son unidades basadas en los cambios de orientación del magnetismo remanente de los cuerpos rocosos.

**4.3.2 Unidad Litoestratigráficas.**

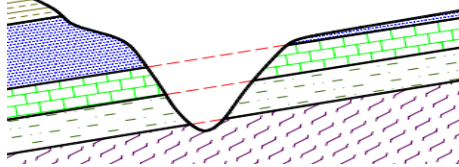
La unidad litoestratigráfica es un conjunto de estratos que constituyen una unidad, por estar compuesto predominantemente por un cierto tipo litológico o de una combinación de tipos litológicos, o por poseer otras características litológicas importantes en común, que sirvan para agrupar los estratos. (Vera, 1994). Son el resultado de una observación directa y no son objetos de una interpretación. Se puede tener en cuenta el contenido fósil, pero no como un criterio para la clasificación del estrato.

**4.3.3 Principios estratigráficos.**

**a) Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos.**

Determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y que quedan delimitados por dos planos que muestran continuidad lateral (figura 20). (Vera, 1994),

**Figura 20** Horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos



Nota: Adaptado de: (Vázquez, 2010)

**b) Principio de Superposición.**

Los estratos más bajos son los más antiguos y los más altos los más modernos (figura 21). El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos subhorizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos. (Vera, 1994)

**Figura 21** Superposición de los estratos



Nota: Adaptado de: (Joachim, 2012), <http://joachim.cl/geologia>

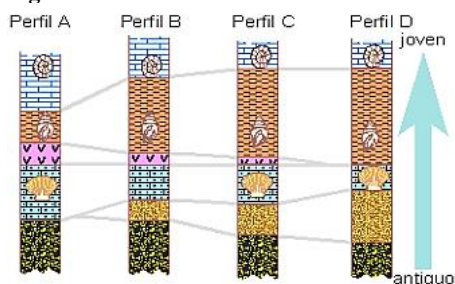
**c) Principio del uniformismo o actualismo.**

Los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). (Vera, 1994).

**d) Principio de la sucesión faunística o de la correlación.**

Constituye la base de la datación relativa de los materiales estratificados. Consiste en admitir que, en cada intervalo de tiempo de la historia geológica, los organismos que vivieron y, que por tanto pudieron fosilizar, fueron diferentes y no repetibles (figura 22). (Vera, 1994)

**Figura 22** Sucesión faunística o de la correlación



Nota: Adaptado de: (Vázquez, 2010)

**e) Principio de la simultaneidad de eventos.**

Consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron en tiempos pasados fenómenos normales como los que vemos en la actualidad, pero además otros raros y eventuales que mayoritariamente coinciden con las grandes catástrofes. Estos eventos pueden quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades y constituyen un excelente criterio de

correlación, a veces a escala mundial. (Vera, 1994). En la tabla 4, se nombran algunos eventos que tienen relación en el tiempo.

**Tabla 4** Tipos de eventos simultaneo en el tiempo.

<b>Tipo de eventos</b>	<b>Duración</b>
Impactos de cometas o meteoritos	Segundos
Grandes terremotos	Segundos
Tormentas y tsunamis	Minutos
Inundaciones muy catastróficas	Días
Erupciones de un volcán	Días
Cambios químicos y oceanográficos (tipo del niño)	Días
Cambios climáticos globales	Miles de años
Cambios de polaridad magnética	Miles de años
Eventos biológicos (extinciones masivas)	Miles de años

**Nota:** Adaptado de: (Vázquez, 2010)

#### **4.3.4 Correlaciones estratigráficas.**

La correlación estratigráfica consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas (Vera, 1994). Basados en características físicas y geométricas de los estratos, contenido fósil, litología y por propiedades físicas de determinados niveles de las secciones estratigráficas, se establece la equivalencia de diferentes áreas dentro y fuera de la cuenca sedimentaria; se correlaciona uno o varios niveles estratigráficos y posteriormente se dibujan isócronas en las distintas secciones levantadas.

#### **4.4 Mapeo geológico.**

Según (Echeveste, 2017) el mapeo geológico es el proceso de transferir las observaciones de la geología realizadas en el campo a uno de los diferentes tipos de mapa base.

(Varela, 2014) describe al mapeo geológico, como la tarea de campo, que consiste en la representación en un mapa de los distintos cuerpos de roca que componen un terreno.

Para el reconocimiento en el terreno y su posterior mapeo, cabe tener en cuenta que las rocas según naturaleza forman en la corteza terrestre cuerpos rocosos de diferentes formas, que suelen ser característicos de uno u otro tipo de roca.

##### **4.4.1 Elaboración de mapas geológicos.**

El proceso de elaboración de mapas geológicos tiene un proceso generalizado que se explica a continuación:

**a) Delimitación del área de interés.**

Consiste en delimitar el área de interés y en recopilar toda la información geológica disponible, incluyendo artículos y mapas publicados por empresas estatales y privadas, más información inédita contenida en bases de datos. (Camargo, 2004)

**b) Selección de fotografías aéreas.**

Consiste en la selección de las fotografías aéreas más recientes, que cubran el área de interés y en la consecución del mapa topográfico base a la escala más adecuada, teniendo en cuenta los objetivos del estudio planteado. (Camargo, 2004)

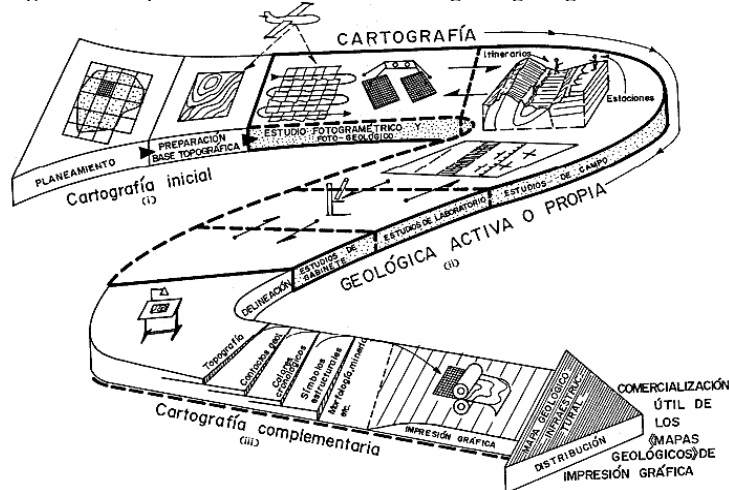
**c) Fotointerpretación.**

Una de las ventajas que posee encarar un proyecto de levantamiento geológico auxiliado por la fotografía aérea, es que el trabajo puede iniciarse previamente al desarrollo de las tareas de campo. En el gabinete puede prepararse un mapa exclusivamente producto de la fotointerpretación, se pueden marcar inicialmente las obras humanas como caminos, ferrocarriles, poblaciones, etc., en segundo lugar, la red hidrográfica y en tercer lugar los rasgos geológicos. (Echeveste, 2017)

**d) Trabajo de campo: Mapeo por afloramientos o mapeo de todos los afloramientos.**

El mapeo de afloramientos es la base de gran parte de la cartografía geológica detallada a escala 1:10.000 y más grande. Muchos terrenos están compuestos de exposiciones de rocas más o menos dispersas separadas por zonas cubiertas por depósitos superficiales, vegetación, hielo, agua, etc. En este método, el geólogo debe examinar tantas exposiciones como sea posible (figura 23). 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.

**Figura 23** Esquema de realización de la cartografía geológica convencional.



**Nota:** Obtenido de (Delgado, Padilla, & Barrientos, 2010)

Una vez encontrado un afloramiento, éste se sitúa sobre un mapa topográfico o bien sobre una foto aérea (figura 23). Con la ayuda de las herramientas típicas del trabajo de campo (martillo, lupa, brújula), intenta identificar las rocas presentes en el afloramiento, así como todas aquellas características útiles (fósiles, orientación de planos y lineaciones en las rocas, etc.) en la posterior identificación. Cualquier observación ha de ser minuciosamente documentada en una libreta de campo, esquematizada mediante gráficos adecuados, fotografiada si se considera necesario y muestreada si ello es indispensable. (Delgado, Padilla, & Barrientos, 2010)

Al final de los trabajos de campo, el mapa resultante es una serie de manchas de color y símbolos dispersos sobre el mapa topográfico o en la foto aérea. Si la cartografía ha sido efectuada con rigor, se trata de un mapa objetivo, en el que se reflejan aquellas características verificables en cualquier momento. (Delgado, Padilla, & Barrientos, 2010)

**e) Trabajo de gabinete.**

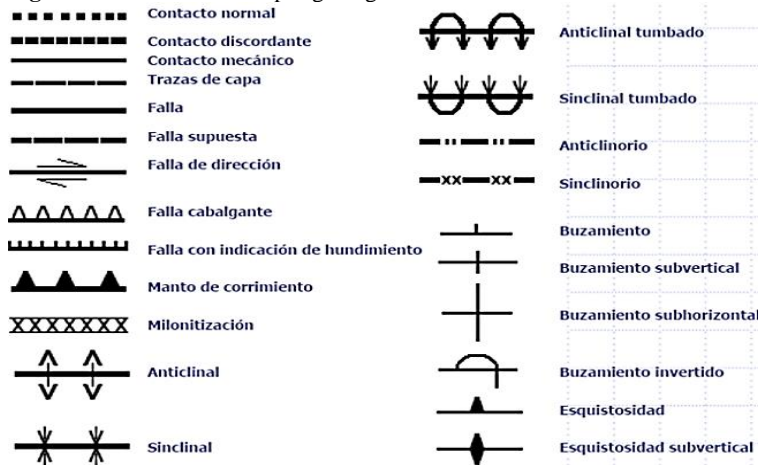
El trabajo realizado en el campo y resumido como mapa objetivo debe ser complementado en el gabinete mediante la interpolación entre afloramientos separados. Cualquier técnica de interpolación introduce incertidumbre dado que se interpola para obtener información donde esta no ha sido tomada (por estar cubierto o inaccesible el terreno, por ejemplo). El resultado final es un modelo geológico (un mapa). (Delgado, Padilla, & Barrientos, 2010)

Los mapas geológicos se elaboran sobre un mapa topográfico y en ellos se muestra mediante símbolos y convenciones, entre otras, la siguiente información: localización del área mediante una cuadrícula de coordenadas, escala numérica y gráfica, diferencia angular entre el norte geográfico y el norte magnético (declinación magnética), contactos entre las diferentes unidades de roca o formaciones que afloran en el área, rumbo y buzamiento de capas, forma y tipo de pliegues y fallas, ocurrencias minerales, discordancias, localización y origen de las acumulaciones de sedimentos recientes. (Camargo, 2004)

Para facilitar la lectura e interpretación, los mapas geológicos se dibujan con tramas distintivas para las diferentes litologías y/o se utiliza colores internacionalmente acordados para las diferentes edades de las rocas. (figuras 24, 25, 26 y 27)

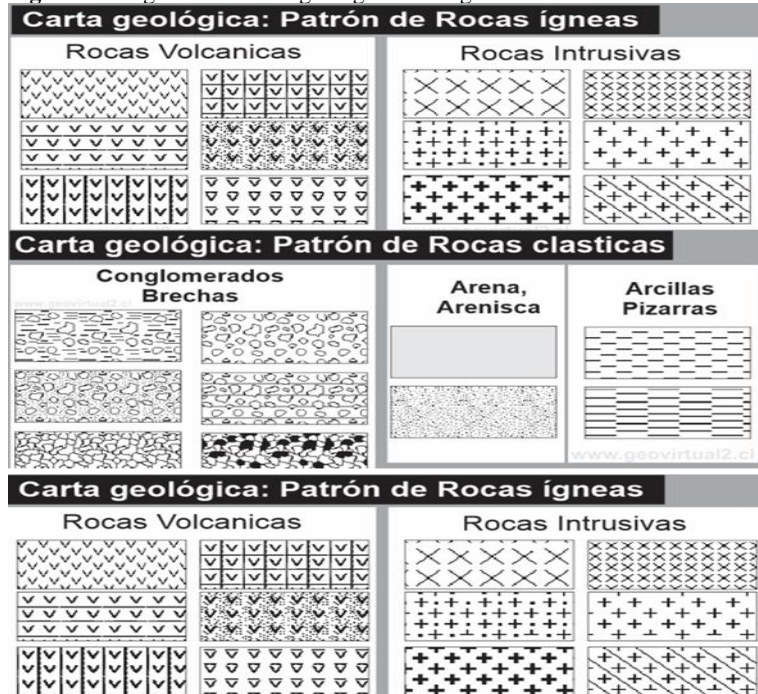


Figura 24 Símbolos de mapas geológicos.



Nota: recuperado de (López, 2017), <http://e-ducativa.catedu.es>

Figura 25 Algunos símbolos geológicos litológicos.



Nota: Recuperado de (Griem W. , 2020), <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm>

Figura 26 Colores por edad

Periodo, época		Color
Cuaternario	Q	amarillo muy claro
Terciario	T	amarillo, al ocre
Cretácico	K	verde claro
Jurásico	J	azul
Triásico	TR	violeta
Pérmico	P	color café o azul
Carbonífero	C	gris
Devónico	D	color café
Silúrico	S	verde-azul
Ordovícico	O	verde oscuro
Cámbrico	Cb	gris-verde

Nota: Recuperado de (Griem W. , 2020), <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm>

**Figura 27** Colores litológicos.

Roca	Color
Intrusiva joven	rosada
Intrusiva antigua	rojo
Vulcanitas, extrusivas joven	violeta clara
Vulcanitas, extrusivas antiguas	violeta
Caliza	azul
sedimentos no consolidados	amarillo

**Nota:** Recuperado de (Griem W. , 2020), <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm>

Los mapas geológicos van acompañados de una columna estratigráfica generalizada, que incluye: nombre, edad y tipo de roca de cada unidad y una leyenda que contiene convenciones geológicas utilizadas en el mapa. Además, estos mapas van acompañados de uno o varios perfiles geológicos, contruidos a la misma escala del mapa y orientados en dirección perpendicular al rumbo general de las capas, con el fin de ilustrar la estructura del subsuelo y facilitar la comprensión de la historia evolutiva de la región. Los mapas geológicos se elaboran a la misma escala que los topográficos. (Camargo, 2004).

#### 4.5 Sistemas de Información Geográfica.

(Olaya, 2014) define a un Sistema de información Geográfica (SIG o GIS) como un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados.

Según (Von Humboldt, 2006) un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Para (Sosa, 2008) los SIG son un conjunto de herramientas que permiten el procesamiento de información de datos de tipo espacial usados para tomar decisiones acerca de cierto espacio o área específica de la Tierra o también para visualizar de forma general un espacio de acuerdo al contenido de base de datos digital.

##### 4.5.1 Datos.

Los datos son una de las piezas más importantes del sistema SIG. Entendemos por dato un conjunto de valores o elementos que representan algo. La interpretación correcta de esos datos los dota de significado y produce información. (Olaya, 2014)

##### a) Fuentes de datos espaciales.

Los datos con los que se trabaja en un SIG pueden venir de distintas procedencias:

#### ❖ Fuentes primarias.

Los datos primarios son aquellos que se emplean en un SIG en su forma original, son susceptibles de ser sometidos a las operaciones de manejo y análisis que incorporan los SIG. Aquí encontramos las imágenes digitales o los datos obtenidos con GPS, todos ellos recogidos ya en origen de forma adecuada para su empleo directo en un SIG. (Olaya, 2014)

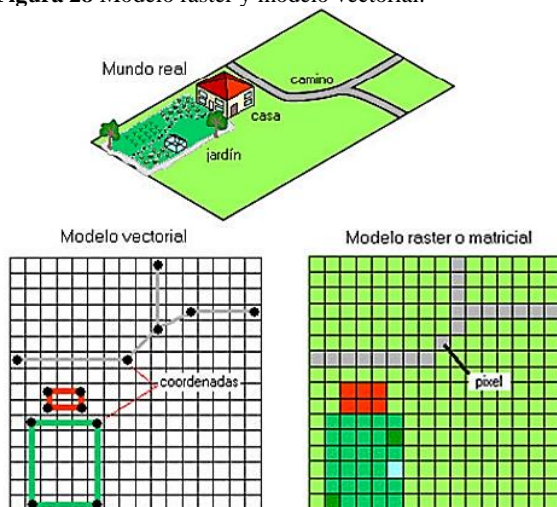
#### ❖ Fuentes secundarias

Los datos secundarios derivan de algún otro tipo de dato previo, el cual no es adecuado para su empleo en un SIG. Entre estos incluidas las versiones digitales de los mapas clásicos, datos procedentes de un muestreo o levantamiento tradicional. Otros provenientes de cartografía impresa. (Olaya, 2014)

### 4.5.2 Modelos de datos.

Existen dos aproximaciones básicas para simplificar y modelizar el espacio, de modo que éste pueda ser almacenado y manipulado en un sistema informático, dando lugar, por tanto, a dos modelos de datos.

Figura 28 Modelo ráster y modelo vectorial.



Nota: Recuperado de (Dávila F. ), <https://sge.org/ibercarto/wp-content/uploads/sites/4/2016/01/sig2.pdf>

#### a) Modelo vectorial.

El modelo vectorial organiza los datos geográficos en base a la perspectiva de bases de datos relacionadas y a partir de esto permite trabajar digitalmente utilizando las tres entidades gráficas para la confección de mapas: puntos, líneas y polígonos. A partir de aquí, las bases de datos alfanuméricas asociadas a estas entidades geográficas son bases de datos alfanuméricas puntuales, lineales o poligonales (figura 28). (Buzai, 2013)

## b) *Modelo ráster.*

El modelo ráster divide el espacio geográfico mediante una matriz cuadrículada en donde cada celda contiene información correspondiente a la característica dominante en ella. Cada celda es una localización, técnicamente se denomina píxel (picture element) y es la unidad mínima de representación espacial. (figura 28) (Buzai, 2013)

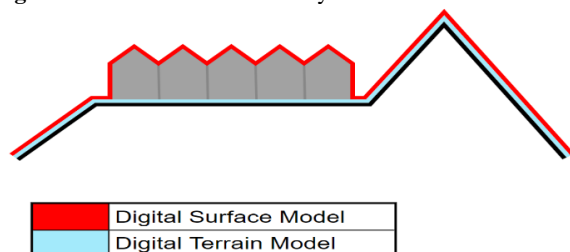
### 4.5.3 Modelo Digital de Terreno (MDT).

(Felicísimo, 1994) define a los MDT como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Los MDT se diferencian de los Modelos Digitales de Superficie (MDS), porque los primeros representan solo los valores de elevación de los puntos más bajos de una superficie (terreno), a diferencia de los segundos que representan la elevación de la capa superficial de los objetos sobre el terreno (figura 29). (Fuentes, 2020).

Figura 29 Diferencia entre MDS y MDT



Nota: Recuperado de (Deborah, 2016), [https://gis.e-education.psu.edu/sites/default/files/capstone/Dennison\\_596A\\_20160729.pdf](https://gis.e-education.psu.edu/sites/default/files/capstone/Dennison_596A_20160729.pdf)

## 4.6 Proyección estereográfica.

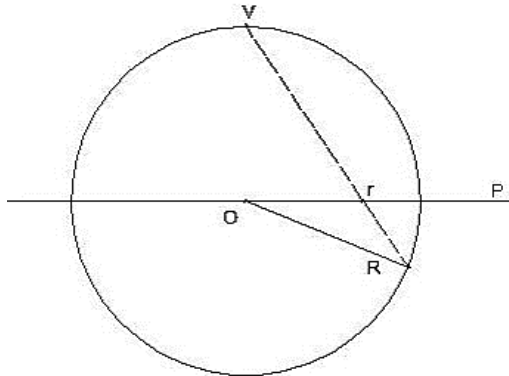
Según (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002) la proyección estereográfica es un tipo de proyección azimutal muy usado en cristalografía y geología estructural para establecer la relación angular existente entre las caras de los cristales o entre las estructuras geológicas.

Según (RACEFN, 2011) La proyección estereográfica es la representación ampliamente usada en cristalografía y geología estructural para resolver problemas en los cuales se encuentran implicados ángulos.

Según (Argüelles, y otros, 2008) la proyección estereográfica es la representación sobre un plano de los puntos y rectas situados sobre la superficie de una esfera.

Se utiliza como centro de proyección un punto V la superficie esférica y como plano de proyección el plano P que pasa por el centro O de la esfera y es perpendicular al radio OV (figura 30). (Argüelles, y otros, 2008)

**Figura 30** Proyección estereográfica,



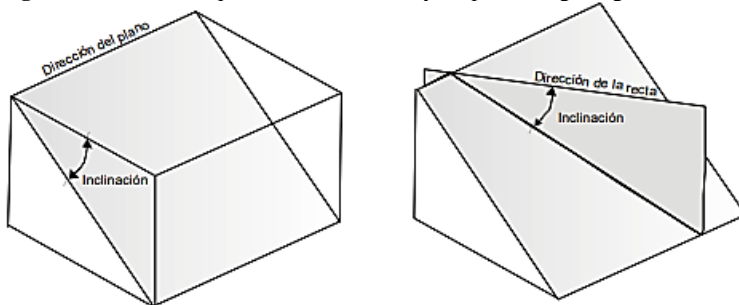
**Nota:** Obtenido de (Argüelles, y otros, 2008)

En ingeniería geológica se utilizan fundamentalmente proyecciones acimutales ecuatoriales y en particular la proyección estereográfica ecuatorial.

Para trabajar con la proyección estereográfica es preciso conocer, inicialmente, una serie de términos geométricos, que nos permitan definir de forma unívoca cada elemento (figura 31), estos términos nos determinan su orientación. La orientación se define como la posición de un plano o línea en el espacio, referenciado mediante coordenadas geográficas y su relación con el plano horizontal de comparación. La orientación de un elemento queda definida mediante el rumbo y la inclinación:

- *Inclinación:* Ángulo vertical comprendido entre la horizontal y el plano o línea considerado.
- *Rumbo o dirección:* Ángulo horizontal comprendido entre una línea y una dirección preestablecida, el norte magnético en geología estructural. (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002)

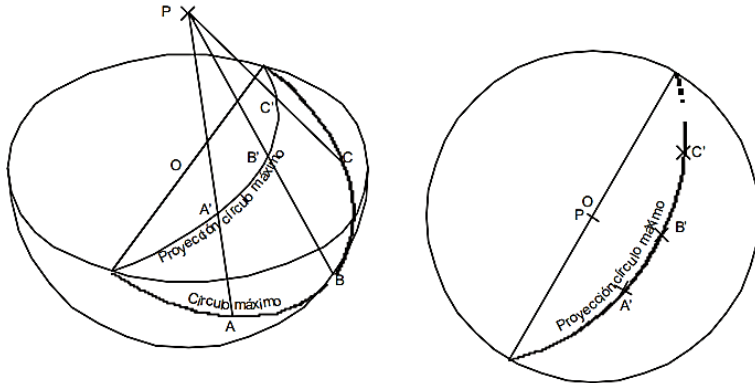
**Figura 31** Elementos que definen una recta y un plano en geología



**Nota:** Obtenido de (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002)

En la figura 32 se representa la proyección estereográfica de un plano inclinado respecto al plano horizontal, definido por los puntos A, B, C, situados en un círculo máximo sobre la esfera.

Figura 32 Proyección estereográfica de un plano inclinado.



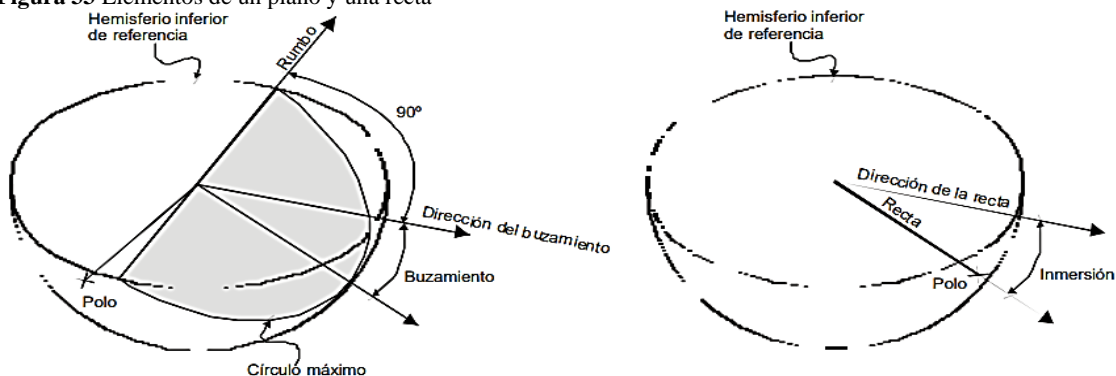
Nota: Obtenido de (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002)

#### 4.6.1 Aplicaciones en geología estructural.

La proyección estereográfica permite la representación en elementos de geología estructural. Los datos empleados se toman en el campo, de forma directa, mediante el empleo de la brújula de geólogo. Esta posee una brújula convencional que nos permite tomar las direcciones de los diferentes elementos tomando como referencia el norte magnético y un clinómetro que facilita el ángulo que forma el elemento a medir con respecto al plano horizontal.

Generalmente el desarrollo de los elementos no es perfecto como ocurre por ejemplo con las diaclasas. Cuando el elemento a medir es un plano, el ángulo de inclinación recibe en geología el nombre de buzamiento (dip), mientras que cuando se trata de una recta la inclinación recibe el nombre de inmersión (plunge) (figura 33). (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002)

Figura 33 Elementos de un plano y una recta



Nota: Obtenido de (Díaz, Ferreiro, Sentana, & Tomás, 2002)

## 5 Materiales y métodos.

### 5.1 Materiales.

**Tabla 5** Materiales y equipos.

<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de oficina</b>	<b>Ofimática</b>
Brújula Brunton	Laptop	Microsoft Office 2016
Martillo geológico	Pendrive	Google Earth pro
GPS Garmin	Impresora	SAS Planet
Cámara fotográfica	Ortofotos con resolución espacial de 30cm y MDT con resolución de 3m del año 2012: NVI-E4d-A2, NVI-E4d-A4, NVI-E4d-B1, NVI-E4d-B2, NVI-E4d-E2, NVI-E4d-B3, NVI-E4d-B4, NVI-E4d-C1, NVI-E4d-C3, NVI-E4d-D2, NVI-E4d-E1, NVI-E4d-E2, NVI-E4d-E4, NVI-E4d-F1, NVI-E4d-F3, NVI-E4d-F4, NVII-A2b-C1, y NVII-A2b-C2	ArcGIS 10.4
Carta topográfica de Chaguarpamba 1:50 000 (1988)		
Hoja geológica de Zaruma 1:100 000 (2013)		
Cinta métrica		
Rayador magnético		
Lupa 30X-60X		
Ácido Clorhídrico (10%)		
Libreta de campo		
Fundas ziploc		
Lápiz, esferográficos, pinturas, rotuladores permanentes.		

**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

### 5.2 Métodos.

Para desarrollar el levantamiento geológico - estructural de la zona Sur de la parroquia La Tingue a escala 1:10 000 se consideró utilizar un conjunto de métodos y técnicas como: Método Científico, Descriptivo, Deductivo, de Campo, Sintético y Técnicas de Observación; mismos que fueron aplicados conforme se avanzaba en el trabajo, a fin de llegar a cumplir con los objetivos planteados.

### 5.3 Metodología.

#### 5.3.1 Metodología para el primer objetivo.

- *Identificar y caracterizar las unidades litológicas y su correlación estratigráfica.*
- a) Se recolectó información geológica de investigaciones existentes ya sea del área o adyacente a ella, como por ejemplo la Hoja Geológica de Zaruma del año 2013 a escala 1:100 000 referenciada con DATUM WGS84 UTM zona 17S. De esta Hoja Geológica se obtuvo la geología regional, información que fue plasmada en un mapa geológico que contiene las unidades geológicas del área de estudio y contiguas a ella, referenciado espacialmente con el DATUM WGS84 UTM zona 17S, conservando la escala original de referencia 1: 100 000.
- b) Del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS), se obtuvieron las ortofotos con resolución espacial de 30cm, y los MDT con resolución de 3m, del año 2012, los códigos de identificación de los ráster trabajados son: NVI-E4d-A2,

NVI-E4d-A4, NVI-E4d-B1, NVI-E4d-B2, NVI-E4d-E2, NVI-E4d-B3, NVI-E4d-B4, NVI-E4d-C1, NVI-E4d-C3, NVI-E4d-D2, NVI-E4d-E1, NVI-E4d-E2, NVI-E4d-E4, NVI-E4d-F1, NVI-E4d-F3, NVI-E4d-F4, NVII-A2b-C1, y NVII-A2b-C2 correspondientes a la zona Sur de la parroquia La Tingue, tanto las ortofotos como los MDT están espacialmente referenciados con SIRGAS UTM zona 17S, que es el equivalente al DATUM WGS84 UTM zona 17 Sur,

- c) Para la elaboración del mapa topográfico, se trabajaron los MDT con el software ArcGIS 10.4 con la herramienta Contour, generando así las curvas de nivel cada 10m. En cuanto a vías (ruta primaria, ruta secundaria, ruta local y sendero), quebradas, casas, escuelas e iglesias se digitalizaron a partir de las ortofotos anteriormente señaladas, obteniendo así un mapa topográfico del área de estudio, con las siguientes características técnicas: curvas de nivel principales cada 50m y curvas de nivel secundarias cada 10m, referenciado espacialmente con el DATUM WGS 84 UTM zona 17S, escala 1:10 000. El resultado sirvió de base para la planificación de geotrasversías y para agregar información geológica preliminar y definitiva.
- d) Seguidamente, se efectuó la interpretación preliminar de las ortofotos procediendo a identificar rasgos geológicos significativos y estructuras mayores a nivel regional (considerando criterios como: morfología, textura, color, contraste y relieve). Esta información fue tomada de las ortofotos (Objetivo 1, literal b), el proceso se realizó a fin de facilitar el trabajo de campo mediante la identificación y planificación de rutas óptimas a seguir, ya sea por vías, caminos, afluentes, etc.
- e) Posteriormente, se llevaron a cabo salidas técnicas siguiendo las rutas antes analizadas acopladas al método de mapeo por afloramientos o también conocido como mapeo de todos los afloramientos, con la finalidad de apreciar a detalle las diferentes litologías, formaciones geológicas y relaciones estratigráficas, para lo cual se utilizó el levantamiento y análisis de afloramientos, llegando así a examinar la mayor cantidad de exposiciones geológicas posibles. Las fichas de descripción de afloramientos que se usaron son las propuestas por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) (*ver Anexo 1 Ficha a*).

A la par, se extrajo muestras de roca frescas, el número de las mismas estuvo determinado en función de la litología encontrada.

El muestreo se llevó a cabo siguiendo el siguiente protocolo:

- 1) Ubicación del afloramiento del que se extraerá la muestra de roca fresca in situ.



- 2) Recolección de muestras en bolsas herméticas, etiquetadas respectivamente con una ficha de identificación (*ver Anexo 1 Ficha c*).
  - 3) Toma de fotografías del afloramiento a escala con base en la ubicación, y marcando el techo y la base de ser posible.
  - 4) En cuanto al transporte, se debe evitar la alteración de la muestra, efectuando el viaje en condiciones controladas.
- f) La descripción petrográfica macroscópica de muestras de mano recolectadas en campo se hizo siguiendo los lineamientos del “Instructivo para el manejo de fichas de descripción macroscópica de muestras” elaborado por (Viteri, 2013) (*ver Anexo 1 Ficha b*), en el que se determina y describe color, textura, tamaño de grano y estructura.
- g) En base a la interpretación de resultados provenientes de la información extraída de campo y corroborada en el laboratorio se definió la sucesión estratigráfica local con sus respectivas medidas y características geológicas, obteniendo así las unidades litológicas de la zona de estudio.
- h) Como resultado final se obtuvo el mapa topográfico a escala 1: 10 000 e información teórica de geología y litoestratigráfica del área de estudio, que sirvió para la determinación de las estructuras geológicas y elaboración del mapa geológico - estructural.

### **5.3.2 Metodología para el segundo objetivo.**

- *Determinar y caracterizar las estructuras geológicas del área de estudio.*
- a) Para el cumplimiento de este objetivo, se empleó la fotointerpretación, realizando un análisis geológico - estructural de la zona de estudio, ello realizado en base a la metodología propuesta por (Lopez Vergara, 1988), en su Manual de fotogeología. Ya en el desarrollo, se trabajó con el software ArcGIS 10.4, iniciando con la creación de un mosaico a partir de las ortofotos (Objetivo 1, literal b) obtenidas del MAG, posteriormente se realizó la superposición de la información topográfica e hidrográfica a escala 1:10 000 generada en este estudio (Objetivo 1, literal c), estableciendo la base para la fotointerpretación de estructuras geológicas e información litológica de la zona de estudio. La información guía que se utilizó para este análisis, corresponde a:
- Hoja geológica de Zaruma 1:100 000 del año 2013.
  - Carta topográfica de Chaguarpamba 1:50 000 del año 1988.

La fotointerpretación consistió en la definición de contactos y de estructuras geológicas, estudiando minuciosamente los siguientes parámetros:

- *Estudio del tono y vegetación:* En las ortofotos se analizó los tonos y texturas asociadas a las litologías existentes, además de considerar tipos de vegetación y humedad de la zona de estudio, factores que son importantes al momento de definir un tipo de litología.
  - *Análisis topográfico:* Realizado en base al levantamiento topográfico de la zona de estudio, elaborado a partir de los MDT obtenidos del MAG (Objetivo 1, literal c).
  - *Análisis morfológico:* Se realizó en base a la información del Mapa Geomorfológico Nacional a escala 1:25 000, elaborado por el MAGAP en el año 2013.
  - *Análisis de red de drenaje:* Se consideró los patrones de drenaje, densidad y uniformidad con que se presenta la red de drenaje, teniendo en cuenta que la litología y el control estructural influyen, produciendo cambios.
  - *Análisis de control litológico:* Se efectuó mediante la digitalización de contactos litológicos en base a los parámetros señalados anteriormente, obteniendo así la delimitación preliminar de las unidades litológicas de la zona de estudio.
  - *Análisis de control estructural.:* Se analizó los rasgos morfológicos de la superficie terrestre, disposición de la vegetación, red de drenaje, cambios de tono, facetas triangulares, escarpes, entre otros parámetros visualizados en las ortofotos que ayudaron a identificar estructuras geológicas como pliegues y fallas.
- b) En campo se identificó y detalló las estructuras geológicas de la geología regional (Objetivo 1, literal a), inferidas e identificadas con la fotointerpretación, como pliegues, fallas, contactos, entre otras, mediante la toma de datos estructurales con el uso de brújula Brunton, esta información se registró en la ficha de descripción de afloramientos (*ver Anexo 1 Ficha a*).
- c) Como resultado de este objetivo se obtuvo información cualitativa y cuantitativa de las estructuras geológicas del área de estudio, que conjuntamente con la información geológica recabada en el primer objetivo, sirvieron para la estructuración del mapa geológico - estructural a escala 1: 10 000 determinado en el tercer objetivo de esta investigación.

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

- *Elaborar el mapa geológico - estructural de la zona Sur de la parroquia La Tingue a escala 1:10 000.*
- a) Con la información de campo y procesada en gabinete, siendo esta: topográfica, geológica, estratigráfica y estructural, se procede a la elaboración del primer borrador del mapa

geológico - estructural a escala 1:10 000, referenciado espacialmente con el DATUM WGS84 UTM zona 17S, siguiendo el Manual de geología estructural, interpretación y elaboración de mapas geológicos de (Camargo, 2004), y los Estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para la cartografía geológica del (IIGE, 2019). El desarrollo de esta fase se llevó a cabo con el software ArcGIS 10.4, donde se efectuaron trabajos de reinterpretación de las ortofotos, con el fin de ajustar las delineaciones y efectuar las respectivas correcciones en base el trabajo de campo, de tal manera que las anotaciones y observaciones realizadas en el campo estén acorde con el mapa.

- b) Luego se sometió el mapa a revisión con el fin de supervisar y detectar posibles errores u omisiones que pudieron pasar en la fase de dibujo, posteriormente se corrigieron los errores que presentó el primer borrador, esto en base a la información corregida y complementaria registrada ya sea geológica o estructural del área de estudio, quedando así definido el mapa geológico - estructural.
- c) En cuanto a la elaboración de perfiles geológicos se realizaron siguiendo los criterios del libro denominado Mapas geológicos (Explicación e interpretación) de (Martínez, 1981), específicamente la segunda parte, donde se explica la metodología para la construcción de perfiles geológicos.
- d) Como resultado de este objetivo se obtuvo el mapa geológico - estructural a escala 1: 10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue con DATUM WGS84 UTM zona 17S. Este mapa contiene: unidades litológicas, estructuras geológicas, estratigrafía, contactos existentes y cortes geológicos.

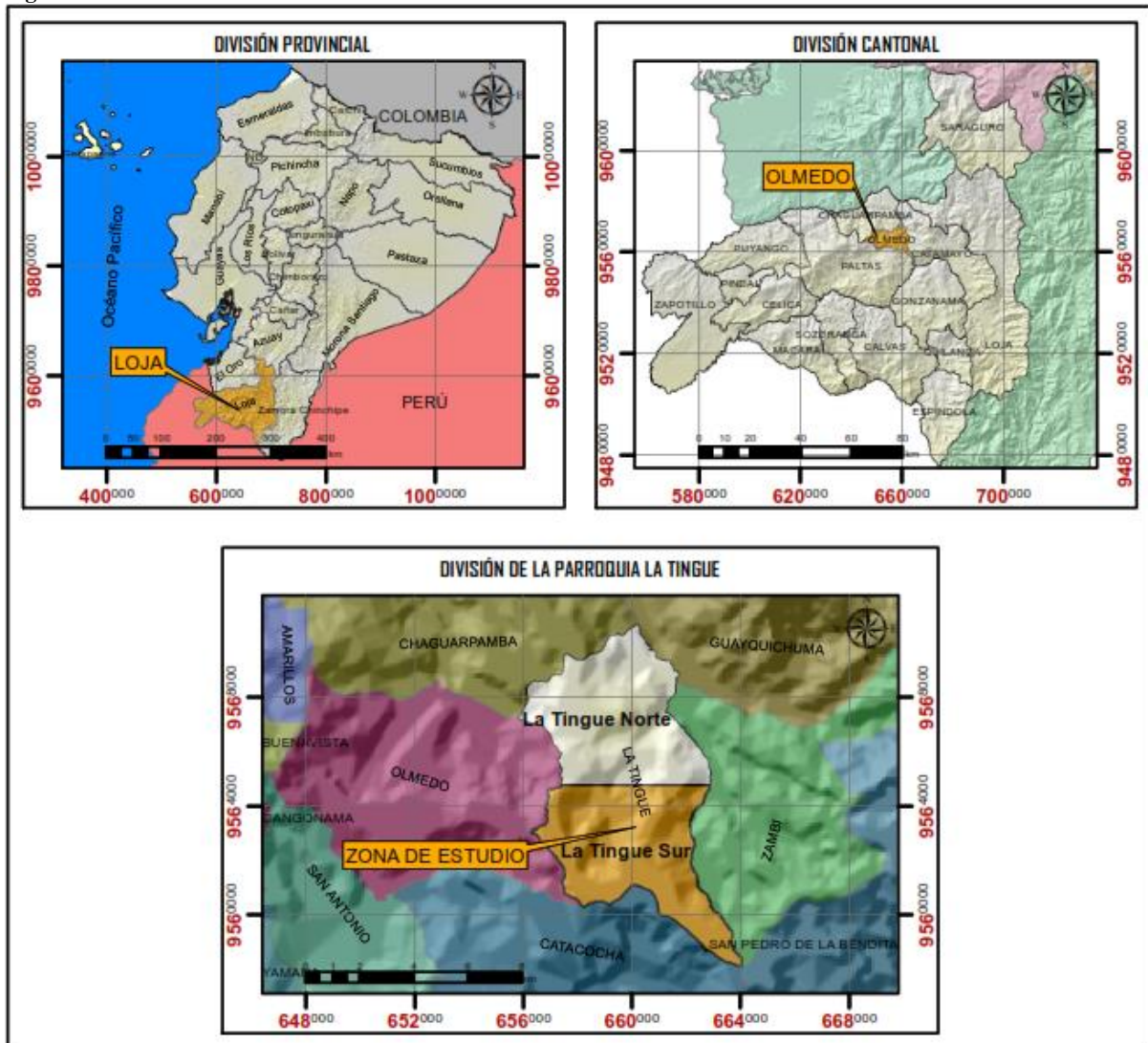
## 6 Resultados.

### 6.1 Descripción general del área de estudio.

#### 6.1.1 Ubicación.

La parroquia la Tingue está ubicada al Sur del territorio ecuatoriano, al Norte de la provincia de Loja y al Este del cantón Olmedo al que pertenece, esta parroquia tiene una superficie de 51,49km<sup>2</sup>.

Figura 34 Ubicación de la zona de estudio.



Nota: Basado en (CONALI, 2017). Elaborado por (Jiménez, 2022).

A partir de la superficie total de la parroquia La Tingue, se divide en dos partes (La Tingue Norte y La Tingue Sur), basándose en la división político-administrativa y tomando como referencia la carta topográfica de Chaguarpamba a escala 1: 50 000 edición 3 del IGM (Instituto Geográfico Militar) de 1988, la figura 34 muestra la ubicación de la zona Sur de la parroquia La Tingue, referenciada con el DATUM UTM WGS84 zona 17 Sur.

La zona Sur o zona de estudio (tabla 6), comprende un área de 25.74km<sup>2</sup>, limitada geográficamente al Norte con la división La Tingue Norte, al Este la parroquia Zambí y al Sureste con la parroquia San Pedro De La Bendita, parroquias pertenecientes al cantón Catamayo. Al Sur limita con la parroquia Catacocha del cantón Paltas, y al Oeste con la parroquia Olmedo del cantón Olmedo.

**Tabla 6** Ubicación de la zona de estudio.

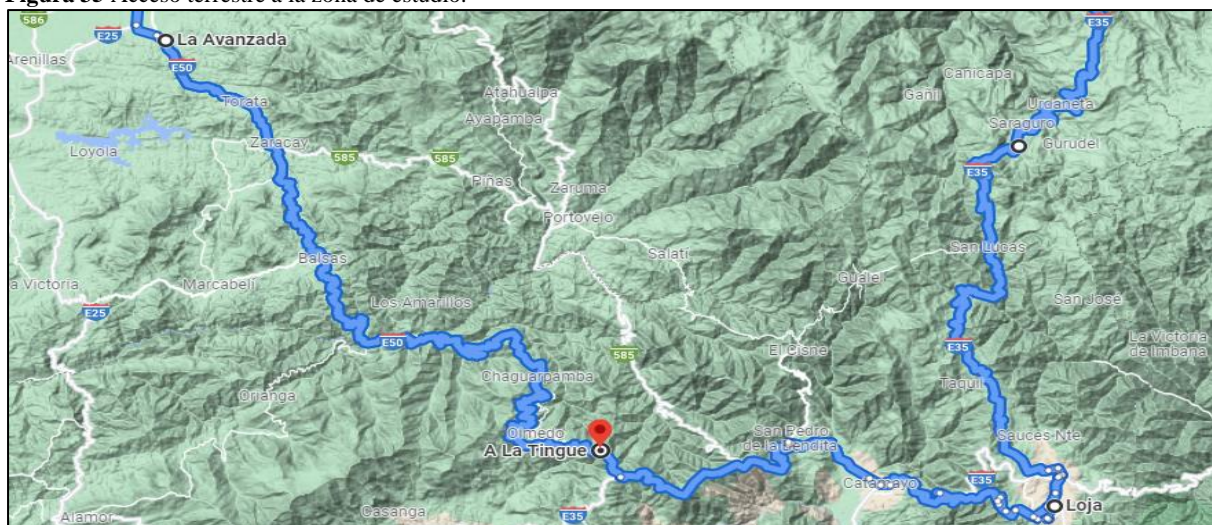
X	Y
657407	9564798
662876	9564798
664029	9558089
661001	9560015
659997	9561094
658252	9560284
656307	9563055

**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022).

### 6.1.2 Acceso.

El acceso a la zona de estudio se lo puede realizar por vía terrestre desde la ciudad de Quito hacia la ciudad de Loja, recorriendo 671km en un tiempo aproximado de 12h, luego de Loja hacia la ciudad de Catamayo, siguiendo de Catamayo a San Pedro y finalmente de San Pedro a la parroquia La Tingue, hasta el sector Aguasillas, trayecto que comprende la Troncal Sierra–Transversal Sur, con una distancia aproximada de 65.8km en un tiempo estimado de 1h 30min. De igual forma por vía terrestre también se puede acceder desde Guayaquil tomando la Troncal de la Costa hasta La Avanzada, para luego dirigirse por la Troncal Sierra–Transversal Sur con dirección a Chaguarpamba, de Chaguarpamba a Veracruz, para finalmente llegar al sector Aguasillas, la distancia aproximada de este trayecto es de 337km con un tiempo de recorrido aproximado de 6h (figura 35).

**Figura 35** Acceso terrestre a la zona de estudio.



**Nota:** Basado en Google Maps. Elaborado por (Jiménez, 2022).

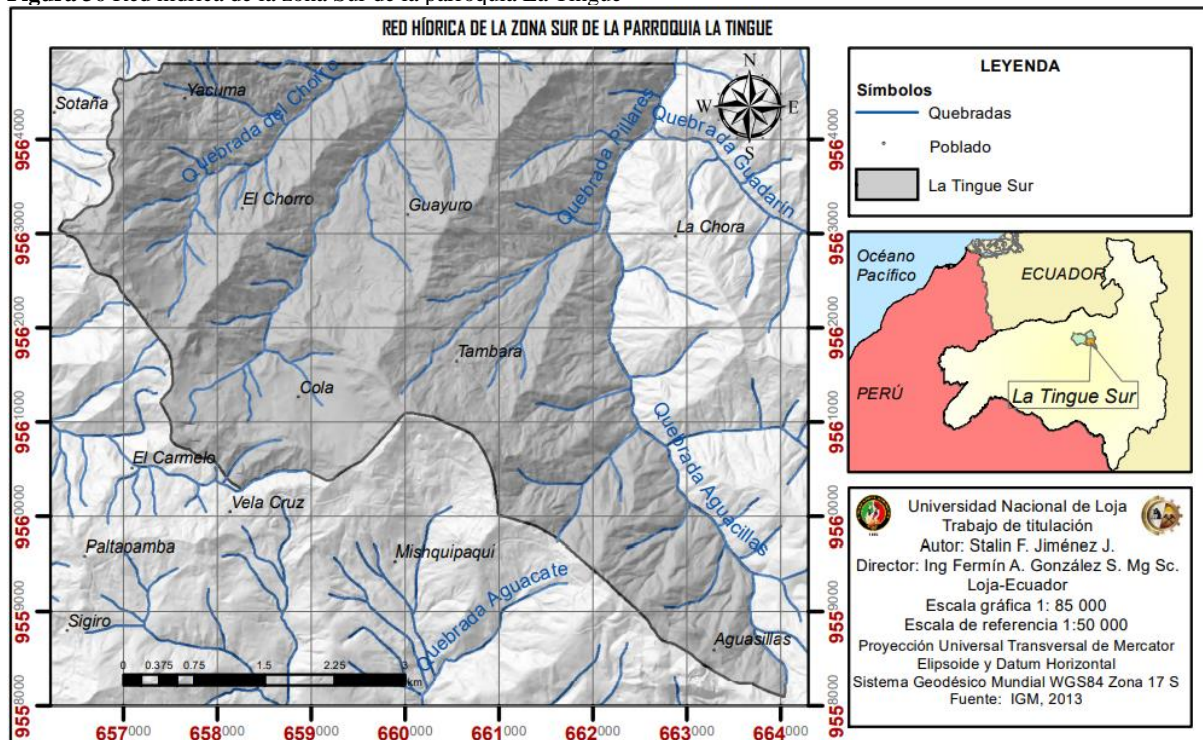
El acceso por vía aérea se realiza desde la ciudad de Quito partiendo del aeropuerto Internacional Mariscal Sucre o desde la ciudad de Guayaquil del aeropuerto Internacional José Joaquín de Olmedo, hasta Catamayo al aeropuerto Ciudad de Catamayo. Luego desde Catamayo ya sea en transporte público o privado se continúa por vía terrestre a la parroquia La Tingue por la Troncal Sierra–Transversal Sur, recorrido que comprende 32.7km en un tiempo estimado de 38min.

## 6.2 Descripción biofísica del sector.

### 6.2.1 Hidrografía.

La red hídrica de la parroquia, cuenta con cuatro fuentes importantes, siendo estas: quebrada Valarezo, quebrada La Cola, quebrada del Chorro y quebrada Pillares, estas dos últimas y la quebrada Aguasillas ubicadas dentro de la zona de estudio (figura 36).

Figura 36 Red hídrica de la zona Sur de la parroquia La Tingue



Nota: Basado en IGM, 2013. Elaborado por (Jiménez, 2022).

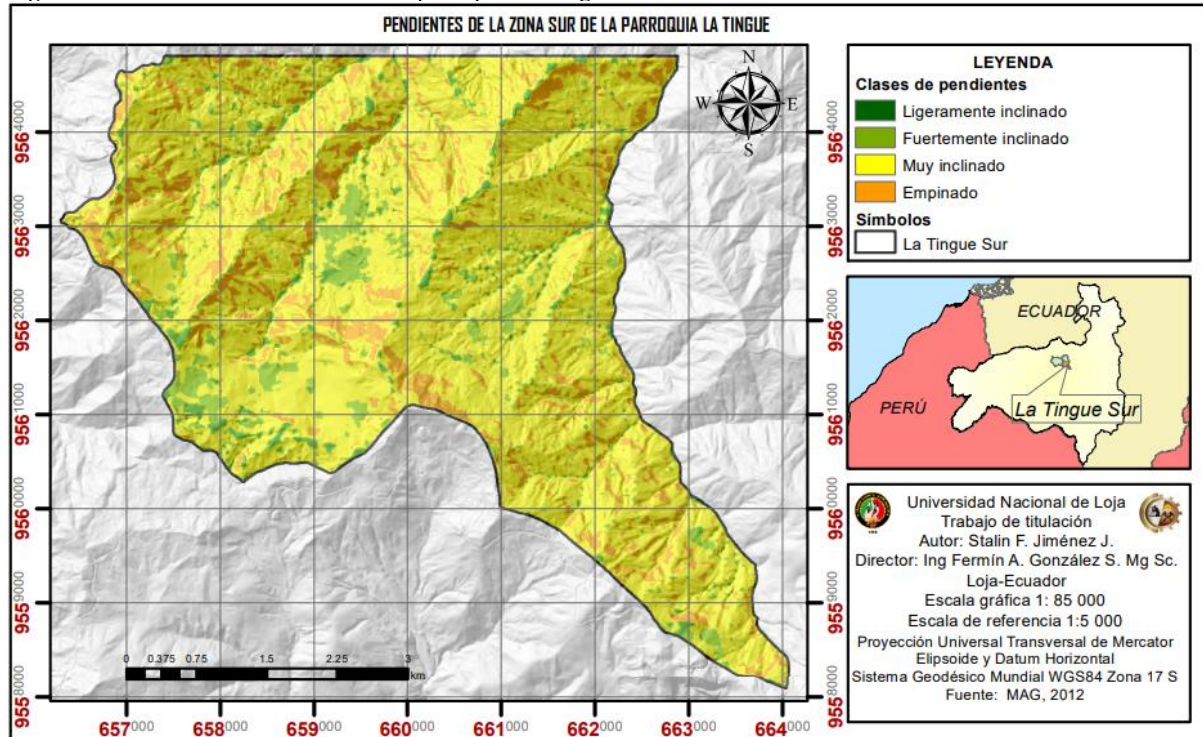
### 6.2.2 Precipitación.

En el (PDOT de la parroquia La Tingue, 2015-2019) se señala que se observa dos estaciones, la estación lluviosa de diciembre a mayo, una estación muy seca entre junio y septiembre y una menos acentuada en diciembre-enero, los totales pluviométricos fluctúan entre 700 a 1500mm/año generalmente, con valores anuales de 500mm/año.

### 6.2.3 Pendiente.

A partir de los MDT y su procesamiento en el software ArcGIS 10.4 se estableció el mapa de pendientes de la zona de estudio (*ver Anexo 3*), las cuales están clasificadas de acuerdo a los rangos en grados (°) establecidos por Demek, 1972, como se muestra a continuación:

**Figura 37** Pendientes de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



**Nota:** Basado en MAG, 2012. Elaborado por (Jiménez, 2022).

**Tabla 7** Pendientes de la zona Sur de la parroquia La Tingue.

Clase	Rango	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Ligeramente inclinado	0°-5°	0.73	2.85
Fuertemente inclinado	5°-15°	2.24	8.71
Muy inclinado	15°-35°	19.50	75.82
Empinado	35°-55°	3.25	12.62

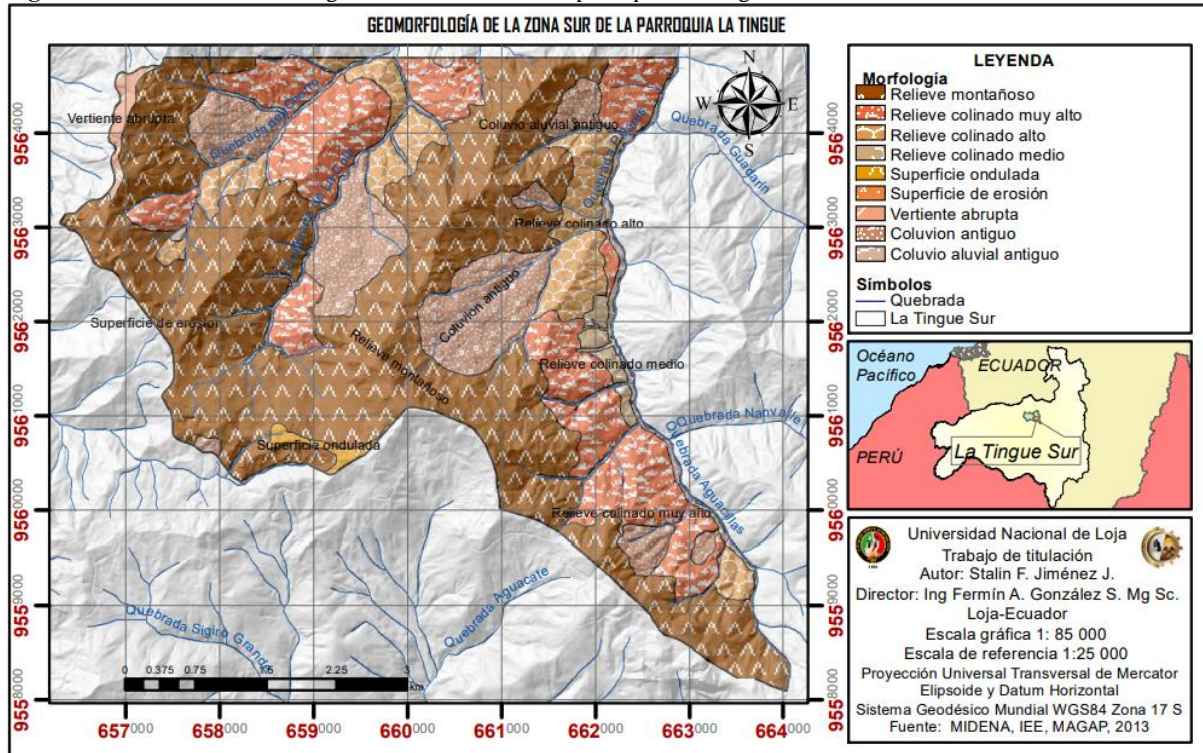
**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022).

Al observar el mapa de pendientes (figura 37), se puede ver que la zona de estudio en su mayoría (75.82%) está constituida por pendientes muy inclinadas (15°-35°), también existe una considerable extensión (12.62%) de pendiente empinada (35°-55°) que responde principalmente a zonas altas.

### 6.2.4 Geomorfología.

Conforme con el mapa geomorfológico (*ver Anexo 4*) las unidades geomorfológicas comprendidas dentro de la zona de estudio (figura 38) mayormente están definidas por relieves montañosos (52.30%), relieve colinado muy alto (20.69%) y coluvión antiguo (13.38%), como se puede observar en la tabla 8.

**Figura 38** Unidades Geomorfológicas de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



**Nota:** Basado en MIDENA-Instituto Espacial Ecuatoriano-MAGAP, 2013, elaborado por (Jiménez, 2022).

**Tabla 8** Unidades Geomorfológicas de la zona Sur de la parroquia La Tingue

Unidad morfológica	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Relieve montañoso	13.45	52.30
Relieve colinado muy alto	5.32	20.69
Relieve colinado alto	2.19	8.50
Relieve colinado medio	0.27	1.06
Superficie ondulada	0.15	0.59
Superficie de erosión	0.01	0.03
Vertiente abrupta	0.19	0.73
Coluvión antiguo	3.44	13.38
Coluvio aluvial antiguo	0.70	2.72

**Nota:** Basado en MIDENA-Instituto Espacial Ecuatoriano-MAGAP, 2013

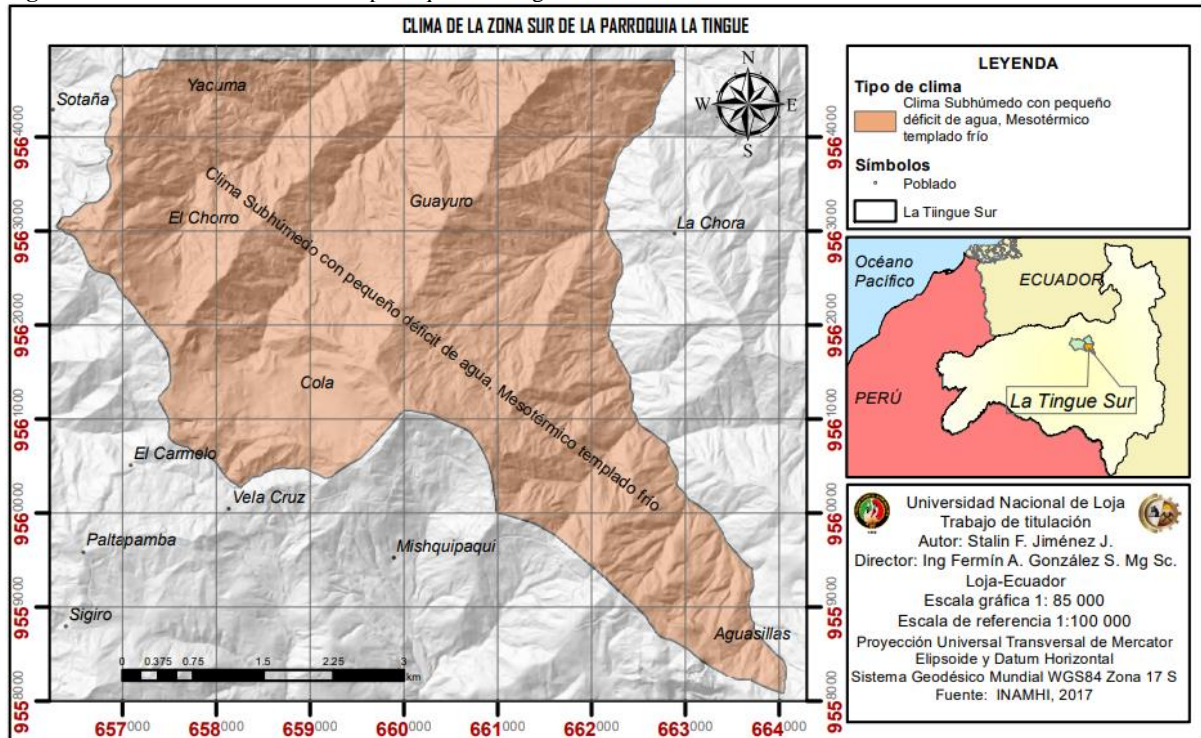
### 6.2.5 Clima.

Según el (PDOT de la parroquia La Tingue, 2015-2019) el carácter peculiar del clima de la parroquia La Tingue está sujeto al relieve típico del cantón Olmedo, a la ausencia de la cordillera occidental y al fenómeno de la desertificación que presenta la provincia de Loja. En esta zona prevalece la corriente de Humboldt que transporta el aire frío y húmedo desde el sur, como consecuencia del desplazamiento de un gran anticiclón sobre el océano Pacífico Austral. Su altitud promedio es 1770 msnm.

La parroquia La Tingue cuenta con dos tipos de climas: Clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca (Megatérmico o cálido) y Clima Subhúmedo con pequeño déficit de agua, Mesotérmico templado frío. Este último cubre toda la zona de estudio (figura 39).



**Figura 39** Clima de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



**Nota:** Basado en INAMHI, 2017, elaborado por (Jiménez, 2022).

### 6.2.6 Ecosistemas.

Los ecosistemas que conforman la zona Sur de la parroquia La Tingue (figura 40), son básicamente dos:

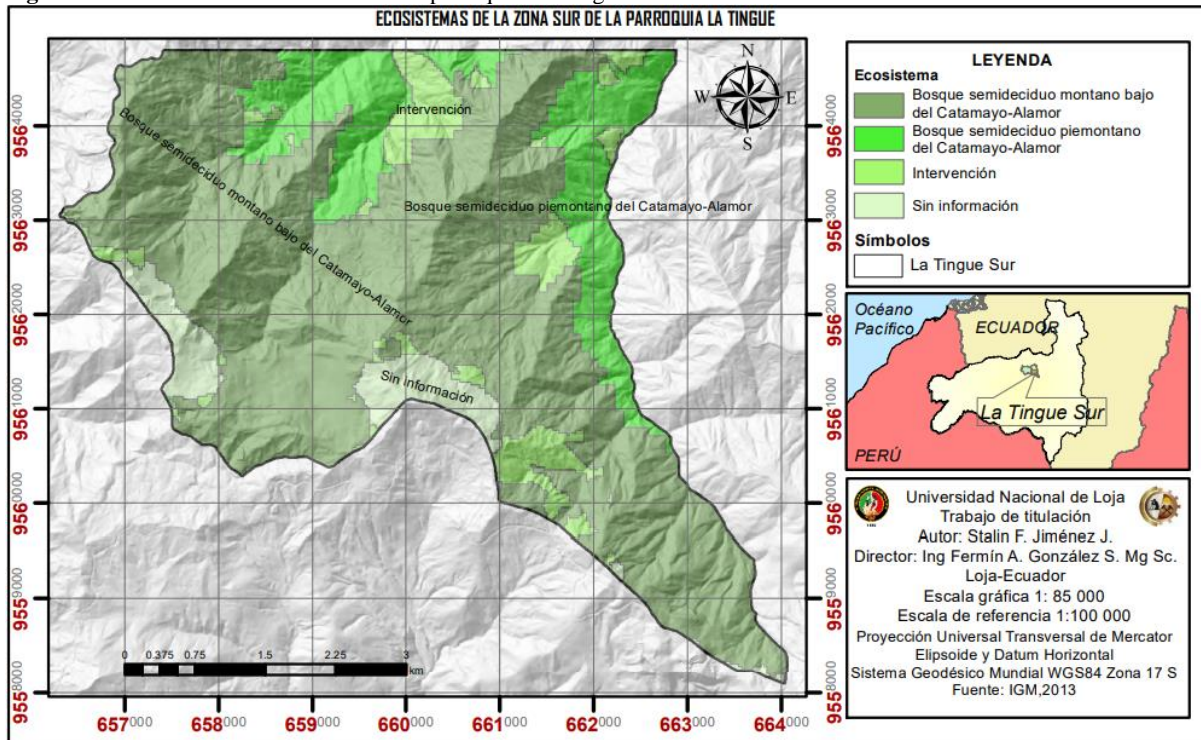
- Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo-Alamor: caracterizado por bioclima pluviestacional, ombrotipo subhúmedo y piso bioclimático montano bajo (1600-2200 msnm).
- Bosque semideciduo piemontano del Catamayo-Alamor: caracterizado por bioclima pluviestacional, ombrotipo subhúmedo y piso bioclimático piemontano (400-1600 msnm).

La superficie ocupada y el equivalente al porcentaje se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9** Ecosistemas de la Parroquia La Tingue

Ecosistema	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Bosque semideciduo montano bajo del Catamayo-Alamor	17.94	69.67
Bosque semideciduo piemontano del Catamayo-Alamor	4.25	16.51
Intervención	2.11	8.18
Sin información	1.45	5.64

**Nota:** Basado en IGM,2013. Elaborado por (Jiménez, 2022).

**Figura 40** Ecosistemas de la zona Sur de la parroquia La Tingue

**Nota:** Basado en IGM,2013. Elaborado por (Jiménez, 2022).

### 6.3 Marco geológico regional.

La geología de la región sur del Ecuador está plasmada en mapas geológicos producidos desde 1892 (Wolf, T.) hasta el 2000 (CODIGEM-BGS), en escalas que varían desde 1:2 000 000 hasta 1:200 000.

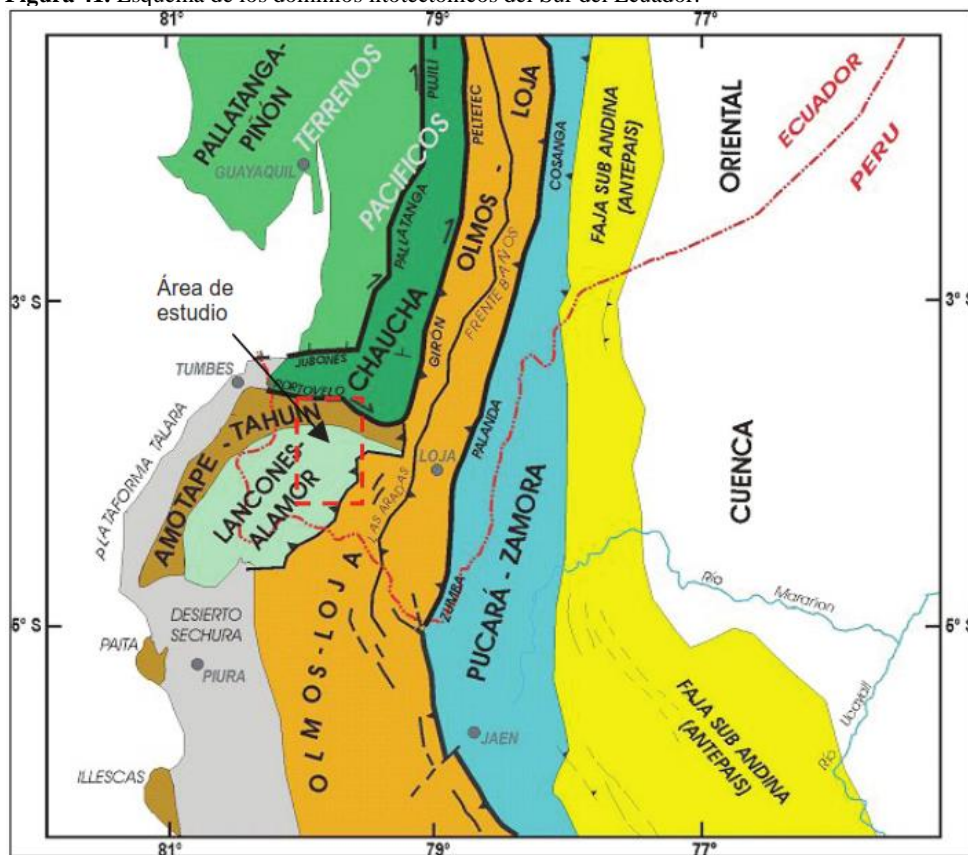
(Kennerley, 1975) también aportó a la geología del sur de Ecuador de manera significativa con el Levantamiento geológico, específicamente el de la Hoja Geológica Zaruma a escala 1: 100 000, que es la que abarca el área de estudio.

En el trabajo investigativo de (Gordon, Palacios, Pilatasig, & Sánchez, 2005) titulado Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA) realizado con el fin de obtener información geológica de la región Sur de Ecuador y Norte de Perú, siendo esta plasmada en un mapa a escala 1:500 000 y describiendo diferentes unidades litológicas y estructuras de ambos países, este estudio abarca las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe en Ecuador.

Uno de los trabajos más recientes realizados es el Proyecto “Modelo piloto para la determinación del potencial geológico - mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1: 100 000” (INIGEMM, 2013), que proporciona la información base para esta investigación.

El área de estudio está dentro de la cuenca Alamor-Punta de Piedra (Lancones - Alamor), de acuerdo con (Ibadango, Pilatasig, & Torres, 2013), esta cuenca constituye una estructura geológica de edad Cretácico ubicada en la zona noroccidental de la Placa Sudamericana, emplazada en el extremo austral de la región denominada Andes del Norte (Ramos, 1999) o Bloque Norandino (Cediell et al., 2003), entre el Terreno Olmos-Loja y el Macizo Amotape-Tahuín (Pilatasig et al., 2007) respectivamente (figura 41), constituidos por secuencias metamórficas de edad pre-Cretácico (Litherland et al., 1994). Una gran parte de la cuenca está ubicada en el sector peruano, mientras en el Ecuador se encuentra hasta el sector Zambí, donde se acuña entre el Macizo Amotape-Tahuín y el Terreno Loja-Olmos.

**Figura 41.** Esquema de los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador.



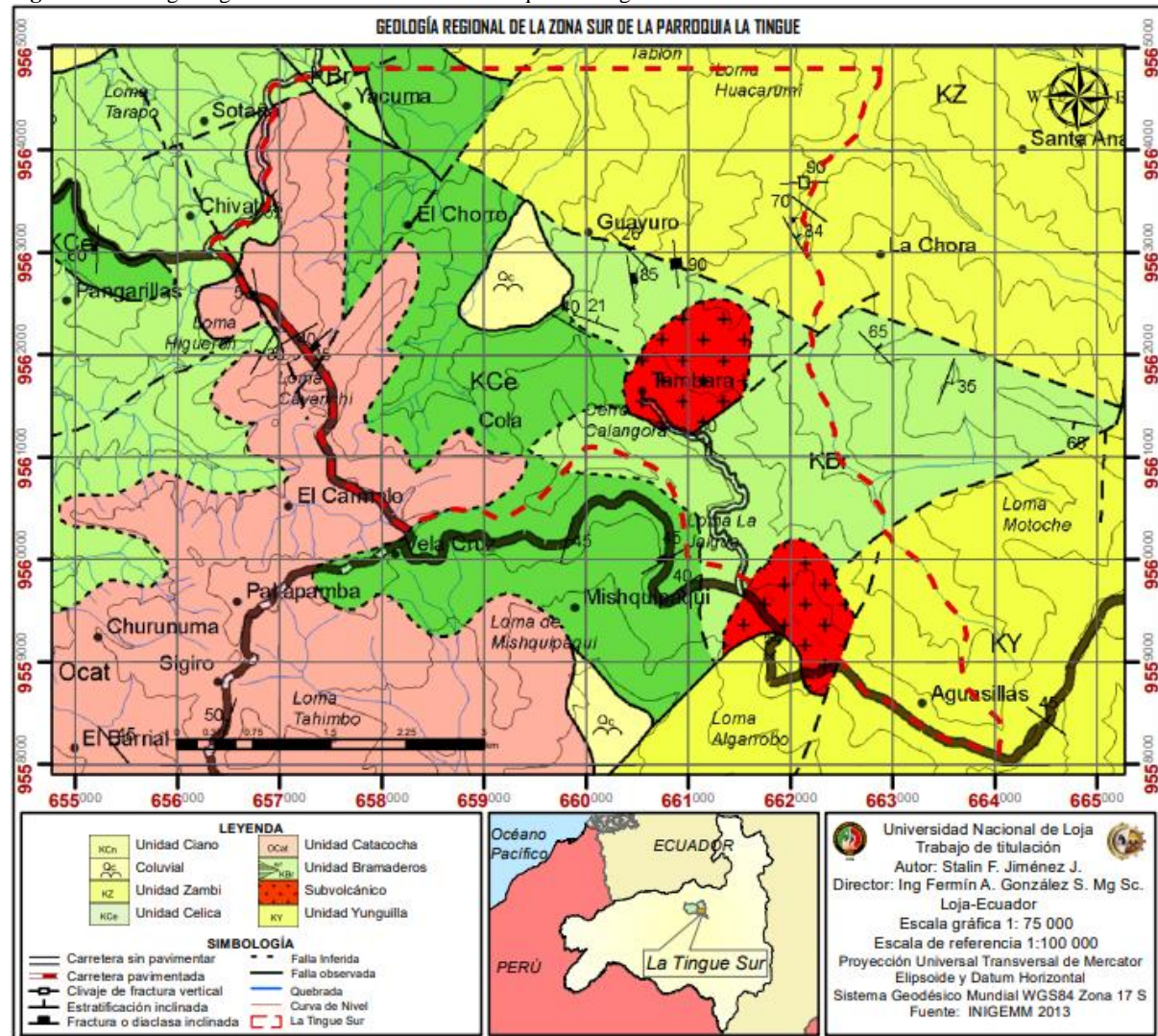
**Nota:** Obtenido de (Ibadango, Pilatasig, & Torres, 2013)

La cuenca Alamor-Punta de Piedra, considerando la naturaleza y el ambiente de depositación, está constituida por una potente secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas asociadas con niveles sedimentarios, depositadas en un ambiente oceánico. En la zona noroccidental, está constituida por rocas siliciclásticas depositadas sobre basamento metamórfico, en un ambiente continental-marino costero. La cuenca se divide en dos zonas, la primera ubicada al suroriente abarcando la mayor parte de la misma, desde el río Pindo hasta el Perú constituyendo el Arco Volcánico Oceánico. La segunda ubicada al noroccidente

alcanzando un área reducida de la cuenca entre Guerras y el río Pindo, constituyendo la Cuenca Sedimentaria Continental. (Ibadango, Pilatasig, & Torres, 2013)

En la Hoja Geológica de Zaruma a escala 1: 100 000 elaborada por el (INIGEMM, 2013) con el Proyecto “Modelo piloto para la determinación del potencial geológico - mineralógico de las zonas Zaruma y Carimanga a escala 1: 100 000” se ubica la geología regional del área de estudio (figura 42), quedando definida por las siguientes unidades:

Figura 42 Geología regional de la zona Sur de la Parroquia la Tingue.



Nota: Adaptado de (INIGEMM, 2013), elaborado por (Jiménez, 2022).

- *Unidad Yunguilla:* (Cretácico) Se restringe a la parte S y SE de la Hoja Geológica Zaruma, formando un bloque tectónico en la región de Aguasillas y una laja tectónica al N de Yamana. La secuencia consiste de rocas sedimentarias turbidíticas, bien estratificadas, finogranulares, carbonatadas y muy deformadas. Las litologías incluyen areniscas calcáreas, limolitas y lutitas negras que ocurren en capas centimétricas con rumbo preferencial E-W buzando al N. Las rocas presentan fracturamiento astilloso y

localmente tienen el aspecto de pizarras. Los contactos con las Unidades Bramaderos, Loma Blanca y Río Playas son tectónicos. Al S de la escama tectónica definida como unidad Yunguilla hay la presencia de facies del Campaniano-Maastrichtiano incluidas en las Unidades Naranjo y Casanga, argumentos que sugieren que las rocas calcáreas se pueden correlacionar con las unidades descritas. (INIGEMM, 2013)

- *Unidad Bramaderos:* (Cretácico) Constituye una secuencia volcanoclástica de color gris verdoso, finogranular, bien estratificada. Contiene aglomerados volcánicos de granulometría variable, fuertemente meteorizados y subordinadas tobas de cristales medianamente meteorizadas. Los aglomerados constituidos por líticos de composición básica a intermedia de color gris, rojizo y verde, soportados en matriz arenosa tobácea, en lámina delgada presentan textura piroclástica, contienen mayormente líticos volcánicos de composición básica a intermedia, además de fenocristales rotos de plagioclasa y clinopiroxeno como parte de la matriz. Las tobas de cristales de grano grueso, constituidas por líticos de composición básica a intermedia, soportados en una matriz limo-arenosa, en lámina delgada presentan textura piroclástica, contienen fenocristales rotos de plagioclasa, relictos de clinopiroxeno y microlíticos volcánicos. Clorita, epidota, calcita, cuarzo, prehnita y minerales opacos como minerales secundarios. En El Carmelo (UTM: 641076, 9558992), estratos subhorizontales de areniscas de grano fino y limolitas de color gris oscuro, consideradas como facies marinas locales, contienen restos orgánicos (moldes de bivalvos e *Inoceramus*) de un paleoambiente subacuoso correspondiente al Cretácico superior. En base a la relación estratigráfica con las Unidades Celica de edad Albiano y Ciano de edad Coniaciano-Santoniano, así como de los fósiles mencionados, una edad Cenomaniano se asigna a esta unidad. (INIGEMM, 2013)
- *Unidad Celica:* (Cretácico). Existe una secuencia volcanoclástica proximal de grano medio a grueso intercalada con mantos de rocas volcánicas, que forman varios cuerpos alargados de diferente magnitud. Las rocas volcanoclásticas incluyen hialoclastitas, tobas de cristales y microbrechas, mientras que las rocas volcánicas incluyen predominantemente lavas. Las hialoclastitas son gris-verdosas, grano fino y textura piroclástica, con líticos volcánicos en matriz con piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico. Las tobas de cristales son gris-verdosas, grano medio y textura piroclástica, contienen líticos volcánicos en matriz compuesta de piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico. Las microbrechas son gris-verdosas, grano medio, textura brechosa,

contienen fragmentos de composición básica a intermedia con textura traquítica en matriz constituida por microlitos de plagioclasa y fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno. Las lavas gris verdosas, masivas, grano fino, textura holocristalina, inequigranular y traquítica, contienen plagioclasa y clinopiroxeno, tienden a ser andesita basáltica. Como minerales de alteración ocurre clorita, epidota, cuarzo, calcita y minerales opacos en la matriz como en los líticos. Prehnita ocurre mayormente en la matriz y relacionada a la alteración de plagioclasa. Geoquímicamente, las rocas básicas del sector de Chivatós tienden a ser andesitas basálticas o basaltos, relacionados con toleítas de arco de islas. El contacto con las Unidades Bramaderos y Chaguarpamba es concordante, mientras el contacto con la Unidad Ciano al S de Orianga es discordante, aunque al N y S del sector Venados el contacto es tectónico. La secuencia es Albiano. (INIGEMM, 2013)

- *Unidad Catacocha:* (Oligo-mioceno) Consiste de una sucesión de rocas volcanoclásticas y volcánicas de composición intermedia a ácida. Las litologías incluyen aglomerados, tobas de cristales y andesitas. Los aglomerados son de color café constituidos por líticos volcánicos soportados en matriz arenosa de grano grueso. Las tobas mayormente meteorizadas, son de color púrpura y estructura masiva, con alto contenido de feldespatos, los mismos que se encuentran alterados a caolín y arcillas. Las andesitas relacionadas a cuellos volcánicos, son de color gris verdoso, masivas, textura porfirítica que por meteorización adquieren tonalidades de color crema. La secuencia sobreyace discordantemente a las unidades Celica y Bramaderos, y en el caso del contacto con la Unidad Loma Blanca es concordante. Considerando que la secuencia sobreyace concordantemente a la Unidad Loma Blanca, una edad Oligoceno-Mioceno se asigna para la Unidad Catacocha. (INIGEMM, 2013).
- *Unidad Zambí:* (Cretácico) Forma una faja de dirección NO-SE. Consiste de filitas, pizarras y areniscas gris oscuras intensamente deformadas. Las filitas y pizarras están dispuestas en capas laminadas, incluyen niveles afectados por intenso clivaje pizarroso, presentan textura lepidoblástica con granos de cuarzo con extinción ondulada y esporádica muscovita, en matriz con abundante mica de grano fino, arcilla, además de sílice y opacos como minerales secundarios. Las areniscas de grano fino a grueso, dispuestas en capas centimétricas, contienen fenocristales rotos de plagioclasa, granos de cuarzo y pequeños líticos de metaareniscas cuarzosas, en matriz pelítica, incluyendo sericita débilmente orientada, calcita y opacos como minerales secundarios. En el NE la

secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Chaguarpamba, mientras al O el contacto con las Unidades Celica y Bramaderos es tectónico. La presencia cerca de las Chinchas de *Platyceramussp* del Coniaciano temprano a Maastrichtiano, especímenes encontrados hasta ahora en depósitos discordantes del Cretácico tardío (Jaillard et al., 1999), determinan que Campaniano-Maastrichtiano tardío es la edad más probable de la secuencia como sugiere Litherland (en Jaillard et al., 1999). (INIGEMM, 2013)

#### **6.4 Geología local.**

El levantamiento geológico de la zona Sur de la parroquia La Tingue, se realizó con la finalidad de redefinir las unidades litológicas determinadas en la hoja geológica de Zaruma de 2013, además, para obtener nuevos datos geológicos que permitan entender de mejor manera la geología del sector.

Para la recolección de información litoestratigráfica se tomó en consideración la escala de trabajo y el método de mapeo, de ahí nace la serie de puntos de control (*ver Anexo 5*), estos afloramientos se caracterizaron geológica y estructuralmente con la descripción en campo (*ver Anexo 6 y 7*), de los afloramientos más representativos se extrajo muestras de roca que luego fueron descritas a nivel macroscópico, determinando sus características petrográficas (*ver Anexo 8*).

Tras el análisis de los datos de campo y de gabinete se define las siguientes unidades en función de las propiedades litológicas observables y distintivas o de una combinación de ellas y de las relaciones cronoestratigráficas de las rocas analizadas.

##### **6.4.1 Unidad Bramaderos (KBr).**

La unidad Bramaderos (Cretácico) denominada así en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, está constituida por una secuencia volcanoclástica que contiene aglomerados volcánicos y tobas de cristales. Esta unidad litológica se ubica al SE y centro N de la zona de estudio, en los sectores Aguasillas, Guayuro, Tambara Bajo y Chivatos. Ocupa 4.83km<sup>2</sup> del área total que corresponde al 18.76% del territorio.

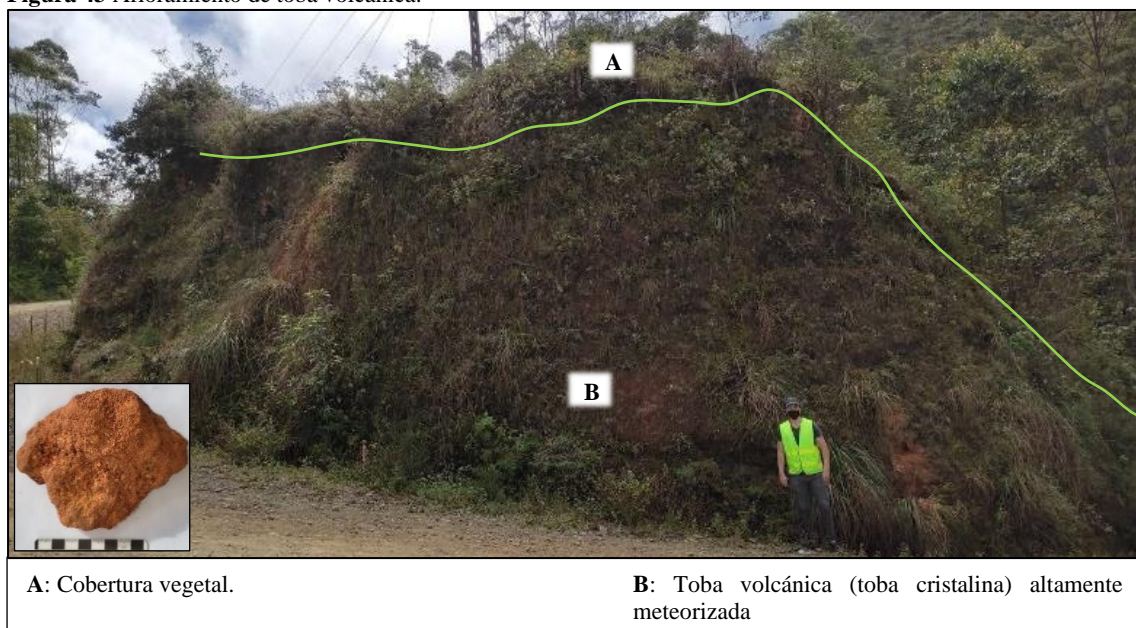
##### **a) Toba volcánica.**

La toba volcánica es una roca ígnea extrusiva, ligera, de consistencia porosa, formada principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas.

Las tobas volcánicas de esta unidad litológica se extienden del SE hacia el centro N del área de estudio comprendiendo los sectores de Aguasillas y Guayuro (UTM: 6662587, 9559137 y

659569, 9563503). Esta serie de afloramientos antrópicos principalmente, se pueden observar por la vía de tercer orden que conduce desde la Troncal de la Sierra hasta el barrio Guayuro, y de igual forma por vías de cuarto orden privadas que cortan transversalmente la formación. Al SW de la zona de estudio en el barrio Chivatos (UTM: 656309, 9563032) también afloran las tobas volcánicas en una pequeña área con características litológicas similares. En general esta roca corresponde a una toba cristalina de grano grueso, constituidas por líticas de composición básica a intermedia, soportados en una matriz limo-arenosa, de coloración rojiza-naranja. Cabe señalar que las tobas son la litología que predomina frente a los aglomerados volcánicos que se encuentran en menores proporciones.

**Figura 43** Afloramiento de toba volcánica.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

La figura 43, corresponde a un afloramiento antrópico de tobas volcánicas ubicado en el sector Chivatos en la vía Chivatos-La Tingue (UTM: 656309, 9563032), presenta 24.32m de largo y 6.03m de altura, aquí se pudo evidenciar la coloración naranja, estructura masiva, presencia de humedad y meteorización alta, además de ser incompetente al golpeo con el martillo geológico. Al analizar detenidamente una muestra de mano (P1\_Chiv\_M1) se establece textura piroclástica, tamaño de grano fino (<1mm) a medio (1-5mm), forma de los clastos irregular, con 20 % en fenocristales y el 80% de matriz limo-arenosa con fragmentos líticos de composición intermedia meteorizados de tamaño variable (5-10mm), sin dejar de lado la porosidad y ligereza característica de la roca. Presentando plagioclasa y clinopiroxeno como minerales principales, con clorita, epidota, cuarzo y prehnita como minerales secundarios. De forma más específica se la puede clasificar como una toba de cristales (toba



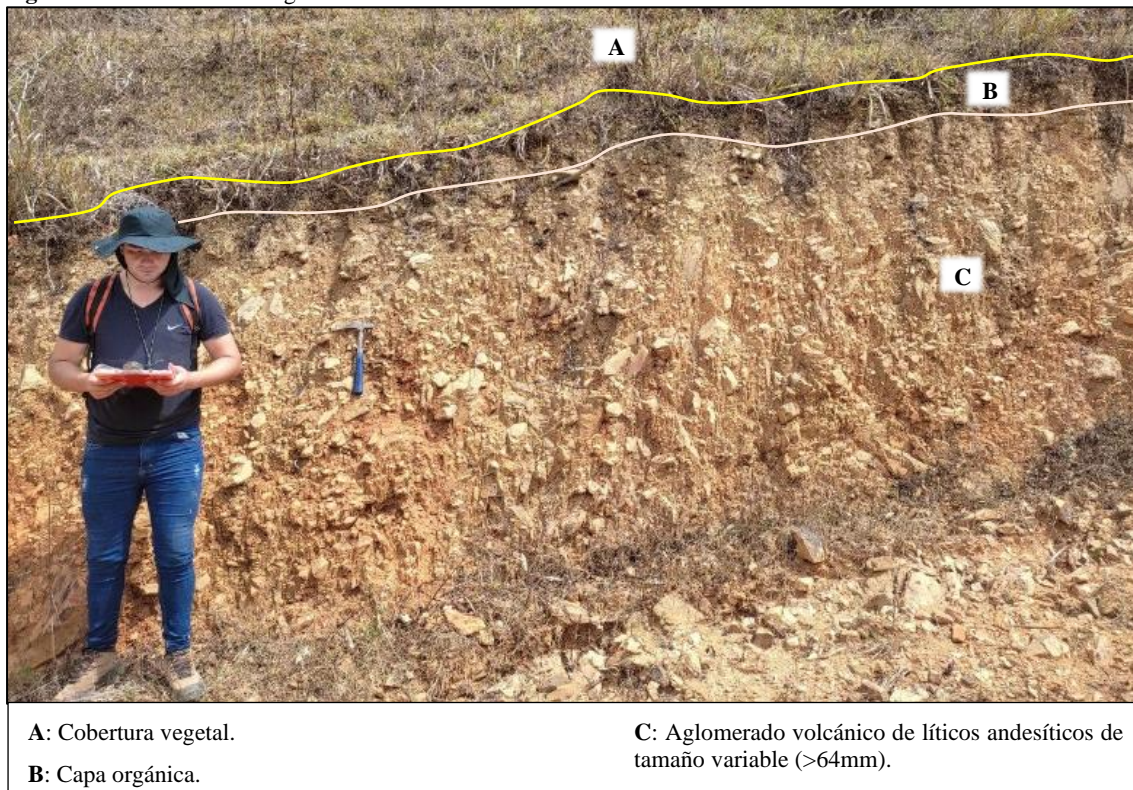
cristalina) de acuerdo al criterio propuesto por Schmid (1981) ya que su principal composición es cristalina con proporciones variables de líticos y vidrio.

**b) *Aglomerado volcánico.***

Los aglomerados volcánicos son una roca ígnea piroclástica formada casi totalmente (>75%) de trozos angulares o redondeados de lava (bombas y bloques volcánicos), de variadas formas y tamaños.

Los aglomerados volcánicos se ubican al E y se extienden al centro W de la zona de estudio, en el barrio Tambara Bajo. Esta roca se observa en una serie de afloramientos antrópicos en una vía privada de cuarto orden (UTM: 661527, 9560792 y 662273, 9561007). Los aglomerados se encuentran en general con líticos andesíticos de tamaño variable preferentemente >64mm, en una matriz arenosa-tobácea, fuertemente meteorizados, subyacen discordantemente bajo las tobas de cristales de la misma unidad geológica.

**Figura 44** Afloramiento de aglomerado volcánico



**A:** Cobertura vegetal.

**B:** Capa orgánica.

**C:** Aglomerado volcánico de líticos andesíticos de tamaño variable (>64mm).

**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 44 se tiene un afloramiento antrópico de aglomerado volcánico ubicado en el sector Tambara Bajo (UTM: 662058, 9561071) presenta 1.82m de altura y 44.66m de largo. Se observa masas caóticas de meteorización media, baja humedad y medianamente competente al golpeo con el martillo geológico. Los líticos corresponden a fragmentos andesíticos

angulares o redondeados de color gris verdoso de tamaño variable (>64mm), en una matriz arenosa-tobácea. La textura es piroclástica, con fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno.

#### **6.4.2 Unidad Catacocha (OCat)**

La unidad Catacocha (Oligo-Mioceno) definida en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, está constituida por una sucesión de rocas volcanoclásticas y volcánicas, específicamente contiene brechas, tobas masivas y andesitas. La unidad ocupa la zona W y NW del área de estudio (UTM: 659214, 9560519 y 657494, 9564531) desde el sector Cola hasta Yacuma. Representa una superficie de 4.21km<sup>2</sup> equivalente al 16.37% del territorio total.

##### **a) Toba masiva.**

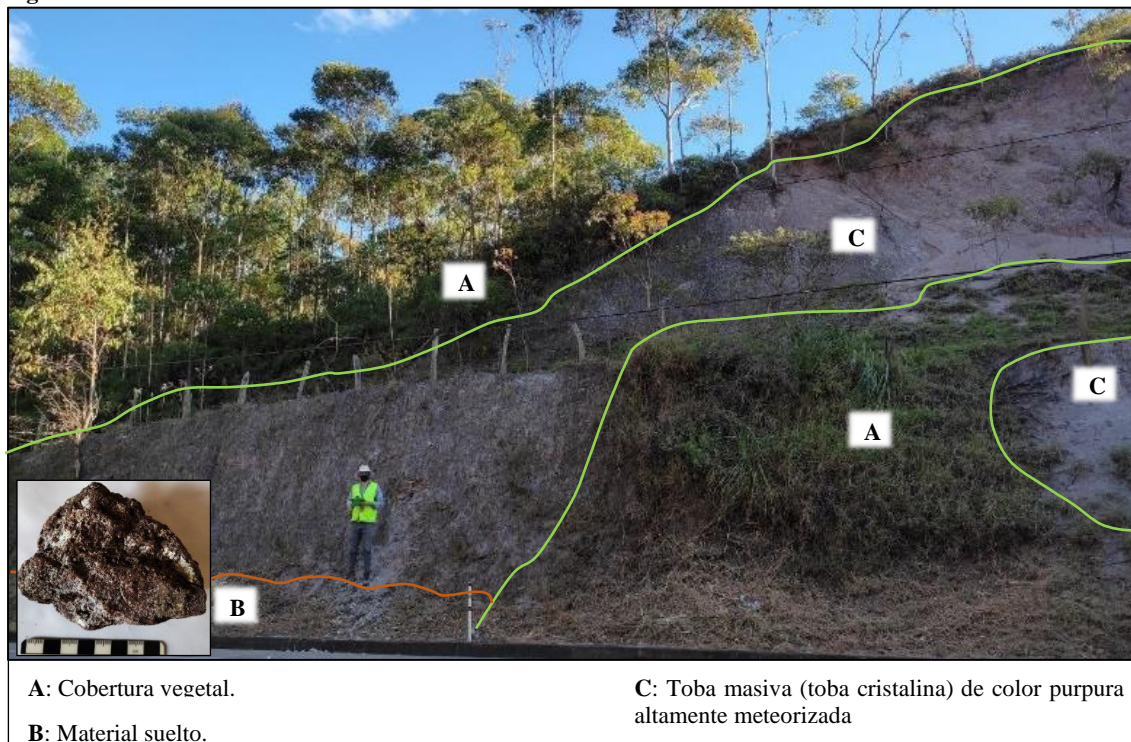
La toba es una roca ígnea volcánica, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

Esta roca ocupa casi la totalidad de la Unidad expuesta en la zona de estudio extendiéndose del W a NW (UTM: 659214, 9560519 y 657494, 9564531) en los sectores Cola y Yacuma. Los afloramientos se visualizan en un tramo de la Troncal Sierra (UTM 658252, 9560291; 656599, 9562776), en la vía Chivatos-La Tingue (656758, 9563308; 656921, 9564471) y por la vía de tercer orden que conduce al sector El Chorro (UTM: 657135, 9562211; 657650, 9669989). Las tobas en general están mayormente meteorizadas, son de color púrpura y estructura masiva, con alto contenido de feldespatos.

De acuerdo al criterio manejado por Schmid (1981) es decir conforme a la naturaleza de sus componentes (Fragmentos de roca, vidrio y cristales) corresponde a una toba cristalina de estructura masiva (o maciza) ya que no presenta ningún tipo de bandeamiento, y sin dirección predominante de sus minerales.

La figura 45 corresponde a un afloramiento antrópico de toba masiva ubicado en la Loma Cayanchi (UTM: 657431, 9561783), de 19.42m de largo y 7.29m de altura, en él, se observó que la roca tiene coloración purpura, estructura masiva, elevada humedad, aspecto terrígeno muy deleznable producto de la alta meteorización (material incompetente). En muestra de mano (Vel\_19\_M1) se establece textura piroclástica, tamaño de grano de fino (<1mm) a medio (1-5mm), forma de los clastos irregular, con 10% en fenocristales y el restante 90% en matriz limosa, dentro de los minerales esenciales están los feldespatos, y como secundarios epidota, cuarzo, prehnita y minerales opacos. Los feldespatos están en proceso de alteración tanto a caolín (color blanco) como a arcilla.

**Figura 45** Afloramiento de toba masiva.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

### **b) Andesita.**

Las andesitas de la Unidad Catacocha están asociadas a cuellos volcánicos, que se forman cuando un volcán cesa de hacer erupción, ya que se erosiona al entrar en contacto con el agua, gases y ácidos, la montaña se gasta con el tiempo, pero el magma que se solidificó en la chimenea suele ser más resistente a la erosión, por lo que una vez que el cono se erosiona, este cuello permanece como un vestigio del cono desaparecido.

Esta roca se observa puntualmente al W de la zona de estudio en la Trocal Sierra en un afloramiento antrópico (UTM: 656760, 9562581) en el sector Chivatos, donde se evidencia el cuello volcánico que la contiene.

En la figura 46 se observa un afloramiento antrópico de andesita porfírica (Vel\_22) de 52.36m de largo y 19.34m de altura, ubicado en el sector Chivatos (UTM: 656760, 9562581), en campo presenta estructura masiva, coloración gris verdosa, grado de meteorización medio y es altamente competente al golpeo con el martillo geológico. Al analizar la muestra de mano (Vel\_22\_M1) se determina que el material tiene textura porfírica, tamaño de grano de fino (<1mm) a medio (1-5mm), Cristales euhedrales, el contenido porcentual aproximado de fenocristales es de 15% y matriz 85%. Los minerales primarios son plagioclasa, hornblenda y piroxeno, con olivino, biotita, cuarzo como minerales accesorios.

**Figura 46** Afloramiento de andesita en un cuello volcánico.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

### c) **Brecha Volcánica.**

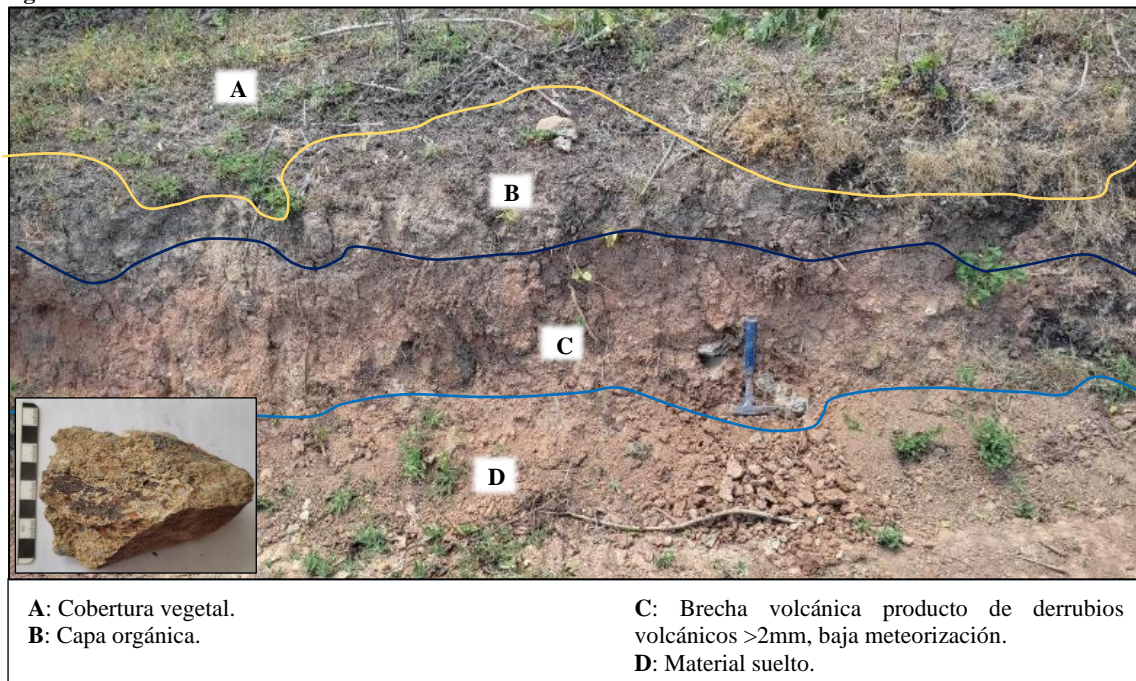
La brecha volcánica es producto de la actividad volcánica, constituida en más de un 50% por derrubios de rocas volcánicas >2mm, que han sido cementadas por la lava de las erupciones. Cabe aclarar que no se considera como roca sedimentaria porque no ha sufrido erosión, transporte y sedimentación.

La brecha volcánica se evidencia al W de la zona de estudio en afloramientos antrópicos observados en una vía privada de cuarto orden en el sector Cola (UTM: 658325, 9560826; 658487, 9560952).

En la figura 47 se observa un afloramiento antrópico de brecha volcánica (Co\_5) ubicado en un acceso privado de cuarto orden en el sector Cola (UTM: 658487, 9560952), tiene 1.07m de altura y largo indefinido. Se determina que tiene coloración gris verdosa, estructura masiva, humedad nula (seco), y es altamente competente. El material en muestra de mano (Co\_5\_M1) tiene textura brechosa, tamaño de gramo grueso (>5mm), forma de los clastos irregular,

porcentualmente tiene 50% en clastos y 50% de matriz, petrológicamente está formada por fragmentos andesíticos como líticos, con plagioclasas y piroxenos como minerales principales.

**Figura 47** Afloramiento de brecha volcánica.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

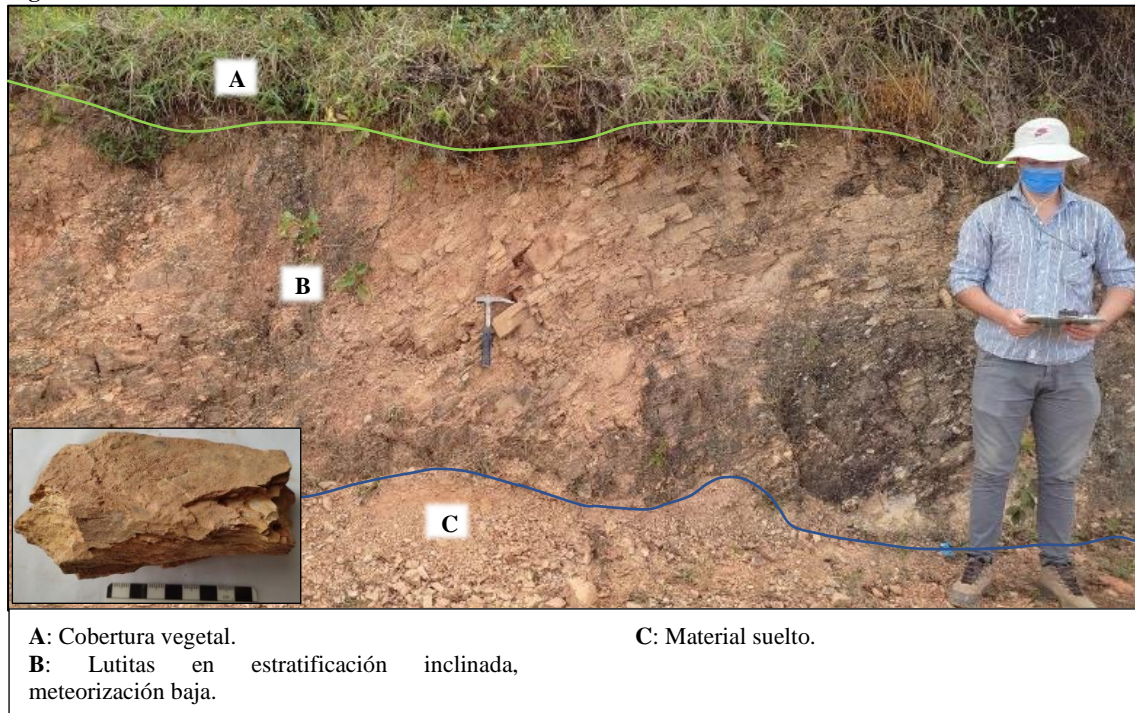
### 6.4.3 Unidad Zambí (KZ)

La Unidad Zambí (Cretácico) definida en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, está constituida litológicamente por lutita, metalutita y limolita. Se ubica en la zona E y NE del área de estudio (UTM: 662210, 9562298; 958892, 9564805) en el sector Tambara, Guayuro y Lobongo. Extensionalmente ocupa 5.11km<sup>2</sup> equivalentes al 19.85% del territorio estudiado.

#### a) *Lutita.*

La lutita se conoce como una roca formada por la consolidación de partículas muy finas, básicamente arcillas cuyos diámetros son menores a 0,063mm, la característica particular de esta roca es su estructura laminar, muy fina, disgregable. Estas rocas poseen una fractura relativamente plana con direcciones paralelas, a favor de la estratificación o laminación.

Las lutitas se pueden observar accediendo por una vía privada de cuarto orden en un desvío en la vía de tercer orden que conduce al sector Guayuro (UTM: 660360, 9563032; 661750, 9564735). Esta roca subyace concordantemente a las limolitas y está dispuesta en capas (estratos) plegadas.

**Figura 48** Afloramiento de lutita.

A: Cobertura vegetal.

B: Lutitas en estratificación inclinada, meteorización baja.

C: Material suelto.

**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 48 se tiene un afloramiento antrópico de lutitas (Gu\_10), de 9.23m de largo y 1.81m de altura, ubicado en el sector Guayuro en una vía privada de cuarto orden (UTM: 660416, 9563117) donde se observa la presencia de lutitas en estratificación inclinada, en general la roca tiene estructura física estratificada cuyos datos de yacencia son  $336^{\circ}/34^{\circ}\text{NE}$ , humedad baja, meteorización baja, medianamente competente. En muestra de mano (Gu\_10\_M1) la roca presenta textura clástica, tamaño de grano fino ( $<1\text{mm}$ ), forma de los clastos irregular y fisibilidad. Mineralógicamente está compuesta por minerales principales como caolinita, montmorillonita, illita, clorita, con cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas y hematita como minerales secundarios.

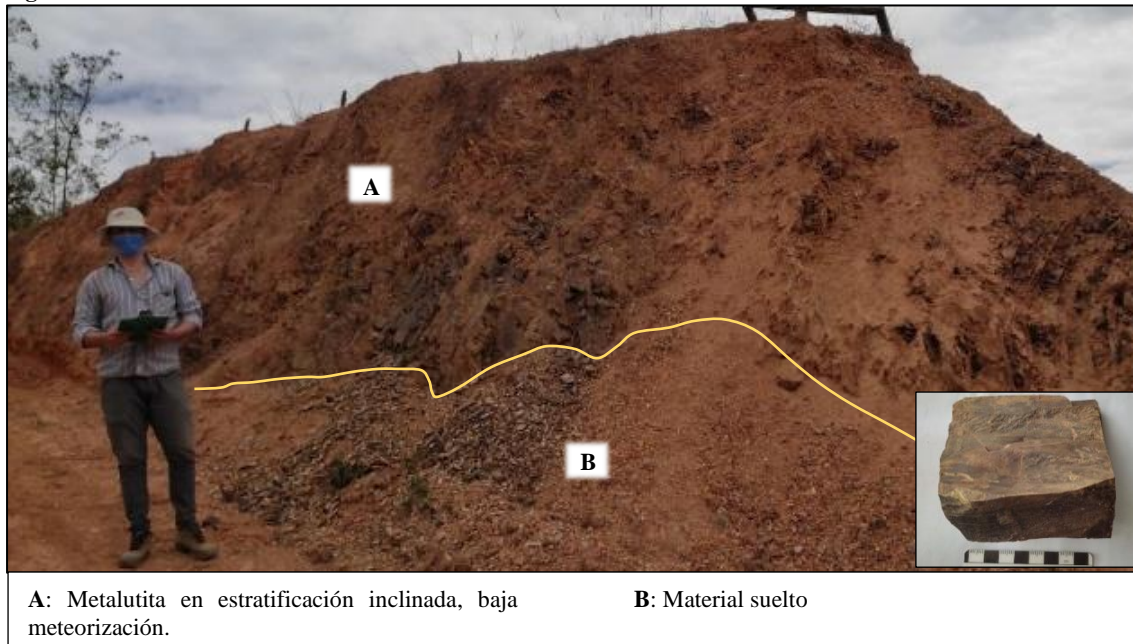
### **b) Metalutita.**

La metalutita es una roca proveniente del metamorfismo regional de lutitas, sin que ello implique la formación de nuevas estructuras masivas, es decir es una roca intermedia en proceso de convertirse de lutitas a pizarras o filitas.

Los afloramientos antrópicos de metalutita se ubican al N de la zona de estudio en una vía privada de cuarto orden en el sector Guayuro (UTM: 660360, 9563032; 661117, 9564153). En la Hoja Geológica de Zaruma escala 1:100 000 publicada por el (INIGEMM, 2013), se enuncia que la Unidad Zambí está conformada por lutitas negras litificadas, sin embargo, en campo se

evidencia que la coloración negra es únicamente de la superficie ya que al fragmentar una muestra su color verdadero es amarillo marrón.

**Figura 49** Afloramiento de metalutita



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 49 se tiene un afloramiento antrópico de metalutita (Gu\_18), de 20.18m de largo y 3.02m de altura, ubicado en la Loma Huacarumi en el sector Guayuro en una vía privada de cuarto orden (UTM: 661117, 9564153) donde se observa la presencia de metalutita en estratificación inclinada, cuyos datos de yacencia son  $112^{\circ}/64^{\circ}\text{SW}$ . Tiene grado de meteorización bajo y es medianamente competente. En muestra de mano (Gu\_18\_M1) la roca presenta textura lepidoblástica, tamaño de grano fino ( $<1\text{mm}$ ), forma de los clastos irregular y es fisible. Mineralógicamente está compuesta por minerales principales como caolinita, montmorillonita, illita, clorita, con cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas y hematita como minerales secundarios.

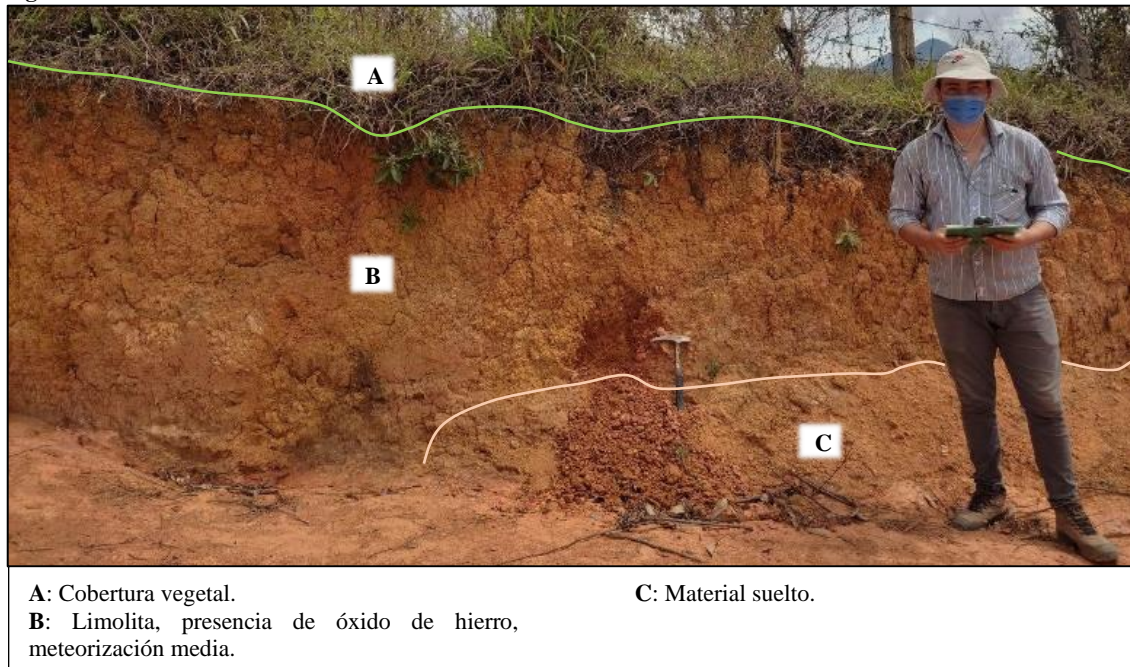
### c) *Limolita.*

Las limolitas de esta unidad principalmente están al NE suprayaciendo en concordancia a las lutitas y metalutitas de la zona, se visualizan claramente a lo largo de una vía privada de cuarto orden en el sector Guayuro (UTM: 660905, 9563651; 661750, 9564735).

En la figura 50 se observa un afloramiento antrópico de limolita (Gu\_15) ubicado en el sector Guayuro (UTM: 663358, 9558323), tiene 1.54m de altura y 24.11m de largo, en campo se evidencia que la roca presenta estructura física, humedad baja, meteorización media, no tiene fisibilidad y es incompetente al golpeo con el martillo geológico, posee coloración anaranjada,

textura clástica, tamaño de grano fino ( $<1\text{mm}$ ), forma de los clastos irregular, donde la matriz ocupa el 100% de la roca. Mineralógicamente está compuesta de arcilla, feldspatos, cuarzo, micas y óxidos de hierro, por su coloración.

Figura 50 Afloramiento de limolita



A: Cobertura vegetal.

B: Limolita, presencia de óxido de hierro, meteorización media.

C: Material suelto.

Nota: Elaborado por (Jiménez, 2022)

#### 6.4.4 Unidad Yunguilla (KY)

La Unidad Yunguilla (Cretácico) definida así en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, incluye en la zona de estudio litologías como limolitas, se ubica al SE y se extiende hacia N de la zona de estudio (UTM: 663999, 9558075; 663001, 9560164) en el sector Aguasillas, esta unidad ocupa  $1.39\text{ km}^2$  de superficie que equivale al 5.40% del total del área de estudio.

##### a) *Limolita.*

La limolita es una roca detrítica constituida, al menos en un 50% por elementos de tamaño comprendido entre 0.004 y 0.062mm (limos) consolidados, diagenizados, de textura bien sorteada, que no se rompe en capas.

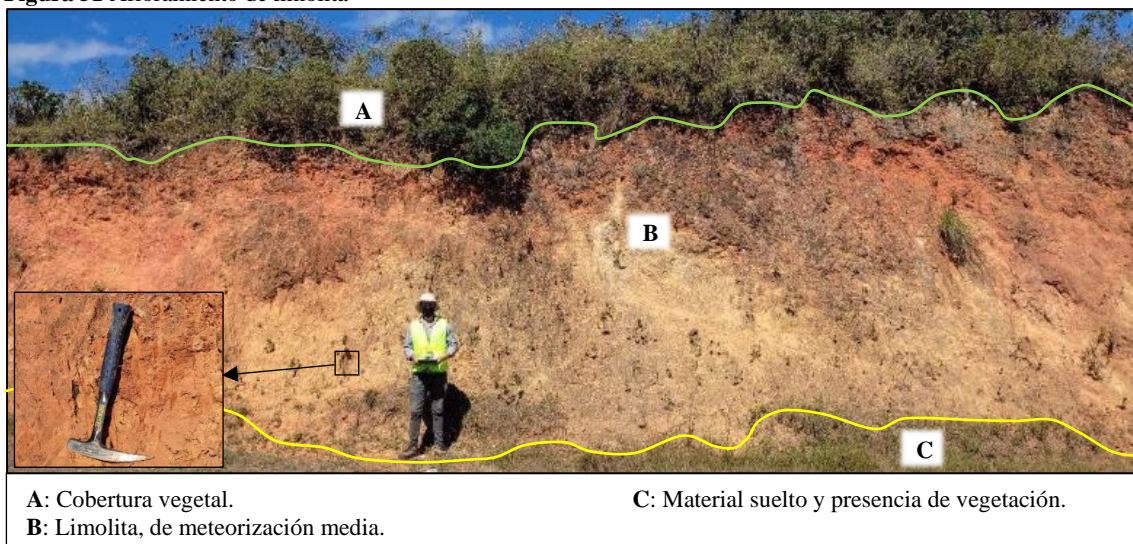
Esta roca se la observa en un tramo de la Troncal Sierra (UTM: 664001, 9558078; 663174, 9558459) y por una vía privada de cuarto orden en el sector Aguasillas (UTM: 663358, 9558323; 663319, 9558777).

En la figura 51 se observa un afloramiento antrópico de limolita (Vel\_1) ubicado en el sector Aguasillas (UTM: 663358, 9558323), tiene 3.04m de altura y largo indefinido, en campo se evidencia que la roca presenta estructura física, humedad baja, meteorización media, no tiene



fisibilidad y es incompetente al golpeo con el martillo geológico. Al analizar una muestra se establece que posee coloración anaranjada-rojiza, textura clástica, tamaño de grano fino entre arcillas y arenas finas, forma de los clastos irregular, donde la matriz ocupa el 100% de la roca. Mineralógicamente se compone de arcilla, feldespatos, cuarzo, micas y óxidos de hierro, por su coloración anaranjada-rojiza se estima un alto porcentaje de hematita.

**Figura 51** Afloramiento de limolita



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

#### 6.4.5 Unidad Celica (KCe).

La Unidad Celica (Cretácico) definida en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, se compone de secuencia volcanoclástica (tobas de cristales) y volcánica (andesitas). Se ubica en la zona central S y se extiende al N (UTM: 661465, 9559880; 657408, 9564800) desde el sector Aguasillas hasta Yacuma, Ocupa 8.41km<sup>2</sup> de la superficie total, lo que equivale al 32.70% del territorio estudiado, siendo la unidad más extensa que compone la zona de estudio

##### a) *Andesita.*

La andesita es una roca ígnea volcánica, de composición intermedia, formada por plagioclasa ácida (oligoclasa o andesina) acompañada por uno o más minerales ferromagnesianos (hornblenda, biotita, ortopiroxeno o clinopiroxeno). de textura afanítica o porfírica, generalmente de color verde, gris oscuro, gris intermedio, pudiendo variar por la alteración de los ferromagnesianos que contiene.

La andesita se extiende a lo largo de la Unidad Celica, se puede observar afloramientos en la Troncal Sierra (UTM: 661549, 9559683; 658261, 9560286) en la vía de tercer orden Tambara-Guayuro (UTM: 661176, 9561252; 660237, 9562744), en un sendero desde el sector Cola (UTM: 659059, 9561151; 659046, 9561745) y en un sendero desde el sector El Chorro

(UTM: 658667, 9563312; 6569023, 9563708). Las andesitas de esta unidad subyacen discordantemente a las tobas de cristales de la misma unidad, en general esta roca presenta estructura masiva, textura afanítica, contiene plagioclasa y clinopiroxeno, tiende a ser andesita basáltica.

**Figura 52** Afloramiento de andesita

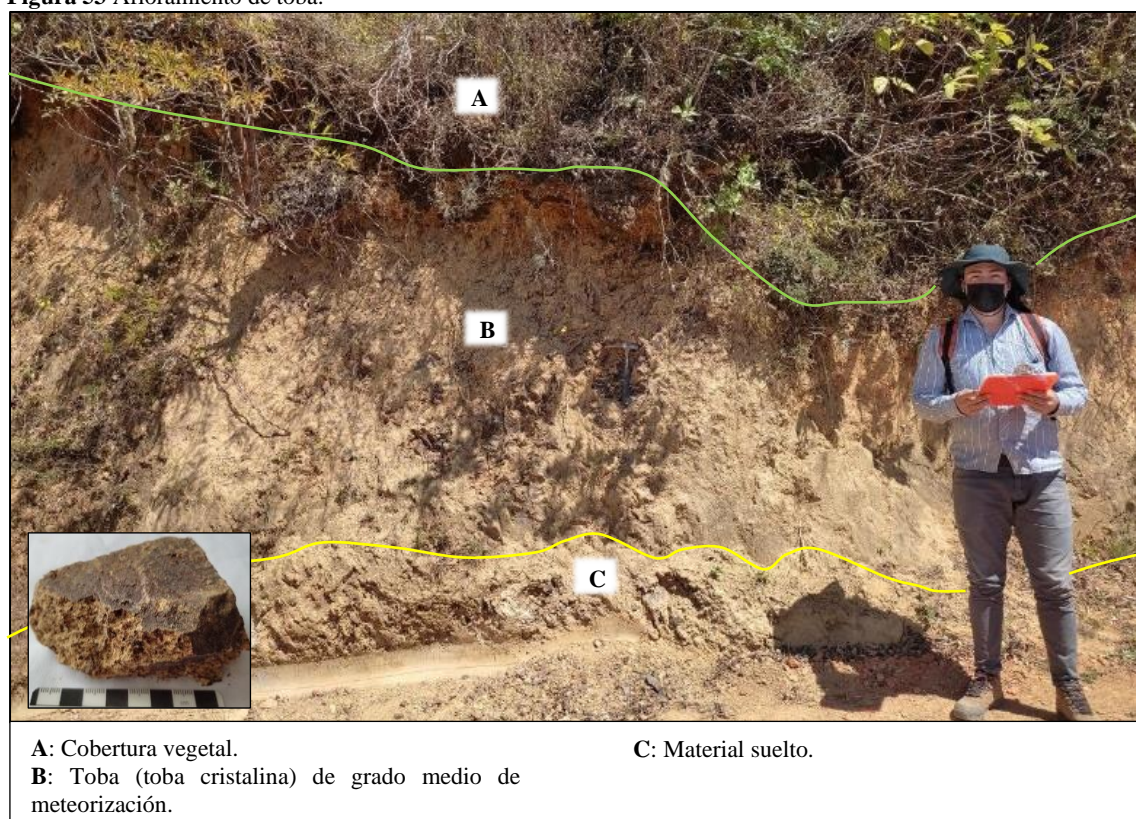


**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 52, se observa un afloramiento antrópico de andesita (Tam\_17) de 12.93m de largo y 6.1m de altura, se ubica en el sector Tambara (UTM: 660255, 9561947) en campo se determina que tiene una estructura masiva diaclasada, con grado bajo de meteorización, cubierto por material limo-arcilloso proveniente de la capa orgánica. La roca es muy competente al golpeo con el martillo geológico. Al analizar la muestra de mano (Tam\_17\_M1), se determina textura afanítica, tamaño de grano fino (<1mm), cristales euhedrales. Los minerales principales de esta roca son plagioclasa, hornblenda y piroxeno, como minerales secundarios se tiene olivino, biotita y cuarzo.

**b) Tobas.**

Las tobas están en contacto suprayacente discordante con las andesitas, especialmente ocupan la zona central de esta unidad litoestratigráfica, es decir la zona SW del área de estudio, se observa estos afloramientos antrópicos principalmente por vías privadas de tercer y cuarto orden, entre ellas en el sector Cola (UTM: 6585831, 9561065; 658855, 9561251) y en el sector el Chorro (UTM: 657706, 9562357; 658271, 9563202). En general se la clasifica como una toba de cristales (toba cristalina) siguiendo la clasificación de Schmid (1981) ya que mayoritariamente (>50%) la composición es cristalina con proporciones variables de líticos y vidrio.

**Figura 53** Afloramiento de toba.**A:** Cobertura vegetal.**B:** Toba (toba cristalina) de grado medio de meteorización.**C:** Material suelto.**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 53, se observa un afloramiento antrópico de toba (Co\_7) ubicado en el sector Cola (UTM: 658651, 9561271) con 5.3m de largo y 1.79m de altura. Esta roca tiene coloración naranja grisácea, estructura masiva, meteorización media, medianamente competente a esfuerzos de fractura. En la muestra de mano (Co\_7\_M1) se establece textura piroclástica, tamaño de grano medio (1-5mm), forma de los clastos irregular, 15% en fenocristales y 85% en matriz de tipo limo-arenosa, dentro de los minerales esenciales están piroxeno y plagioclasa, con cuarzo y obsidiana como minerales secundarios.

#### 6.4.6 Subvolcánico.

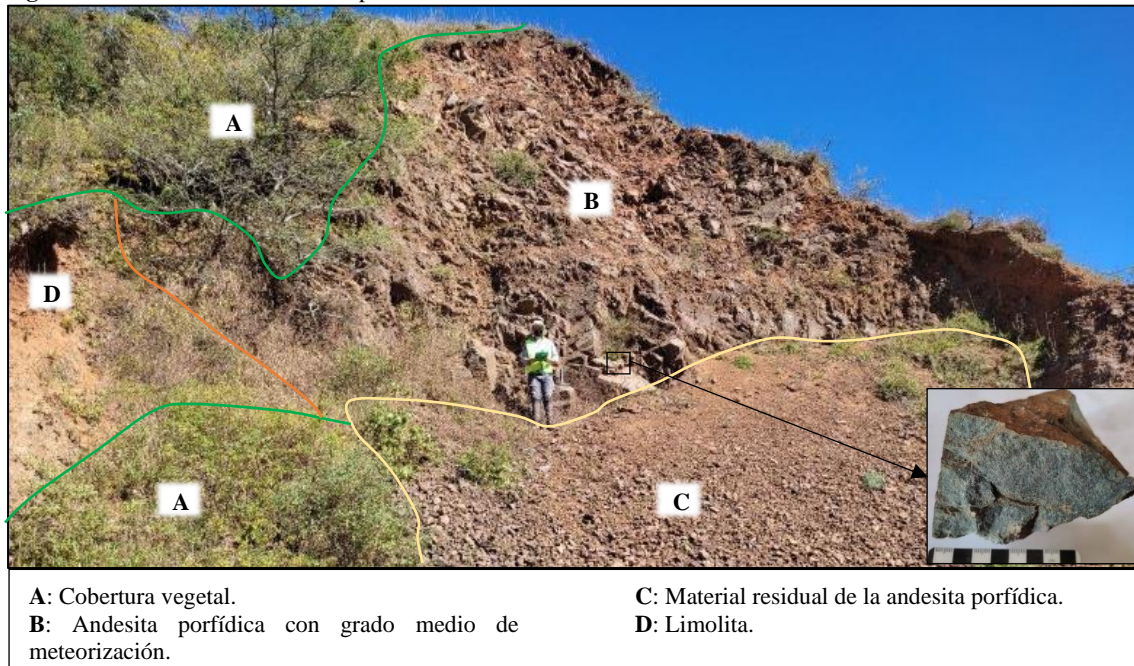
Las rocas filonianas, hipoabisales o subvolcánicas son rocas ígneas intrusivas originadas por la cristalización de magmas o fluidos hidrotermales cerca de la superficie (entre la superficie y el batolito). Estas rocas se forman por consolidación de un magma en fallas, zonas de fractura, planos sedimentarios o cualquier discontinuidad en la roca encajante. Los cuerpos hipoabisales tienen un volumen reducido y se ven marcados por una velocidad de enfriamiento "mediana", entre los lentos (intrusivos) y los rápidos (extrusivos).

Para las rocas filonianas es característico una composición mineralógica igual a la de sus semejantes efusivas, diferenciándose únicamente por la textura que es macrocristalina, porfídica o porfirítica. En ese sentido los cuerpos definidos corresponden a subvolcánicos andesíticos (andesita porfídica) denominada así por su alto contenido en plagioclasas como fenocristales.

Los subvolcánicos (Cenozoico) denominados así en la Hoja Geológica Zaruma, escala 1:100 000, comprenden intrusiones cenozoicas emplazadas al SW de la zona de estudio, en el sector Aguasillas, constituyen cuerpos de pequeñas dimensiones y corresponden a subvolcánicos andesíticos que están afectando a las unidades cretácicas adyacentes. Ocupan 0.39 km<sup>2</sup> de la superficie del territorio equivalente al 1.51% del total estudiado. Esta roca aflora en ciertos tramos de la Troncal Sierra (UTM: 663170, 9558462; 662806, 9558643; y 661836, 9559357; 661549, 9559683), de igual forma en una vía privada de cuarto orden en el sector Aguasillas (UTM: 663349, 9558523).

En la figura 54 se observa un afloramiento antrópico de andesita porfídica (Vel\_3) de 20.08m de largo y 11.43m de altura, ubicado en el sector Aguasillas (UTM: 663349, 9558523), presenta estructura masiva diaclasada, coloración gris oscura y es altamente competente al golpeo con el martillo geológico. Al analizar la muestra de mano (Vel\_3\_M1) se determina que el material tiene textura porfídica, tamaño de grano de fino (<1mm) a medio (1-5mm), cristales euhedrales, el contenido porcentual aproximado de fenocristales es de 20% y matriz 80%. Los minerales primarios son plagioclasa, hornblenda y piroxeno, con olivino, biotita, cuarzo como minerales accesorios. Cabe señalar que en esta roca las plagioclasas son cálcicas.

**Figura 54** Afloramiento de andesita porfídica.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

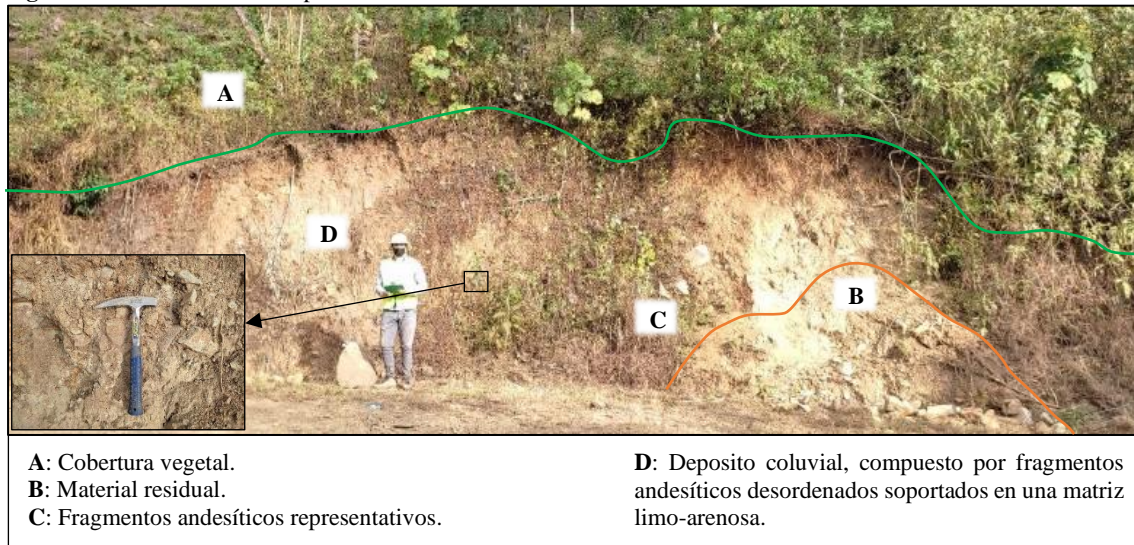
#### 6.4.7 Coluvial (Qc).

Los depósitos coluviales son producto de la alteración y desprendimiento in situ de los macizos rocosos a lo largo de las laderas, bastante comunes en regiones montañosas con pendientes pronunciadas como es el caso de la zona de estudio, la característica de estos depósitos es el desplazamiento vertical importante en relación al horizontal, correspondiendo a acumulaciones locales sin mucho transporte. Se constituyen de gravas angulosas: guijarros (4-64mm), cantos (64-256mm) y bloques(>256mm); transportadas por gravedad y agua, bajo la forma de derrubios.

El depósito Coluvial (Cuaternario) se ubica en el centro N de la zona de estudio en el sector Guayuro (UTM: 659240, 9562311; 659540, 9563817). Ocupa 1.40km<sup>2</sup> de superficie equivalente al 5.42% del total del territorio. Los afloramientos de este depósito se pueden observar ingresando por la vía de tercer orden que conduce al sector Guayuro.

En la figura 55 se tiene un afloramiento antrópico del depósito coluvial (Tam\_24) de 18.58m de largo y 3.09m de altura, ubicado en el sector Guayuro (UTM: 659647, 9562462), en él se nota que está formado por acumulaciones constituidas por guijarros y cantos andesíticos subredondeados de diverso tamaño (6-68cm), distribuidos en forma caótica, soportados en una matriz limo-arenosa, de coloración amarillo-pardo, resultado de la descomposición y fragmentación de material que proviene de la parte superior al SW del depósito, desde la Unidad Celica.

**Figura 55** Afloramiento del depósito coluvial.



**A:** Cobertura vegetal.

**B:** Material residual.

**C:** Fragmentos andesíticos representativos.

**D:** Deposito coluvial, compuesto por fragmentos andesíticos desordenados soportados en una matriz limo-arenosa.

**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

## 6.5 Estructuras.

En la hoja geológica de Zaruma, en el área que comprende la zona Sur de la parroquia La Tingue, se reconocen algunas fallas inferidas y estructuras planares como diaclasas inclinadas, diaclasas verticales y estratificaciones inclinadas. Sin embargo, en base a la fotointerpretación siguiendo los lineamientos del Manual de fotogeología de (Lopez Vergara, 1988) y a las salidas de campo se definió nuevas estructuras como pliegues, fallas inferidas y observadas.

### 6.5.1 Pliegues.

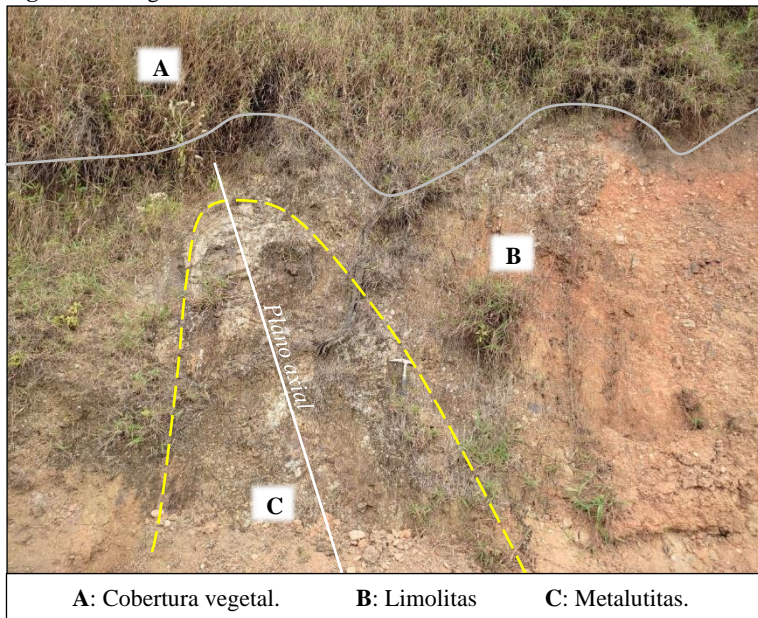
Los pliegues son una de las estructuras más comunes que afectan a los materiales geológicos, formados como consecuencia de la deformación plástica, producto de la acción de esfuerzos tectónicos de compresión que ocurren en la corteza terrestre. Por lo tanto, los pliegues se forman en materiales que responden a un comportamiento plástico o deformable.

En la figura 56 se observa un pliegue anticlinal inclinado (ángulo de inclinación del plano axial diferente de  $0^\circ$  y  $90^\circ$ ) el dato estructural medido en campo es de  $115^\circ/42^\circ\text{SW}$ , El afloramiento antrópico (Gu\_21) donde se observa este pliegue está ubicado en el sector Guayuro (UTM: 661321, 9564463), geológicamente en la Unidad Zambí al N, el material plegado corresponde en la parte superior de los flancos a limolitas y metalutitas en la parte inferior.

En la figura 57 se observa el flanco de un pliegue anticlinal y parte de la charnela, debido a la erosión el pliegue ha perdido parte de las charnelas y la cresta, sin embargo, al analizar la geoforma que lo contiene se puede inferir el plano axial a lo largo de la colina, además de la continuidad del mismo en el posterior afloramiento (Gu\_13) con el flanco contrario. El

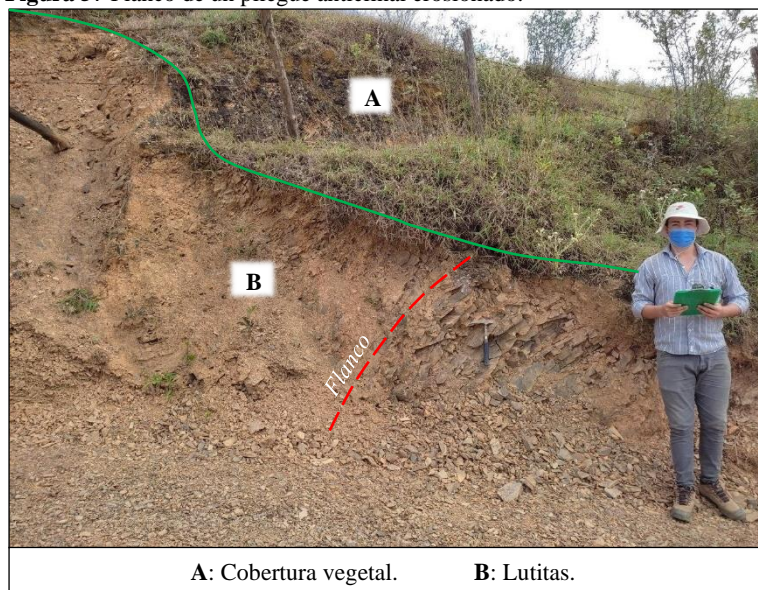
afloramiento antrópico (Gu\_12) que contiene la estructura se ubica en el sector Guayuro (UTM: 660600, 9563272), geológicamente en la Unidad Zambal al W, el dato estructural de este pliegue es  $145^{\circ}/34^{\circ}\text{SW}$ , en cuanto a los materiales plegados corresponden a lutitas.

**Figura 56** Pliegue anticlinal inclinado



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

**Figura 57** Flanco de un pliegue anticlinal erosionado.

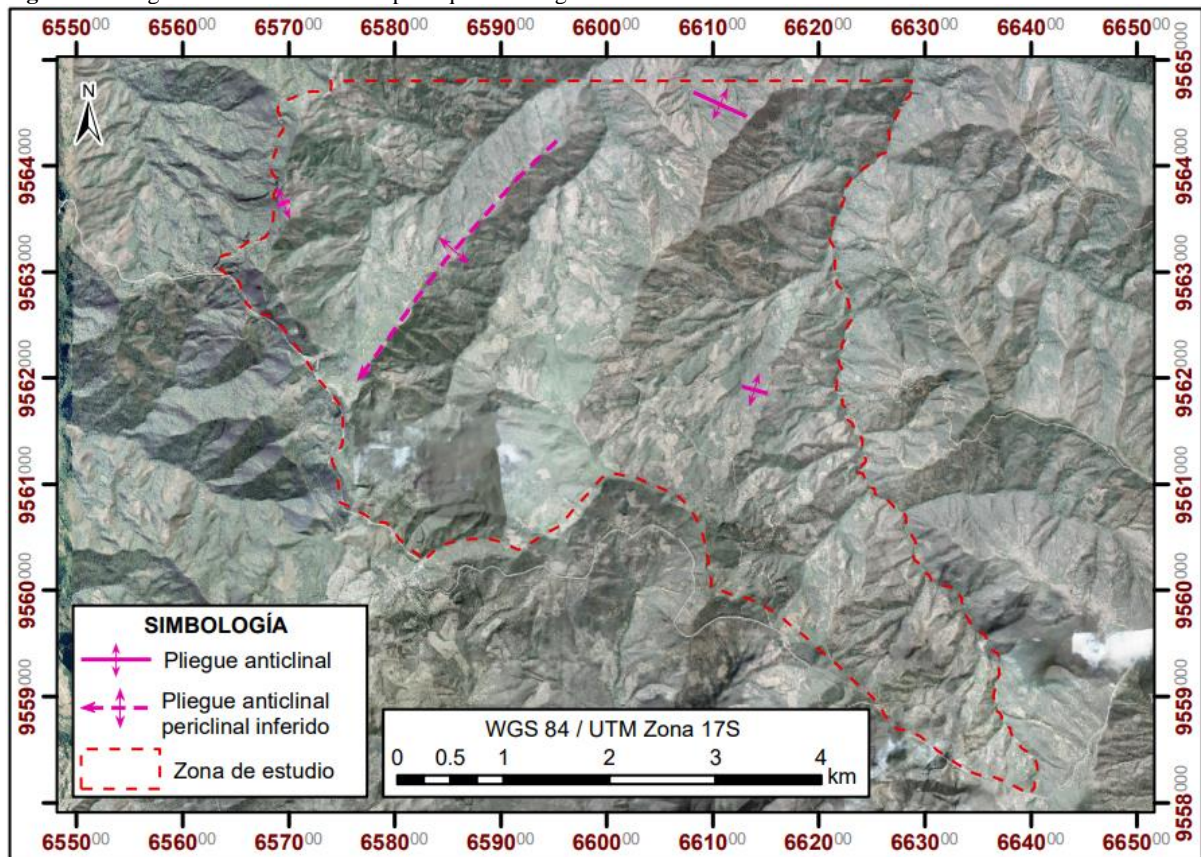


**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

Mediante la fotointerpretación (*ver Anexo 9*) se logra identificar un pliegue anticlinal periclinal (figura 58) ubicado al NW de la zona de estudio, se interpreta como tal principalmente por la charnela sin erosionar, que ha dado lugar a una loma alargada redondeada. La estructura presenta un plunge (ángulo que forma el eje de pliegue con la horizontal) de bajo ángulo con dirección SW, por su forma morfológica se estima que es

asimétrico y que su flanco largo (menor ángulo de buzamiento del flanco) tiene dirección hacia el NW. Esta estructura está formada por tobas de las Unidades Catacocha y Celica.

**Figura 58** Pliegues de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



Nota: Elaborado por (Jiménez, 2022)

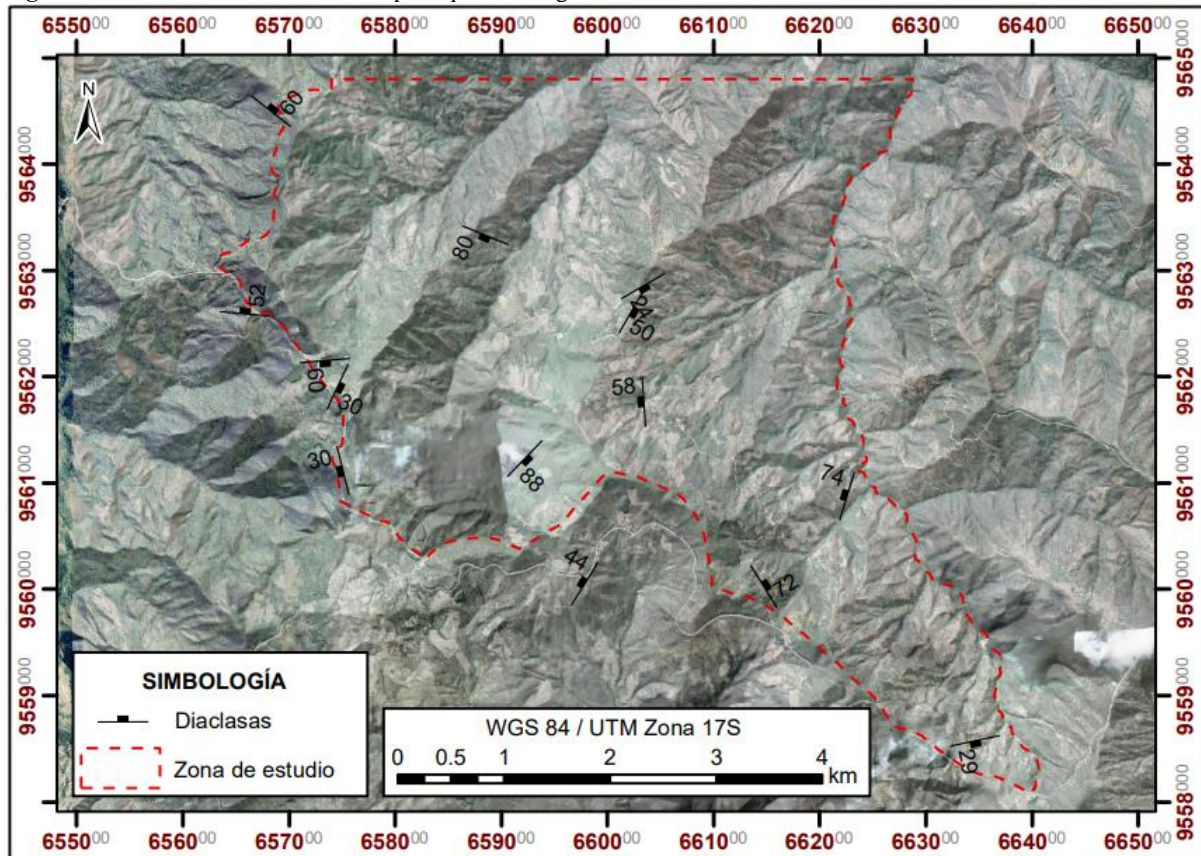
### 6.5.2 Diaclasas.

Una diaclasa es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, excepto una mínima separación transversal, principalmente se desarrollan en miembros competentes de una serie, más que en incompetentes.

En general, las diaclasas de la zona de estudio medidas en campo (*ver Anexo 6*) corresponden a diaclasas tectónicas, originadas como resultado directo del plegamiento o empuje en las rocas. Las diaclasas inclinadas son el tipo de estructura que se observa en todos los tipos de roca que componen la geología del área estudiada, dispersándose de S a N, estas estructuras buzando preferentemente al SE, sin embargo, otras buzando al NE, SW y en menor proporción al NW como se observa en la figura 59.



Figura 59 Diaclasa de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



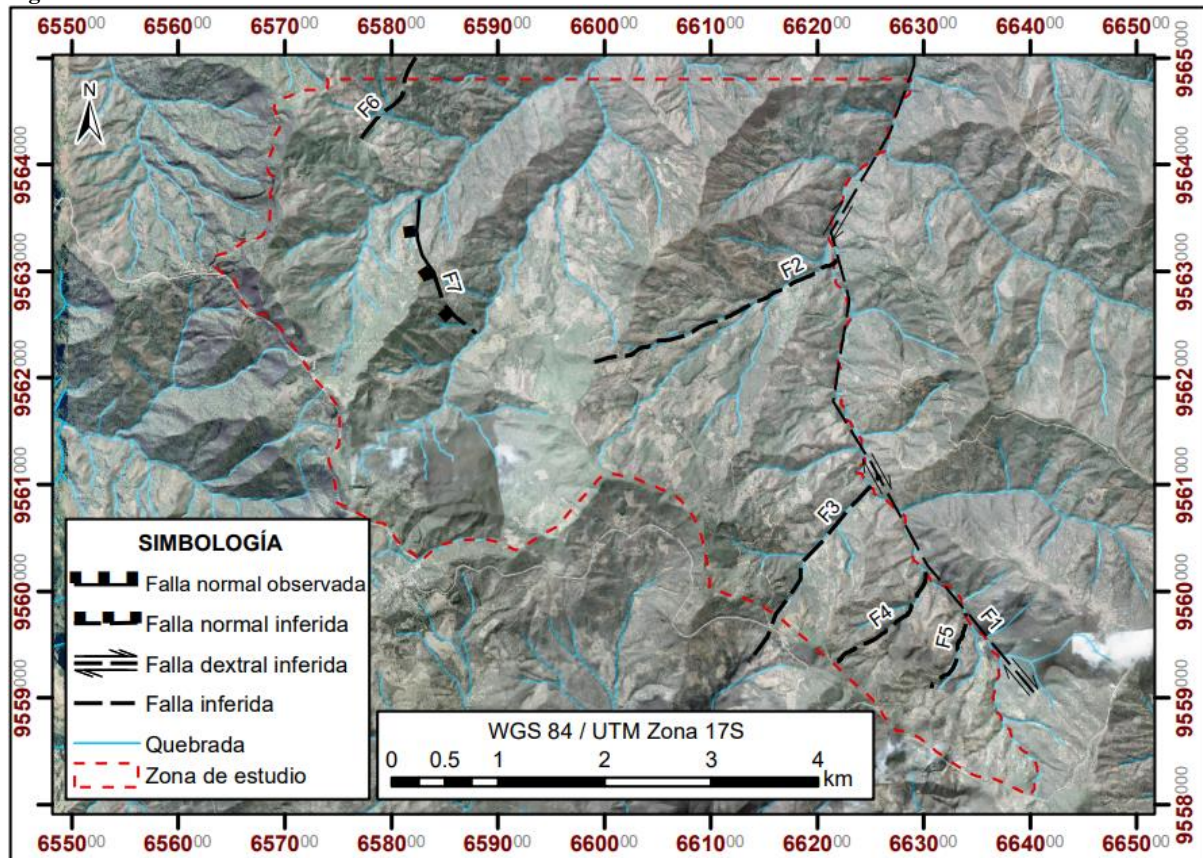
Nota: Elaborado por (Jiménez, 2022)

### 6.5.3 Fallas.

Mediante el análisis de las ortofotos que comprende la zona de estudio (*ver Anexo 9*) se pudo determinar algunas fallas inferidas, en base a características, tales como: alineamientos estructurales, facetas triangulares, escarpes de falla, red de drenaje, cambios de tono, desplazamientos de bloque, entre otras, y a las respectivas salidas de campo corroborativas.

La falla 1 (F1) se define como falla dextral inferida, atraviesa toda el área de estudio en sentido S-N, la principal característica de la misma es que en la parte N se observa facetas triangulares en ambos sentidos al analizar la ortofoto, se la cataloga como dextral por la morfología y alineaciones que presenta en ambos lados evidenciando el movimiento de los bloques. Esta estructura se proyecta a lo largo de la quebrada Aguasillas y posteriormente la Pillares.

La falla 2 (F2) y la falla 3 (F3) son fallas inferidas que presentan una alineación bastante rectilínea en sentido SW-NE que esta descubierta por la vegetación, donde la red hídrica se acomoda a las estructuras siguiendo las zonas de menor resistencia, además al SE de su traza respectiva presentan más elevación topográfica que su traza contraria. Adicional a ello se denota una coloración más oscura indicativo de su escarpe.

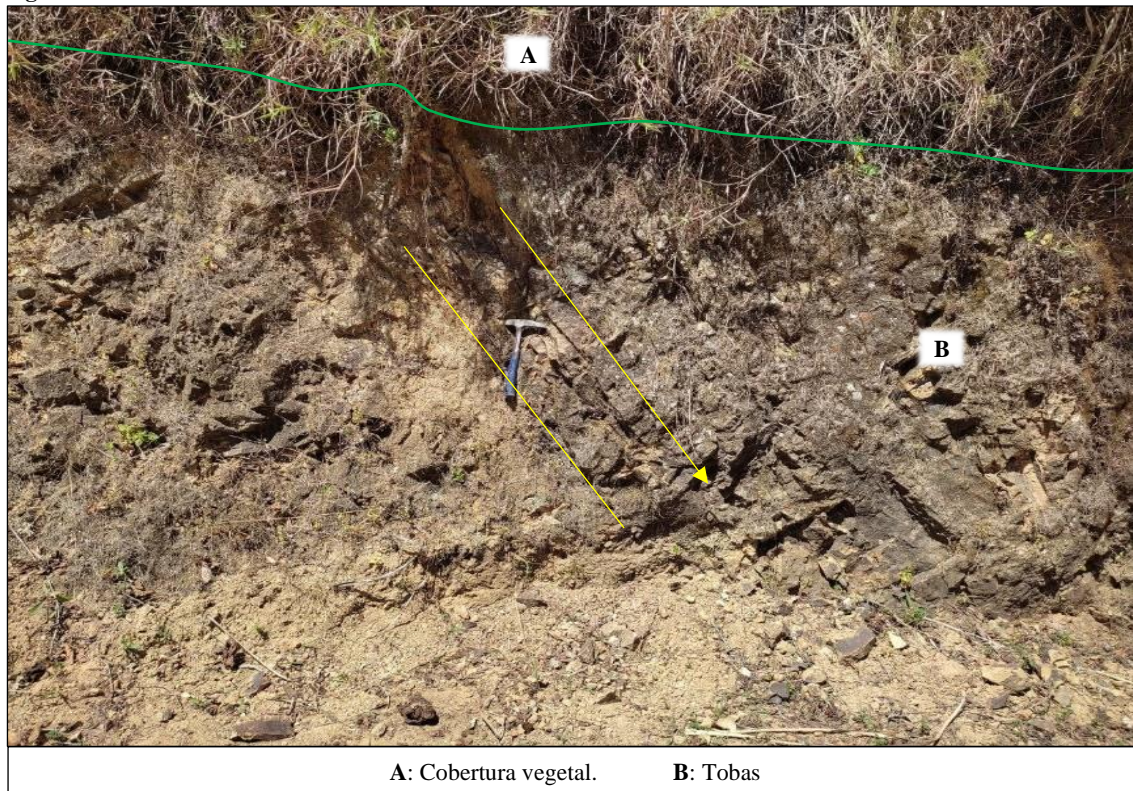
**Figura 60** Fallas de la zona de estudio.

Nota: Elaborado por (Jiménez, 2022)

La falla 4 (F4) y la falla 5 (F5) se evidencian por su forma rectilínea subparabólica cuyo sentido es SW-NE, además, en ambos casos en el lado derecho de la traza se denota una coloración oscura, característica que se interpreta como escarpe.

La falla 6 (F6) tiene una connotación rectilínea en sentido SW-NE que se prolonga al N de la zona de estudio, en ambos lados de la traza, presenta diferencia topográfica en relación a la altura adyacente, además, en el límite con la zona Norte se tiene como evidencia una ensilladura de falla que normalmente es producto de la presión y erosión de este tipo de estructuras.

La falla 7 (figura 61) se observó en campo en un afloramiento antrópico (Ch\_6) ubicado en el sector El Chorro (UTM: 658271, 9563202) en una vía privada de cuarto orden, corresponde a una falla normal superficial producto de fuerzas de distensión en la parte superior del pliegue anticlinal-periclinal, contrarias a las fuerzas comprensivas del interior. Estructuralmente presenta  $165^{\circ}/62^{\circ}\text{SW}$ , debido a la exposición mínima no se pudo evaluar a mayor profundidad su dinámica, por otro lado, el material fallado corresponde a tobas de la Unidad Celica. Siguiendo el alineamiento, la tonalidad más oscura y la diferencia topográfica que conlleva la estructura se logra inferir su extensión total, pudiendo así prolongarla hacia el SE, quedando definido de SE-NW su sentido.

**Figura 61** Falla normal en el sector El Chorro

Nota: Elaborado por (Jiménez, 2022)

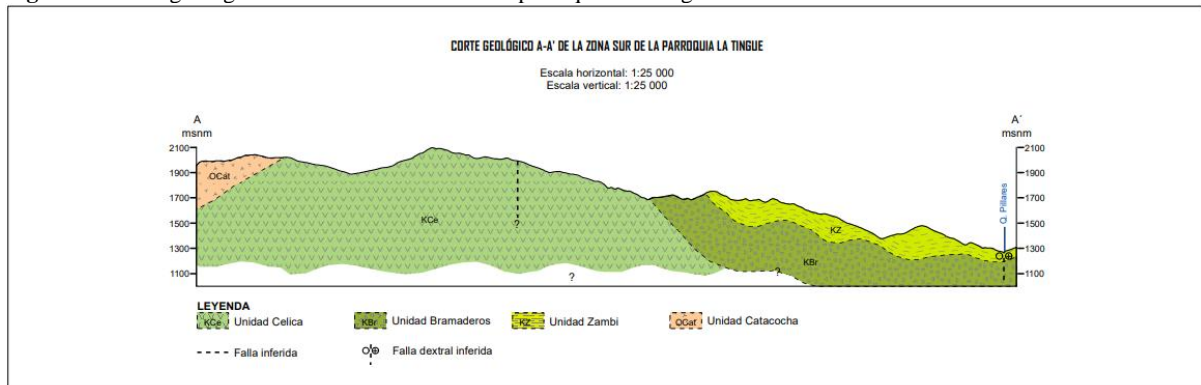
## 6.6 Cortes geológicos locales.

En base al mapa geológico - estructural a escala 1: 10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue (*ver Anexo 10*) definido y elaborado en este estudio, se realizó dos cortes geológicos que contienen las principales unidades litológicas y estructuras existentes en la zona de estudio: el primero A-A' con dirección SW-NE, y el segundo B-B' con dirección NW-SE, secciones que permiten una mejor comprensión tridimensional de la disposición litológica y estructural de las unidades definidas, su constitución, y relaciones geométricas entre ellas. Cabe recalcar que para la elaboración de los cortes geológicos se siguió la metodología propuesta por (Martínez, 1981) en su libro titulado Mapas geológicos (Explicación e interpretación), en cuanto a las profundidades y espesores de las unidades litológicas se tomó como referencia las indicadas por (Dávila B. , 2017) en su trabajo de titulación denominado “Estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento. Tramo río Puyango- Loja”.

En la figura 62 se observa el corte geológico A-A' de dirección SW-NE (*ver Anexo 11*), en el cual, en el flanco SW (A) suprayace discordantemente la Unidad Catacocha (Oligoceno) sobre la Unidad Celica, la Unidad Catacocha está conformada por andesita, brecha volcánica y toba masiva. Siguiendo el análisis, a la derecha está la Unidad Celica (Albiano) constituida

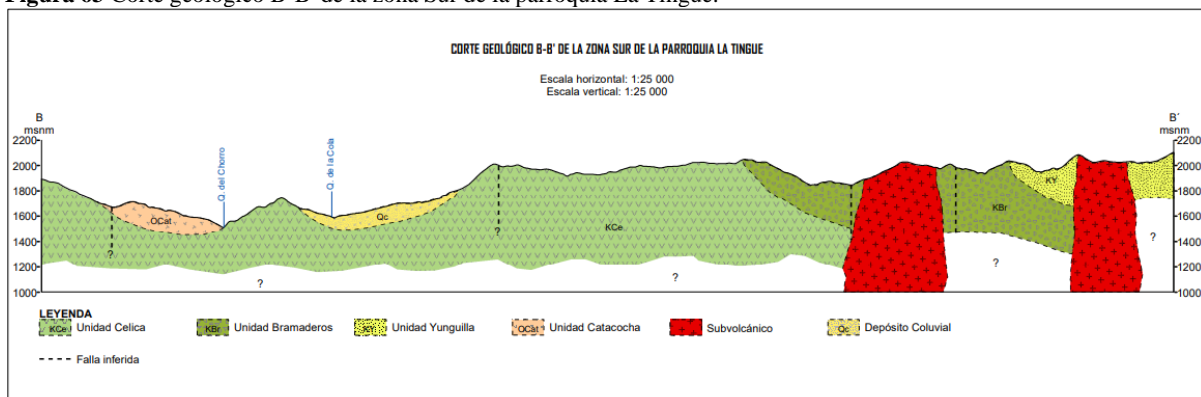
por andesitas (lavas andesíticas) y tobas, se encuentra controlada estructuralmente por una falla inferida de tectónica indeterminada, esta unidad constituye el basamento de la zona de estudio, y se encuentra en contacto concordante con la Unidad Bramaderos (Turoniano-Cenomanian) conformada por aglomerados volcánicos y toba volcánica, sobre la Unidad Bramaderos se encuentra la Unidad Zambi (Santoniano-Coniciano) en contacto tectónico, se compone de lutita, metalutita y limolita, esta unidad litológica se encuentra plegada debido a los esfuerzos tectónicos a los que ha sido sometida, por ende se interpreta que las demás unidades litológicas de la zona de estudio también soportaron los esfuerzos de deformación. Finalmente, en el margen derecho (A') se tiene una falla dextral inferida que afecta directamente a la Unidad Zambi y demás materiales subyacentes.

**Figura 62** Corte geológico A-A' de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

**Figura 63** Corte geológico B-B' de la zona Sur de la parroquia La Tingue.



**Nota:** Elaborado por (Jiménez, 2022)

En la figura 63 se tiene el corte geológico B-B' de dirección NW-SE (ver Anexo II). En el flanco izquierdo (B) ubicado al NW en el mapa geológico aflora la Unidad Celica (albiano) que constituye el basamento de la sección, se encuentra controlada por fallas de tectónica indeterminada, a su vez dicha unidad litológica está en contacto discordante con la Unidad Catacocha (Oligoceno) y con el Depósito Coluvial (cuaternario), el contacto entre la Unidad Celica y la Unidad Bramaderos (Turoniano Cenomanian) es concordante, y el contacto entre



la unidad Bramaderos y la Unidad Yunguilla es tectónico, esta última conformada localmente por limolitas. Las unidades litológicas Celica, Bramaderos y Yunguilla están intruidas por cuerpos Subvolcánicos (cenozoico) de composición andesítica, en conjunto estas últimas unidades también están controladas por fallas de tectónica indeterminada producto de esfuerzos de deformación.

La historia geológica del área estudio, inicia con la formación de la Unidad Celica en el Albiano, posteriormente se deposita la Unidad Bramaderos en la edad Turoniano-Cenomanian, seguida de la conformación de la Unidad Catacocha en la época del Oligoceno, todas estas unidades litológicas formadas por eventos volcánicos. Más adelante en la edad del Santoniano-Coniciano se deposita de la Unidad Zambí, posteriormente en el Maastrichtiano se forma la Unidad Yunguilla, luego en la era Cenozoica se da la solidificación de los cuerpos Subvolcánicos, y ya en el periodo Cuaternario ocurre el depósito Coluvial, finalmente se producen los esfuerzos tectónicos que causan los plegamientos y fallamientos de las unidades litológicas descritas.

## 7 Discusión de resultados.

El área de estudio se ubica en la parroquia La Tingue, al Sur del territorio ecuatoriano, al Norte de la provincia de Loja y al Este del cantón Olmedo al que pertenece, esta parroquia tiene una superficie de 51,49km<sup>2</sup>, de los cuales 25.74km<sup>2</sup> conforman la zona de estudio (zona Sur de la parroquia La Tingue).

Con respecto al componente biofísico, hidrográficamente la zona de estudio obedece a un patrón de drenaje dendrítico y subparalelo, que cuenta con tres fuentes importantes: quebrada del Chorro, quebrada Pillares y quebrada Aguasillas. El clima Subhúmedo con pequeño déficit de agua, mesotérmico templado frío cubre la zona de estudio, en cuanto a la precipitación hay que señalar que se tiene dos estaciones bien definidas: lluviosa (diciembre a mayo) y seca (junio a diciembre), con lo cual, los totales pluviométricos oscilan entre 700 y 1500mm/año, con valores anuales de 500mm/año. La pendiente del terreno es predominantemente muy inclinada (15°-35°) clase que representa un 75.82% del territorio, luego están las superficies empinadas (35°-55°) con un 12.62% representativo, el porcentaje restante se distribuye en fuertemente inclinado (8.71%) y ligeramente inclinado (2.85%). Las unidades morfológicas que predominan en el territorio son: relieve montañoso (52.30%), relieve colinado muy alto (20.69%), coluvión antiguo (13.38%), y relieve colinado alto (8.50%). Los ecosistemas: Bosque semidecíduo montano bajo del Catamayo-Alamor, y Bosque semidecíduo piemontano del Catamayo-Alamor conforman la zona de estudio, el primero en mayor proporción.

Al analizar el marco geológico regional, se consideran algunos trabajos geológicos anteriores elaborados a menores escalas de la propuesta, obteniendo así la información base. Se habla en general de unidades geológicas de composición sedimentaria, volcánica y volcanoclástica con algunos componentes estructurales de importancia.

Para la elaboración del mapa geológico - estructural a escala 1:10 000, se partió con la cartografía base de la zona de estudio, complementada con la fotointerpretación de estructuras y unidades litológicas, información preliminar que luego se corroboró y caracterizó en campo con el levantamiento de todos los afloramientos aplicable a la escala de trabajo, adicional a ello, la toma de muestras para la descripción macroscópica de las mismas, y así finalmente elaborar el mapa geológico - estructural y sus perfiles geológicos que sumados muestran una información completa.

La zona Sur de la parroquia La Tingue está constituida por siete unidades litoestratigráficas, como son: Unidad Bramaderos, Unidad Catacocha, Unidad Zambi, Unidad Yunguilla, Unidad

Celica, Depósito Coluvial y Subvolcánico. Se consideró agrupar las litologías en unidades litológicas para una mejor comprensión, definiendo las propiedades litológicas observables y distintivas o de una combinación de propiedades litológicas y relaciones cronoestratigráficas de las rocas analizadas.

El basamento del área de estudio está dado por la Unidad Celica del albiano que aflora en la zona central S y se extiende al N, desde el sector Aguasillas hasta Yacuma, ocupa 8.41km<sup>2</sup> superficialmente, convirtiéndose en la más extensa del área estudiada, compuesta por andesitas (asociadas a lavas andesíticas) y toba (toba cristalina), esta unidad litológica subyace en contacto concordante a la Unidad Bramaderos del Turoniano-Cenomanian, la cual aflora al SE, centro N y en una pequeña porción al W de la zona de estudio, en los sectores Aguasillas, Guayuro, Tambara Bajo y Chivatos, ocupando 4.83km<sup>2</sup> del área superficial total, formada por toba volcánica (toba cristalina) y aglomerado volcánico. Secuencialmente esta la Unidad Catacocha del Oligoceno, se emplaza en la zona W y NW del área de estudio, desde el sector Cola hasta Yacuma, representa una superficie de 4.21km<sup>2</sup> del total, conformada por: toba masiva (toba cristalina), andesita (asociada a cuellos volcánicos) y brecha volcánica, esta unidad litológica suprayace en contacto discordante a la Unidad Bramaderos y la Unidad Celica. La Unidad Zambí del Santoniano-Coniciano, aflora al E y NE del área de estudio, en los sectores: Tambara, Guayuro y Lobongo, extensionalmente ocupa 5.11km<sup>2</sup>, se compone de lutita, metalutita y limolita, esta unidad litológica suprayace a las unidades Bramaderos y Celica, y su contacto es tectónico. La Unidad Yunguilla del Maastrichtiano aflora al SE y se extiende hacia N de la zona de estudio en los sectores Aguasillas y Cola, ocupa 1.39km<sup>2</sup> de la superficie total, específicamente en la zona de estudio está conformada localmente por limolitas, esta unidad litológica suprayace a la Unidad Bramaderos y su contacto es tectónico. Uno de los eventos más recientes es la solidificación de los cuerpos Subvolcánicos en el Cenozoico, tienen composición andesítica, se ubican al SW de la zona de estudio en el sector Aguasillas, ocupando 0.39km<sup>2</sup> de la superficie, el contacto de estos cuerpos con las unidades cretácicas adyacentes se infiere que es tectónico, ya que en campo no se pudo evidenciar la estructura, sin embargo, al analizar el origen es el más apegado. Finalmente, ya en el Cuaternario se produce el Depósito Coluvial ubicado en el centro N de la zona de estudio en el sector Guayuro, ocupa 1.39km<sup>2</sup> de superficie, se compone de guijarros y cantos subredondeados de composición andesítica soportados en una matriz limo-arenosa.

Estructuralmente el área de estudio presenta pliegues, diaclasas y fallas tanto observadas como inferidas, producto de la deformación causada por los esfuerzos tectónicos que ocurren

en la corteza terrestre. Los pliegues son más evidentes en la Unidad Zambí por su litología estratificada, sin embargo, existe un pliegue anticlinal periclinal con un plunge hacia el SW, que afecta a las Unidades Catacocha y Celica. Las diaclasas medidas en campo son de tipo inclinadas, se presentan en familias con distintas direcciones y buzamientos producto de los mismos esfuerzos tectónicos en todas unidades litológicas definidas. La zona de estudio geológicamente se encuentra controlada por varias fallas geológicas, tanto inferidas como observadas, dentro de las cuales resalta una falla transcurrente dextral inferida que pasa por el margen derecho de la zona de estudio en sentido S-N, esta falla principal esta acompañada de otras fallas inferidas, desarrolladas como producto de esfuerzos tectónicos, este tipo de fallas tienen lugar a lo largo y ancho del área estudiada. Así también, al NW se evidencia una falla normal observada con dirección NW-SE, emplazada sobre las tobas de la Unidad Celica.

Los cortes geológicos de la zona Sur de la parroquia La Tingue (A-A' y B-B' con dirección SW-NE y NW-SE respectivamente) son interpretativos y se construyen a partir del mapa geológico - estructural elaborado en este estudio. Estos gráficos permiten representar como están dispuestas las unidades litológicas en profundidad y las estructuras que las controlan. Sumando el mapa geológico y los cortes geológicos se tiene una información tridimensional más completa, información que sustenta los datos expuestos en esta investigación, determinando de tal forma la sucesión cronoestratigráfica de los hechos que formaron la disposición litológica en la zona de estudio.



## 8 Conclusiones.

- Se concluye en base a la fotointerpretación, mapeo de todos los afloramientos y descripción macroscópica de muestras de mano que La Tingue Sur está constituida por siete unidades litológicas: Unidad Bramaderos, Unidad Catacocha, Unidad Zambí, Unidad Yunguilla, Unidad Celica, Subvolcánico y Depósito Coluvial.
- Se define que la Unidad Celica (Albiano) ocupa  $8.41\text{km}^2$  superficialmente, convirtiéndose en la más extensa del área estudiada, está compuesta por andesitas (asociadas a lavas andesíticas) y toba (toba cristalina). La Unidad Bramaderos (turoniano-cenomaniano) ocupa  $4.83\text{km}^2$  del total, está formada por toba volcánica (toba cristalina) y aglomerado volcánico. La Unidad Catacocha (oligoceno) representa una superficie de  $4.21\text{km}^2$  del total, está conformada por: toba masiva (toba cristalina), andesita (asociada a cuellos volcánicos) y brecha volcánica. La Unidad Zambí (Santoniano-Coniciano), ocupa  $5.11\text{km}^2$ , está compuesta de lutita, metalutita y limolita. La Unidad Yunguilla (maastrichtiano) ocupa  $1.39\text{km}^2$  de la superficie total, está conformada localmente por limolitas. El Subvolcánico (cenozoico), tiene composición andesítica, ocupando  $0.39\text{km}^2$  de la superficie, y finalmente el Depósito Coluvial ocupa  $1.40\text{km}^2$  de superficie y se compone de fragmentos andesíticos soportados en una matriz limo-arenosa.
- Se deduce que el contacto entre la Unidad Celica y Bramaderos es concordante, caso contrario el contacto de la Unidad Catacocha con las Unidades Celica y Bramaderos es discordante, igualmente el contacto entre la Unidad Celica con el Depósito Coluvial. Por otro lado, el contacto entre la Unidad Zambí con las Unidades Celica y Bramaderos es tectónico, de igual forma el contacto entre la Unidad Yunguilla y Bramaderos. Finalmente, el contacto entre el cuerpo Subvolcánico con las unidades litológicas adyacentes (Unidad Bramaderos y Unidad Yunguilla) se interpreta como tectónico.
- Se determina que en la zona de estudio se encuentran una serie de estructuras secundarias locales, como: pliegues, diaclasas y fallas, determinadas mediante la fotointerpretación y la corroboración en campo. Los pliegues se observan y diferencian de mejor manera en la Unidad Zambí por ser una unidad de litología sedimentaria estratificada, sin embargo, en las demás unidades de origen volcánico también se aprecian plegamientos, donde destaca un pliegue anticlinal periclinal con un plunge de bajo ángulo con dirección SW, esta estructura afecta a las Unidades Catacocha y Celica. La zona de estudio presenta gran cantidad de diaclasas inclinadas, con distintas direcciones y buzamientos, este tipo de estructuras aparecen asociadas a pliegues y fallas, es decir producto de esfuerzos tectónicos.

Finalmente, el área de estudio se identifica 7 fallas geológicas, de las cuales 6 son inferidas y 1 es observada, la falla más trascendental es la falla dextral inferida que atraviesa la zona de estudio en sentido S-N, falla que se considera como principal, existen otras fallas inferidas transversales con dirección preferencial en sentido SW-NE, y una falla normal observada con dirección SW-NE.

- La ejecución de la fotointerpretación y el levantamiento de todos los afloramientos permitió la elaboración del mapa geológico - estructural a escala 1:10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue, redefiniendo así las unidades litológicas existentes, describiendo a mayor detalle la litología que las compone, e identificando nuevas estructuras tanto como pliegues, diaclasas y fallas.
- A partir de la elaboración del mapa geológico a escala 1: 10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue, se elaboró dos cortes geológicos A-A' con dirección SW-NE, y B-B' con dirección NW-SE, secciones geológicas que engloban todas las unidades litológicas del área estudiada, información complementaria que permite tener una visualización tridimensional de la disposición de la litología y estructuras existentes, a través de estos perfiles se infiere que la Unidad Celica constituye el basamento de la zona de estudio.

## 9 Recomendaciones.

- Realizar estudios geofísicos complementarios que permitan redefinir las unidades litológicas de la cuenca Lancones – Alamor, además del establecimiento de profundidades, espesores y deformaciones.
- Realizar secciones pulidas y láminas delgadas a las muestras de roca recolectadas en el levantamiento geológico – estructural de la zona de estudio, con la finalidad de analizar y establecer con mayor precisión la composición mineralógica.
- Realizar un análisis fotogeológico con resoluciones mayores a las trabajadas en este proyecto, que permitan un mejor análisis litológico y estructural a fin de trabajar y obtener resultados a mayor detalle.
- Realizar estudios geológicos a mayor detalle, por ejemplo 1:5 000, de modo que permita identificar y caracterizar de manera más precisa la litología que comprende la zona de estudio. especialmente los cuerpos subvolcánicos, respecto a su extensión y formación.

## 10 Referencias Bibliográficas.

- Adams, A., Mackenzie, W., & Guilford, C. (1997). *Atlas de rocas sedimentarias*. Manchester: Masson. doi:ISBN:84-458-0427-8
- Aguirre, J. (2007). *Elementos de geología aplicados a la práctica de la ingeniería civil*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Alamo Impact*. (2015). Obtenido de [http://geology.isu.edu/Alamo/devonian/basin\\_range.php](http://geology.isu.edu/Alamo/devonian/basin_range.php)
- Argüelles, G., de Teresa, M. J., Dorado, G., Fernández, L., García, M. J., & Mazadiego, L. (2008). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de [http://www.competentis.es/gie74/files/data/85-2008\\_09\\_estereo\\_jornadasupm.pdf](http://www.competentis.es/gie74/files/data/85-2008_09_estereo_jornadasupm.pdf)
- Arranz, J. (2010). *Modelos Digitales del Terreno*. Madrid: Universidad Politecnica de Madris.
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural*. Moscú: Mir. Recuperado el 26 de Noviembre de 2020
- Buzai, G. (2013). *Sistemas de Información Geográfica (SIG) - Teoría y aplicación*. Luján: Universidad Nacional de Luján.
- Camargo, J. (2004). *Manual de geología estructural*. Bogotá: Universidad Surcolombia.
- Carenas, M., Giner, J., González, J., & Pozo, M. (2014). *Geología* (Tercera ed.). España: Paraninfo, S. A. doi:9788497328944
- Castillo, H., Angamarca, L., Ojeda, F., & Cuenca, L. (2021). *Introducción a la petrografía*. Ponta Grossa: Atena. doi:10.22533/at.ed.014212402
- Dávila, B. (2017). *Estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, Estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, Tramo río Puyango- Loja*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Dávila, F. (s.f.). *Documentación Geográfica y Biblioteca IGN*. Recuperado el 23 de Mayo de 2021
- Dávila, J. (2011). *Diccionario Geológico*. Callao: Art Haltuna.
- Davis, G. (1984). *Structural Geology of Rocks and Regions*.
- Deborah, D. (2016). *GIS Education*. Recuperado el 23 de Mayo de 2021, de [https://gis.e-education.psu.edu/sites/default/files/capstone/Dennison\\_596A\\_20160729.pdf](https://gis.e-education.psu.edu/sites/default/files/capstone/Dennison_596A_20160729.pdf)

- Delgado, J., Padilla, F., & Barrientos, V. (2010). *Universidad de Coruña*. Obtenido de [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/113/pdfs/Practicas%20de%20GEOLOGIA.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/113/pdfs/Practicas%20de%20GEOLOGIA.pdf)
- Díaz, M., Ferreiro, I., Sentana, I., & Tomás, R. (2002). *Aplicación de la proyección estereográfica en Ingeniería Geológica*. Santander: INEGRAF.
- Díaz, M., Rodríguez, J., & Luque, E. (2017). *Estudio de la estabilidad de taludes en la Roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca*. Cajamarca.
- Echeveste, H. (2017). *Manual de levantamiento geológico*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Recuperado el 25 de Noviembre de 2020
- Esri. (2020). *Esri*. Obtenido de <https://www.esri.com.ec/arcgis/>
- Explorock. (2020). *Explorock*. Obtenido de <https://www.explorock.com/metodologia-de-trabajo-mapeo-geologico/Explorock>
- Felicísimo, A. M. (1994). *Modelo Digital del Terreno*. Oviedo. doi:ISBN: 8478484752
- Fossen, H. (2016). *Structural Geology* (Vol. Segundo). Cambridge : Cambridge University Press. doi:978-107-05764-7
- Franco, A. (13 de Septiembre de 2000). *elgps.com*. Obtenido de [http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas\\_utm.html](http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html)
- Fuentes, J. (2020). Comparación de modelos de altura de la vegetación para estimación de biomasa en un bosque de manglar en el Caribe Colombiano. *Entorno Geográfico*, 19.
- García, M. (2012). *Geología estructural*. Inbook. doi:ISBN:978-84-92767-65-6
- Geología Estructural*. (2020). Obtenido de <https://www.geologiaestructural.com/introduccion/#:~:text=Las%20estructuras%20geol%C3%B3gicas%20primarias%20son,flujo%2C%20estructura%20eutax%C3%ADtica%2C%20etc.>
- Geotecnia Fácil*. (2021). Obtenido de <https://geotecniafacil.com>
- GeoxNet*. (2016). Obtenido de <https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/>
- Glosario Geología*. (2012). Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de <https://glosarios.servidor-alicante.com/geologia/diaclasa>

- Gordon, D., Palacios, O., Pilatasig, L., & Sánchez, J. (2005). *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas Ecuador-Perú-Canada*. DINAGE-INGEMMET.
- Griem, W. (2020). *Geología estructural virtual*. Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de <https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/gestr01.htm>
- Griem, W. (2020). *geovirtual*. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap04a.htm#STRECKEISEN>
- Hans, N. R. (1999). *Apuntes de geología estructural*. Antofagasta.
- Ibadango, E., Pilatasig, L., & Torres, c. (2013). *Proyecto Modelo Piloto para la derminación del Potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma Y cariamanga a escala 1: 100 000*. INIGEMM.
- IIGE. (21 de 10 de 2019). *geoenergia*. Obtenido de [https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/15\\_resolucion\\_no\\_2019\\_082\\_de\\_abril\\_2020.pdf](https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/05/15_resolucion_no_2019_082_de_abril_2020.pdf)
- IIGE. (2019). *Instituto de Investigación Geológico Energetico*. Quito: IIGE.
- INIGEMM. (2013). *Proyecto "Modelo Piloto para la determinación del potencial geológico-mineralógico de las zonas Zaruma y Cariamanga a escala 1: 100 000"*. INIGEMM.
- INPRES. (2020). *Instituto Nacional de Prevención Sísmica*. Obtenido de <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>
- Iriondo, M. (1985). *Introducción a la geología* (3º Edición ed.). Paraná: Editorial Brujas. doi:ISBN: 978-987-591-061-4
- Joachim. (2012). *Apuntes de geología*. Obtenido de [http://joachim.cl/geologia/html2/005estratigrafia/003\\_principios\\_estratigraficos.htm](http://joachim.cl/geologia/html2/005estratigrafia/003_principios_estratigraficos.htm)
- Kennerley, J. B. (1975). *Levantamiento Geológico*. Gran Bretaña: Institute of geological Sciencies.
- Lopez Vergara, M. L. (1988). *Manual de Fotogeología* (Vol. Tercera edición). Madrid: CIEMAT.
- López, J. (2017). *Origen de la fracturación presente en los cuerpos igneos (coladas y sills), de edad pérmica, del sector de atienza, no de la rama castellana de la rama ibérica: fracturación tectónica vs disyunción columnar*. Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de

[http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/750/990/html/21\\_elementos\\_de\\_un\\_mapa\\_geologico.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/750/990/html/21_elementos_de_un_mapa_geologico.html)

- Mackenzie, W., & Donaldson, C. G. (1996). *Atlas de rocas ígneas y sus texturas*. Manchester: Masson. doi:ISBN: 0-582-30082-7
- Maldonado, Y. (2020). *Geología web*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/geologia-general/pliegues/>
- Martínez, J. (1981). *Mapas geológicos (Explicación e interpretación)*. Madrid: Paraninfo.
- Moreno, H., & Ibañez, S. (s.f.). *Upv.es*. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105172/Moreno%3BIba%C3%B1ez%20-%20Diagrama%20QAFP.pdf?sequence=1>
- Murphy, & Salvador. (1999). *International Stratigraphic Guide*.
- Navarrete, E. (2005). *Apuntes de Geología General*. Guayaquil: ESPOL.
- Núñez, V. (2008). *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Modelo-digital-del-terreno-con-la-superposicion-de-una-composicion-falso-color\\_fig12\\_283513457](https://www.researchgate.net/figure/Figura-24-Modelo-digital-del-terreno-con-la-superposicion-de-una-composicion-falso-color_fig12_283513457)
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Creative Commons.
- PDOT de la parroquia La Tingue. (2015-2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. La Tingue.
- Plaza, O. (2008). *Geología Aplicada*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Quirós, E. (2014). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*. España: Universidad de Extremadura. doi:ISBN: 978-84-697-1317-4
- RACEFN. (2011). *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- Reguant, S., & Ortiz, R. (2001). Guía Estratigráfica Internacional. *Sociedad Geológica de España*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2020
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editorial Nacional.

- Sosa, J. (2008). Los Sistemas de Información geográfica y su aplicación en enlaces de comunicaciones. *Científica*. doi: 1665-0654.
- Suárez, J. (2020). *Visión Geotécnica de la Amenaza Sísmica*. Bucaramanga: Geotecnología.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S. A.
- Uah.es. (s.f.). *Uah.es*. Recuperado el 23 de Mayo de 2021, de [https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST\\_Vector.htm#:~:text=El%20modelo%20vectorial%20es%20una,se%20almacena%20de%20forma%20expl%C3%ADcita](https://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm#:~:text=El%20modelo%20vectorial%20es%20una,se%20almacena%20de%20forma%20expl%C3%ADcita).
- Vallejo, J. (2014). *Manual de Loja*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Varela, R. (2014). *Manual de Geología* (Miscelánea 21 ed.). San Miguel de Tucumán: INSUGEO. doi:ISSN 1514-4836
- Vázquez, G. (2010). *Principios estratigráficos y geocronología*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vera, J. (1994). *Estratigrafía principios y métodos*. Madrid: Rueda. doi:ISBN: 84-7207-074-3
- Viteri, F. (2013). *Instructivo para el manejo de fichas de descripción macroscópica de muestras de roca*. Quito: INIGEMM.
- Von Humboldt, A. (2006). *Los Sistemas de Información Geográfica*. San Cristobal: Geoenseñanza. doi:1316-60-77



## 11 Anexos.

**Anexo 1:** Fichas de descripción y etiquetas.

**Anexo 2:** Mapa topográfico a escala 1:10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue.

**Anexo 3:** Pendientes.

**Anexo 4:** Geomorfología.

**Anexo 5:** Puntos de control.

**Anexo 6:** Listado de afloramientos.

**Anexo 7:** Descripción de afloramientos.

**Anexo 8:** Descripción petrográfica macroscópica.

**Anexo 9:** Fotointerpretación (análisis geológico – estructural).

**Anexo 10:** Mapa geológico - estructural a escala 1:10 000 de la zona Sur de la parroquia La Tingue.

**Anexo 11:** Cortes geológicos.

**Anexo 12:** Gráficas utilizadas para la descripción de las rocas.

*(Se encuentran en el CD2)*