



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Facultad de Energía, Las Industrias y Los Recursos Naturales No Renovables
Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

TÍTULO:

**“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL A
ESCALA 1:25000 DE LA ZONA SUR DE LA
PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y
PROVINCIA DE LOJA”**

*Tesis de grado previo a la
obtención del título de Ingeniera
en Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial.*

AUTORA:

Estefanía Elizabeth Montaña Pullaguari

DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc

**LOJA - ECUADOR
2021**



CERTIFICACIÓN

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

**DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA 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 la señorita egresada: **ESTEFANIA ELIZABETH MONTAÑO PULLAGUARI** con C.I. **1150688388**, en su proceso de investigación denominado **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL A ESCALA 1:25000 DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”** previo a la obtención del título de Ingeniera 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, 10 de agosto del 2021



Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS



AUTORÍA

YO, **ESTEFANÍA ELIZABETH MONTAÑO PULLAGUARI**, declaro ser autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o 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 Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1150688388

Fecha: 21 de octubre de 2021



CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **ESTEFANÍA ELIZABETH MONTAÑO PULLAGUARI**, declaro ser autora de la tesis titulada: **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL A ESCALA 1:25000 DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de **INGENIERA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 veintiún días del mes de octubre del dos mil veintiuno.

Firma:

Autor: Estefanía Elizabeth Montaña Pullaguari

Cédula: 1150688388

Dirección: Yangana, calles Arsenio Castillo y Padre Carlos Miguel Vaca

Correo electrónico: eemontanop@unl.edu.ec

Teléfono: 072199005 **Celular:** 0978921764

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

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

Ing. Maritza Ximena Ochoa Tapia, Mg.Sc.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg.Sc.



DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico el presente trabajo investigativo, primeramente, a Dios por ser mi guía espiritual y darme la fortaleza para culminar con éxito uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres y hermanos quienes con su infinito amor y sacrificio me apoyaron incondicionalmente durante este proceso y me entregaron todo lo que soy como persona: valores, principios, carácter, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos.

A mi familia porque con sus consejos y palabras de aliento me motivan a cumplir cada meta, sueño y objetivo planteado.

De manera especial a mi compañero Byron Sarango que gracias a su apoyo constante y desinteresado hizo de esta experiencia una de las más especiales.

Estefanía Montaña



AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por la formación profesional, personal y humana recibida en sus aulas.

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, quienes compartieron generosamente sus conocimientos durante estos cinco años de formación académica y de quienes he recibido valiosas lecciones profesionales y de vida.

Al Ing. Fermín González Mg. Sc., director de tesis, gracias por su tiempo y acertada dirección durante la realización de la presente investigación.

Al Dr. Luis Angamarca, docente y amigo gracias por su ayuda, consejos y sugerencias, que han sido muy valiosos para la culminación de esta investigación.

A mis queridos padres Gladys y Luis, qué son mi inspiración y razón de ser, gracias por el esfuerzo y dedicación que me brindaron para culminar mi carrera universitaria y por el respaldo y motivación para cumplir mis objetivos.

A mis compañeros de carrera y a mi gran amigo Byron Sarango por los gratos momentos y experiencias compartidas.

A todas las personas que de una u otra manera mostraron su apoyo y se hicieron partícipes para que este proyecto se lleve a cabo.

Estefanía Montaña



TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VII
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN.....	2
ABSTRACT	4
3. INTRODUCCIÓN	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
4.1. Geología general.....	8
4.1.1. Geología	8
4.1.1.1. Clasificación de las rocas.....	8
4.1.2. Petrología	9
4.1.3. Petrografía.....	9
4.2. Geología estructural.....	10
4.2.1. Orientación de planos	10
4.2.2. Esfuerzos de deformación.....	11
4.2.3. Estructuras geológicas	12
4.2.3.1. Pliegues.....	12
4.2.3.2. Fallas.....	12
4.2.3.3. Diaclasas.....	13
4.2.3.4. Discordancias.....	14
4.3. Mineralogía.....	15
4.3.1. Reconocimiento macroscópico.....	15
4.4. Estratigrafía.....	16
4.4.1. Unidades estratigráficas.....	18
4.4.1.1. Unidades litoestratigráficas.....	18
4.5. Cartografía	20
4.5.1. Mapeo geológico	20



4.5.1.1.	Tipos de mapa geológicos.....	20
4.5.1.2.	Unidades de mapeo.....	20
4.5.1.3.	Métodos de mapeo.....	21
4.5.1.4.	Elaboración de mapas geológicos.....	22
4.5.2.	<i>Perfiles o cortes geológicos</i>	22
4.5.2.1.	Construcción.....	23
4.5.3.	<i>Columna estratigráfica</i>	24
4.6.	Sistemas de Información Geográfica.....	24
4.6.1.	<i>Fotointerpretación</i>	25
4.6.1.1.	Ventajas del uso de fotografías aéreas.....	25
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
6.	RESULTADOS.....	34
6.1.	Descripción general del área de estudio.....	34
6.1.1.	<i>Ubicación</i>	34
6.1.2.	<i>Acceso</i>	35
6.2.	Descripción biofísica del área de estudio.....	36
6.2.1.	<i>Clima</i>	36
6.2.2.	<i>Topografía</i>	36
6.2.3.	<i>Hidrografía</i>	37
6.2.4.	<i>Pendiente</i>	38
6.2.5.	<i>Geomorfología</i>	38
6.3.	Geología Regional.....	39
6.4.	Estratigrafía.....	42
6.5.	Geología Local.....	43
6.6.	Geología estructural.....	61
6.7.	Cortes de secciones geológicas locales.....	66
7.	DISCUSIÓN.....	68
8.	CONCLUSIONES.....	70
9.	RECOMENDACIONES.....	72
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	73
11.	ANEXOS.....	78



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Medición del rumbo, b) Medición del buzamiento.....	11
Figura 2. Tipos de esfuerzos.....	11
Figura 3. Sucesión de estratos en un pliegue anticlinal (A) y en un pliegue sinclinal (B)	12
Figura 4. Tipos de fallas	13
Figura 5. A: Red de Wulff, B: Red de Schmidt, C: Falsilla de conteo de Kalsbeek.....	15
Figura 6. Principio de superposición.....	16
Figura 7. Principio de relaciones de corte	17
Figura 8. Principio de inclusión.....	17
Figura 9. Principio de la sucesión de faunas	18
Figura 10. Unidades litoestratigráficas y sus relaciones	19
Figura 11. Ubicación de la zona de estudio.....	34
Figura 12. Acceso a la zona de estudio	35
Figura 13. Perfil topográfico A - A'	36
Figura 14. Perfil topográfico A - A'	37
Figura 15. Geología regional de la zona de estudio	42
Figura 16. Análisis estructural de la zona de estudio (fallas y diaclasas)	63
Figura 17. Análisis estructural de la zona de estudio (anticlinales y sinclinales)	64
Figura 18. Fotointerpretación de anticlinal (A) y sinclinal (B).....	65
Figura 19. Corte geológico A – A' de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba.....	66
Figura 20. Corte geológico B – B' de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de la zona de estudio.....	35
Tabla 2. Clasificación de las pendientes en la zona de estudio	38
Tabla 3. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	39
Tabla 4. Síntesis estratigráfica de la zona de estudio	43
Tabla 5. Fallas cartografiadas.....	64



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Lava basáltica, ubicada en el barrio Pordel	44
Fotografía 2. Toba volcánica redepositada	45
Fotografía 3. Dique oscuro de lava andesítica con una inclinación aproximada de 70° a 75°	46
Fotografía 4. Afloramiento de estructura masiva a fluidal compuesto por lavas andesíticas.....	47
Fotografía 5. Brecha volcánica.....	48
Fotografía 6. Afloramiento constituido por un 60% de clastos de tobas dacíticas	49
Fotografía 7. Afloramiento constituido por tobas riolíticas, en el barrio Saracapa	50
Fotografía 8. Afloramiento constituido por tobas líticas, en el sector Sayo	51
Fotografía 9. Depósito coluvial, ubicado en el barrio La Dolorosa	52
Fotografía 10. Depósito coluvial, ubicado en el barrio San Vicente.....	53
Fotografía 11. Depósito Coluvial, ubicado en el barrio Miraflores	54
Fotografía 12. Riolitas de textura afanítica muy alteradas.....	55
Fotografía 13. Pórfido riolítico muy alterado por el intemperismo	56
Fotografía 14. Afloramiento de estructura masiva, constituida por andesitas	56
Fotografía 15. Bombas volcánicas	57
Fotografía 16. Granodioritas muy alteradas, ubicadas en el sector Bain	58
Fotografía 17. Granodioritas de textura equigranular	59
Fotografía 18. Dioritas asociadas a un estructura masiva y fallada	60
Fotografía 19. Dioritas asociadas a diques paralelos	61
Fotografía 20. Falla inversa, ubicada en el barrio Guayllas.....	62
Fotografía 21. Falla, ubicada en la vía de tercer orden que conduce al río Gualel	63
Fotografía 22. Diaclasas.....	65

ÍNDICE DE FICHAS

Ficha 1. Descripción de afloramientos.....	31
Ficha 2. Descripción macroscópica de rocas	32

1. TÍTULO



LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL A ESCALA
1:25000 DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA,
CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA



2. RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene por objetivo principal realizar el levantamiento geológico – estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba. La zona de estudio comprende un área de 35.66 km²; se encuentra ubicada en el Sur del Ecuador, en la provincia y cantón Loja, a 41 km de la cabecera cantonal hacia el noroeste. Políticamente limita al Norte con las parroquias Gualiel y Santiago; al Sur con la parroquia Chantaco y el cantón Catamayo; al Este con las parroquias Santiago y Chantaco y; al Oeste con la parroquia Gualiel y parroquia El Cisne.

El levantamiento geológico – estructural realizado en la zona sur de la parroquia, permitió caracterizar ocho unidades litológicas: Unidad Gonzabal, Unidad Tesalia, Unidad Sayo Cruz, Depósito Coluvial, Riolitas, Pórfido Riolítico, Granodioritas y Dioritas. En la cual, la Unidad Tesalia abarca la mayor extensión de territorio con 18,19 km², aflora en los sectores de su mismo nombre; Tesalia Alto, Tesalia Bajo y los barrios Guayllas y Saracapa; está constituida principalmente por lavas andesíticas, brechas volcánicas, tobas riolíticas y tobas dacíticas, pero se puede encontrar en menor proporción andesitas basálticas y riolitas. Las lavas andesíticas presentan coloraciones gris verdoso y gris oscuro, de textura afanítica a porfirítica, cuya composición mineralógica está caracterizada por minerales de hornblenda y piroxenos. Así mismo, es importante destacar que el cuerpo intrusivo granodiorita comprende un área de 7,35 km² siendo la segunda unidad con mayor extensión en la zona de estudio; presentan una composición intermedia a félsica, afloran al suroeste del área de estudio en la Loma Bain, encontrándose en contacto fallado con la Unidad Tesalia; este cuerpo intrusivo presenta una coloración gris clara y moteado negro, con textura hipidiomórfica granular, de grano medio a grueso, cuya composición mineralógica comprende aproximadamente 45% de plagioclasas, 35% de cuarzo, 15% de feldespatos potásicos alterados y un 5% de minerales ferromagnesianos como la hornblenda y biotita.

En cuanto a la geología estructural, se identificó que la zona de estudio se encuentra deformada principalmente por un sistema de fallas ubicadas en la parte occidental de la zona de estudio, las cuales afloran generalmente en las quebradas: Tesalia, Tabla, Uritu Huasir; y zonas de contacto litológico, tienen una dirección preferencial de W- E, NW – SE, NE – SW y cuyas longitudes alcanzan los 3000 m . Este sistema de fallas está conformado por 10 fallas inferidas, 2 fallas normales inferidas y 1 falla inversa observada,



formadas por los diversos procesos tectónicos que se han suscitado a lo largo del tiempo. Por otro lado, en la parte oriental de la zona de estudio se evidencian dos fallas, una observada y otra inferida: la primera de dirección NW-SE limitando la margen SO del pórfido riolítico y la segunda con sentido NE-SW poniendo en contacto rocas volcánicas de composición ácida con las secuencias volcanosedimentarias de la Unidad Gonzabal, además estructuras plegadas como anticlinales y sinclinales y una familia de diaclasas con dirección S52°W, 80° de inclinación y dirección de buzamiento NW.

ABSTRACT

The main objective of this research work is to carry out the geological-structural survey at a scale of 1: 25000 of the southern area of the Chuquiribamba parish. The study area comprises an area of 35.66 km²; It is located in the South of Ecuador, in the province and canton of Loja, 41 km from the cantonal head to the northwest. Politically it limits the North with the parishes Gualiel and Santiago; to the South with the Chantaco parish and the Catamayo canton; to the East with the parishes Santiago and Chantaco and; to the West with the Gualiel parish and El Cisne parish.

The geological - structural survey carried out in the southern zone of the parish, allowed to characterize eight lithological units: Gonzabal Unit, Tesalia Unit, Sayo Cruz Unit, Colluvial Deposit, Rhyolites, Rhyolitic Porphyry, Granodiorites and Diorites. In which, the Tesalia Unit covers the largest extension of territory with 18.19 km², outcrops in the sectors of the same name; Tesalia Alto, Tesalia Bajo and the Guayllas and Saracapa neighborhoods; It is mainly made up of andesitic lavas, volcanic breccias, rhyolitic tuffs and dacitic tuffs, but basaltic andesites and rhyolites can be found to a lesser extent. Andesitic lavas have greenish-gray and dark gray colorations, aphanitic to porphyritic texture, whose mineralogical composition is characterized by hornblende and pyroxene minerals. Likewise, it is important to highlight that the granodiorite intrusive body comprises an area of 7.35 km², being the second largest unit in the study area; they present an intermediate to felsic composition, they outcrop to the southwest of the study area in Loma Bain, finding themselves in contact with the Tesalia Unit; This intrusive body has a light gray color and black speckles, with a granular hypidiomorphic texture, of medium to coarse grain, whose mineralogical composition comprises approximately 45% plagioclase, 35% quartz, 15% altered potassium feldspars and 5% minerals. ferromagnesian such as hornblende and biotite.

Regarding the structural geology, it was identified that the study area is deformed mainly by a system of faults located in the western part of the study area, which generally emerge in the streams: Tesalia, Tabla, Uritu Huasir; and lithological contact zones, have a preferential direction of W- E, NW - SE, NE - SW and whose lengths reach 3000 m. This fault system is made up of 10 inferred faults, 2 inferred normal faults and 1 observed reverse fault, formed by the various tectonic processes that have arisen over time. On the other hand, in the eastern part of the study area there are two faults, one observed and the



other inferred: the first in a NW-SE direction limiting the SW margin of the rhyolitic porphyry and the second in a NE-SW direction, putting rocks in contact. volcanic acid composition with the volcanosedimentary sequences of the Gonzabal Unit, as well as folded structures such as anticlines and synclines and a family of joints with S52°W direction, 80° inclination and NW dip direction.



3. INTRODUCCIÓN

Hoy por hoy la cartografía geológica-estructural a detalle en la Región Sur del Ecuador es limitada, lo que impide tener un conocimiento real de la geología y rasgos estructurales de nuestro territorio, que permiten a su vez la determinación de zonas de interés geológico - minero que potencialicen el desarrollo y crecimiento económico del país.

De tal manera, la presente investigación está orientada a la realización de un levantamiento geológico-estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba que permita evidenciar toda la información geológica de la zona de estudio, determinando los rasgos estructurales, corroborando formaciones geológicas existentes, y mapeando aquellas que no han sido identificadas en el mapa regional existente, esto con el fin de tener una base geológica detallada, actualizada y complementada del área de estudio, que a su vez sirva de apoyo para la elaboración de presentes y futuros trabajos investigativos que se requiera por parte de cualquier entidad ya sea pública o privada, en lo relacionado a Ordenamiento Territorial, estudios geotécnicos, riesgos geológicos, determinación de posibles zonas mineralizadas entre otros.

Para llevar a cabo el levantamiento geológico estructural de la zona de estudio, se inició con la elaboración de la cartografía base del sector y la fotointerpretación de los rasgos morfológicos y estructuras, que más adelante, en la fase de campo fueron corroborados. El levantamiento de información en campo se realizó a través del método denominado *mapeo de contactos*, que consiste en la ubicación de contactos entre unidades litológicas o formaciones, además del mapeo de afloramientos y caracterización macroscópica de muestras de roca. Finalmente, esta información fue representada en un mapa geológico – estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba y perfiles geológicos que permitieron tener mejor perspectiva de cómo están dispuestas las estructuras y unidades litológicas en profundidad.



OBJETIVOS

Objetivo General

- Realizar el levantamiento geológico-estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Identificar y definir la litología y estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.
- Caracterizar petrográficamente a nivel macroscópico, las litologías encontradas en el sector.
- Elaborar el mapa geológico-estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba.



4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Geología general

4.1.1. Geología

Rivera (2005) define la Geología como la ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del Universo, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas (p.8).

La ciencia de la geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica. La Geología Física, estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. El objetivo de la Geología Histórica es comprender el origen de la tierra y su evolución a lo largo del tiempo.

Una gran parte de la geología se basa en observaciones y experimentos llevados a cabo en el campo, pero también se realiza en el laboratorio donde, por ejemplo, el estudio de varios materiales terrestres permite entender muchos procesos básicos.

4.1.1.1. Clasificación de las rocas.

En la clasificación de las rocas existen gran variedad de criterios como su textura, composición química, permeabilidad, entre otros. Pero el criterio que siempre ha tenido mayor relevancia es la manera en que se formaron, clasificando a las rocas en tres grandes grupos:

– Rocas ígneas

Son las que se formaron como resultado de la consolidación (incluida la cristalización) de la masa mineral fluida de la tierra. La mayoría de estas rocas posee estructura cristalina; comúnmente se depositan en la corteza terrestre en capas o mantos, o dando origen a masas de gran potencia con formas irregulares (Chariguin, 1964, p. 3).

– Rocas sedimentarias

Según Chariguin (1964) las rocas metamórficas son las que se originaron por el depósito y subsiguiente modificación de diversos materiales de sedimentación, fundamentalmente minerales, mediante procesos mecánicos, orgánicos y químicos. Las rocas sedimentarias suelen depositarse sobre la corteza terrestre formando capas, bien sobre los continentes o en el fondo de los mares (p. 3- 4).

– ***Rocas metamórficas***

Son las que proceden de las ígneas o de las sedimentarias sometidas en las profundidades de la corteza terrestre a la acción de elevadas presiones y temperaturas. En la mayoría de los casos, estas rocas se distinguen por su estructura estratiforme y cristalina (Chariguin, 1964, p. 4).

4.1.2. Petrología

Castro (1989) define a la petrología como “la ciencia cuyo objetivo es determinar la naturaleza de dichos sistemas naturales, la magnitud de las variables que han determinado su evolución (presión, temperatura, energía cinética, etc.) y, finalmente, interpretar el proceso o procesos geológicos implicados” (p.18).

La Petrología utiliza diferentes técnicas de investigación en busca de respuestas a los problemas de la petrogénesis debido a la diversidad de rocas existentes, a sus diferentes modos de formación, a su enorme variedad de tamaños y a la diversidad de minerales que las componen. Servicio Geológico Mexicano (SGM,2017). Las técnicas más significativas son:

- *De campo*: reconocimientos y asociaciones de las rocas a nivel regional (estructuras).
- *Químicas*: análisis de la naturaleza química de las rocas.
- *Experimentales*.
- *Petrográficas*: parte puramente descriptiva de las rocas a nivel microscópico.

4.1.3. Petrografía

La petrografía es la ciencia que permite conocer la naturaleza de los cristales o granos que componen una roca, las relaciones mutuas entre ellos, sus abundancias relativas, etc., llevando finalmente a la clasificación de la roca y a la asignación de un nombre sistemático (Castro, 1989, p.18).

Las técnicas de trabajo utilizadas en Petrografía abarcan desde la toma de muestras, la realización de láminas delgadas y secciones pulidas hasta finalmente el estudio de la roca bajo el microscopio polarizante.



4.2. Geología estructural

Arellano *et al.* (2002) define la geología estructural como la rama de la Geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y de las causas que las originaron; también es importante su identificación, descripción y representación gráfica en mapas y secciones geológicas (p.5).

Así mismo las estructuras geológicas, las podemos estudiar a nivel microscópico, en láminas delgadas, en una muestra de mano, en un afloramiento o como un rasgo mayor en una fotografía aérea o en una imagen de satélite; por lo que se describen también como microestructuras, mesoestructuras y macroestructuras.

4.2.1. Orientación de planos

Para describir, cartografiar y caracterizar algunos atributos de estas estructuras se emplean elementos de orientación que permiten conocer su posición en el espacio.

La actitud de un plano estructural (capa, estrato, falla, fractura, foliación, etc.), puede ser expresada por conceptos que nos indican hacia dónde se inclina ese plano y con qué intensidad lo hace.

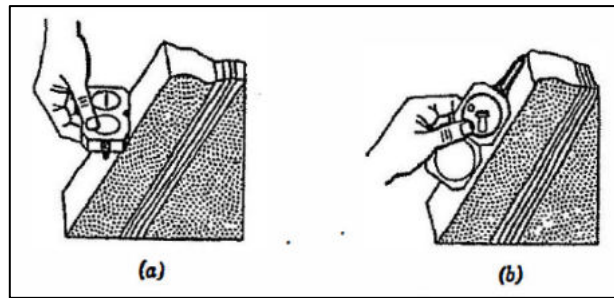
Ragan (1986) nos dice que la orientación es el “término que nombra la disposición de un plano o línea estructural en el espacio, está relacionada con coordenadas geográficas y con un plano horizontal. Son componentes de la orientación para planos estructurales tanto el rumbo como el buzamiento” (p.1).

El *rumbo*, es el ángulo que se forma entre una línea horizontal contenida en un plano estructural y una dirección de coordenadas específicas, por lo general el norte o sur geográficos. El rumbo se mide con una brújula utilizando cuadrantes (NE, SE, SW y NW) o de forma azimutal (0° a 360°). En ambos casos se puede utilizar la notación de pínula a la derecha cuando se emplea una brújula tipo Brunton. El rumbo del plano se mide colocando la pínula mayor hacia la derecha del observador viendo al plano de frente (Ragan, 1986).

El mismo autor define al *buzamiento* como el ángulo que forma una de sus rectas de máxima pendiente con respecto a un plano. Se determina colocando un lado de la caja de la brújula y la tapa directamente apoyados en el plano que aflora y perpendicularmente a la dirección medida previamente, se nivela la burbuja del clinómetro y se lee el ángulo de buzamiento.



Figura 1. a) Medición del rumbo, b) Medición del buzamiento



Fuente: Ragan (1986)

4.2.2. Esfuerzos de deformación

En la naturaleza, según la dirección de las fuerzas aplicadas, el esfuerzo puede reconocerse en tres variedades:

- **Compresión:** Esfuerzo al que son sometidas las rocas cuando se comprimen por fuerzas dirigidas unas contra otras a lo largo de una misma línea.
- **Tensión:** Resultado de las fuerzas que actúan a lo largo de la misma línea, pero en dirección opuesta.
- **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 2. Tipos de esfuerzos

Tension	Compresion	Cizalla	
			Tipo de deformación

Fuente: Geoxnet (2019)



4.2.3. Estructuras geológicas

4.2.3.1. Pliegues.

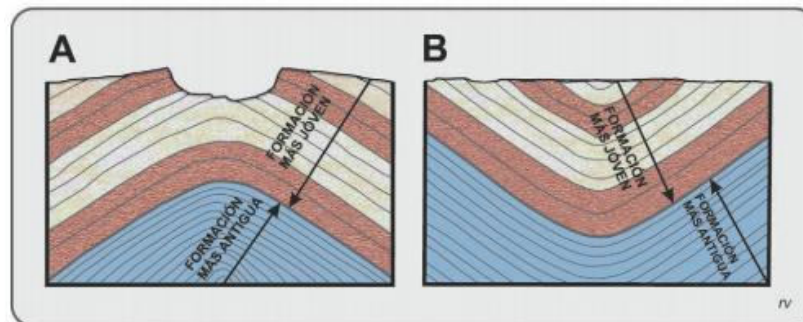
Arellano *et al.* (2002) definen a un pliegue como una estructura secundaria producida cuando una superficie originalmente plana es inclinada o curvada como resultado de deformación dúctil heterogénea, la cual se manifiesta como una o varias ondulaciones de sus elementos originales.

Desde el punto de vista geológico, los pliegues son estructuras que involucran aspectos litológicos, geométricos y estratigráficos (cronológicos); se componen de varias partes que los caracterizan: flanco, cresta, valle, punto de charnela, línea de charnela, superficie de charnela, longitud de onda, amplitud de onda, eje y punto de inflexión.

Existen dos tipos de pliegues que son mayormente utilizados:

- **Anticlinales:** Es cuando las rocas más viejas se localizan hacia la zona cóncava del arqueamiento o núcleo del pliegue.
- **Sinclinales:** Es cuando las rocas más jóvenes se presentan en el lado cóncavo o núcleo de flexión.

Figura 3. Sucesión de estratos en un pliegue anticlinal (A) y en un pliegue sinclinal (B)



Fuente: Varela (2014)

Los mecanismos para la formación de pliegues son esencialmente deslizamiento entre estratos, flujo de materia por granulación-recristalización y cizallamiento.

4.2.3.2. Fallas.

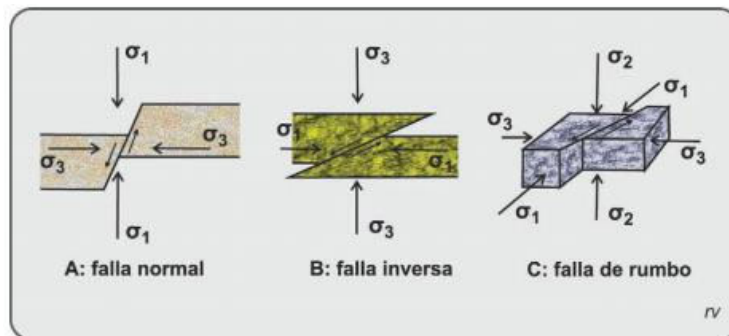
Varela (2014) nos dice que se denomina falla a la “ruptura de un cuerpo de roca por un plano, denominado plano de falla, con desplazamiento de las dos partes resultantes” (p. 79).



Hay tres tipos principales:

- **Fallas normales o directas:** El bloque que queda por encima del plano de falla (bloque colgante o techo) desciende respecto al que queda por abajo (bloque yacente o piso) causando un alargamiento del terreno.
- **Fallas inversas:** El bloque colgante (techo) asciende respecto al bloque yacente (piso), resultando un acortamiento del terreno.
- **Fallas de rumbo:** El desplazamiento puede ser derecho o izquierdo dependiendo de lo que suceda con el bloque del frente, cuando un observador mira desde el otro bloque.

Figura 4. Tipos de fallas



Fuente: Varela (2014)

Es frecuente encontrar asociaciones de fallas, que dan lugar a la formación de estructuras tipo:

- **Graben:** Estructura negativa semejante a una fosa (sobre el bloque del techo), delimitada por dos fallas normales.
- **Horst:** Estructura positiva semejante a un pilar (sobre el bloque del piso), delimitada por dos fallas normales.
- **Mantos de cabalgamiento:** Son un tipo particular de falla inversa con desplazamiento vertical que se realiza a través de un plano de fractura de dimensiones regionales, y con buzamientos que suelen ser inferiores a 45°. Tienen su origen en esfuerzos compresivos en la horizontal que producen un acortamiento en la corteza, de forma que el bloque de techo «cabalga» sobre el bloque de muro.

4.2.3.3. Diaclasas.

Varela (2014) manifiesta que “las diaclasas son planos de ruptura que dividen el cuerpo de roca, sin que se verifique en dichos planos movimiento entre las partes

resultantes” (p. 77). A menudo en un cuerpo de roca hay dos o más orientaciones preferidas (juegos), constituyendo un sistema de diaclasas.

Las diaclasas pueden ser abiertas o cerradas y estar cementadas o no. Además, pueden ser paralelas a los planos de estratificación (rocas sedimentarias) o de clivaje (rocas metamórficas).

4.2.3.4. Discordancias.

Duque (2003) define a las discordancias como contactos de dos estratos que no son inmediatamente sucesivos en el tiempo porque falta uno o más estratos de la serie. Las discordancias se producen generalmente porque una cuenca sedimentaria sufre una elevación que interrumpe la sedimentación, mecanismo que es seguido por un proceso erosivo que elimina algunos estratos (p. 240).

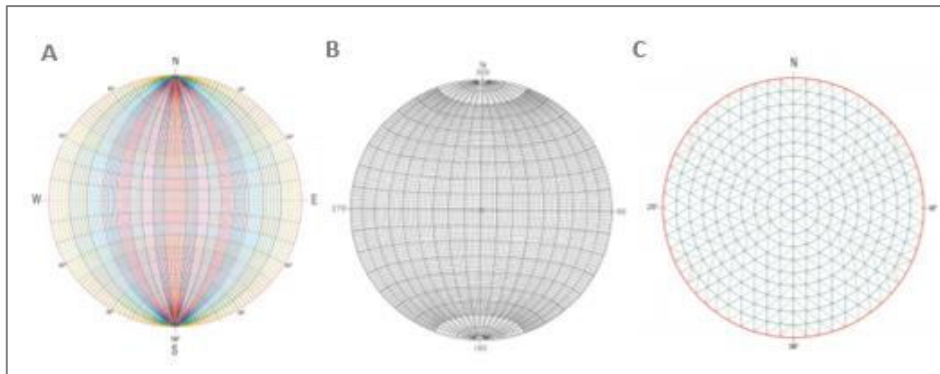
Las estructuras antes mencionadas pueden ser representadas mediante proyección estereográfica, definiéndose según Arellano *et al.* (2002) como una técnica de mucha utilidad que permite solucionar fácil y rápidamente problemas estructurales, que involucren relaciones angulares entre planos y líneas, los cuales se proyectan sobre una red conocida como red de Lambert-Schmidt. o red equiareal.

Así también en Geología Estructural, es posible utilizar varios tipos de estereodiagramas, siendo los más prácticos la red meridional estereográfica de igual ángulo o red de Wulff y el estereodiagrama de igual área o red de Schmidt. En la primera, se mantienen las relaciones angulares iguales y en la segunda se mantienen sin variar las áreas. Este último caso, es muy práctico cuando se manejan gran cantidad de polos de planos o líneas y se requiere realizar conteos estadísticos, ya que si se tiene dispersión es muy difícil evaluarlos e interpretarlos (Arellano *et al.*, 2002, p. 148).

Existe un tercer método denominado diagrama de contornos, en el que se determina la densidad estadística, o sea, el número de puntos que se tienen en un área determinada utilizando la falsilla de conteo de Kalsbeek; con ésta se obtiene la media de cada orientación de la superficie estructural estudiada la cual, puede ser analizada si se gráfica en la red de Wulff o en el estereodiagrama de Schmidt.



Figura 5. A: Red de Wulff, B: Red de Schmidt, C: Falsilla de conteo de Kalsbeek



Fuente: Arellano *et al.* (2002)

4.3. Mineralogía

Ovejero (2015) define la mineralogía como la ciencia de la Geología dedicada al estudio de la estructura cristalina y las propiedades intrínsecas de los minerales. Aborda el conocimiento específico de la morfología geométrica y relación con las propiedades ópticas, que conducen al conocimiento de minerales petrogenéticos y de mena (p. 3).

La mineralogía puede dividirse en:

- **Mineralogía química:** Estudia las propiedades químicas de los minerales.
- **Mineralogía física:** Estudia de las propiedades físicas de los minerales como las propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, magnéticas, etc.
- **Mineralogía determinativa:** Se ocupa de describir las técnicas de identificación y determinación de minerales.
- **Mineralogía descriptiva:** Se describen las propiedades cristalográficas, químicas y físicas, así como las asociaciones y yacimientos de los minerales.
- **Mineralogénesis:** Se ocupa del estudio de la génesis de los minerales y permite obtener datos de sumo interés para la prospección y valoración de los yacimientos minerales.
- **Mineralogía aplicada:** Se ocupa de describir las aplicaciones de los minerales en la industria, prospección y exploración.

4.3.1. Reconocimiento macroscópico

El reconocimiento de minerales en muestra de mano o de visu es una herramienta muy útil en el trabajo de campo del Geólogo ya que permite una primera aproximación al tipo de materiales geológicos que se están observando. El material necesario para la



identificación de minerales de visu es una lupa (imprescindible), una pequeña navaja o lima metálica, un imán y una guía de minerales.

Las propiedades minerales que se pueden reconocer por una simple observación o mediante pruebas sencillas son las siguientes:

- | | |
|-----------------|-------------------|
| ✓ Forma | ✓ Peso específico |
| ✓ Hábito | ✓ Dureza |
| ✓ Color | ✓ Exfoliación |
| ✓ Raya o huella | ✓ Fractura |
| ✓ Brillo | ✓ Magnetismo |

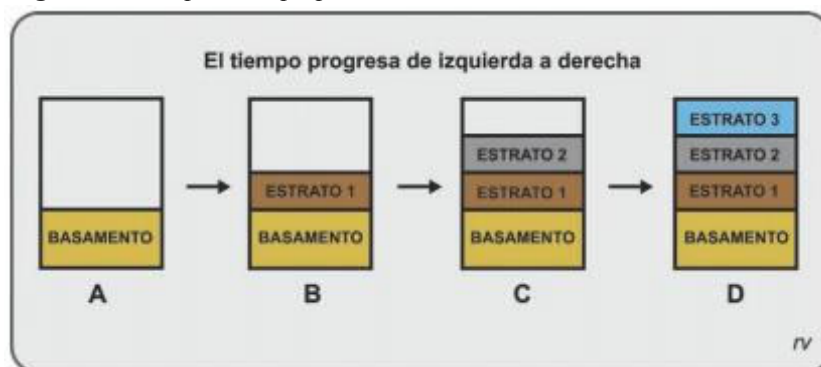
4.4. Estratigrafía

Estratigrafía se define como el estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias, que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación, tanto de los materiales como de los sucesos, y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos (Corrales et al, 1977).

El ordenamiento de las rocas de la litosfera por su antigüedad comenzó tempranamente en la práctica de la geología, con el enunciado y uso de simples leyes o principios que se menciona a continuación:

- **Principio de Superposición:** Las observaciones de Nicholas Steno (1669) en el Norte de Italia, le permitieron establecer este principio. El mismo que en una sucesión estratificada no deformada, un estrato dado es más joven que su adyacente y más antiguo que el que se le sobrepone.

Figura 6. Principio de superposición.

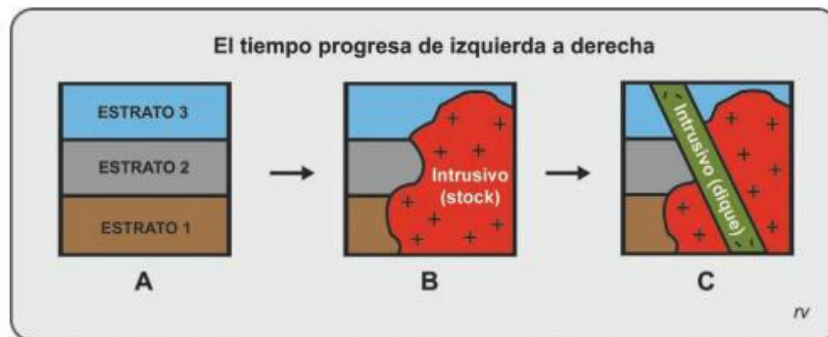


Fuente: Varela (2014)



- **Principios de Relaciones de Corte:** El primero “permite relacionar cuerpos de rocas ígneas con su encajonante, al establecer que si un cuerpo de roca corta a otro es más joven que el cuerpo cortado” (Varela, 2014, p. 88).

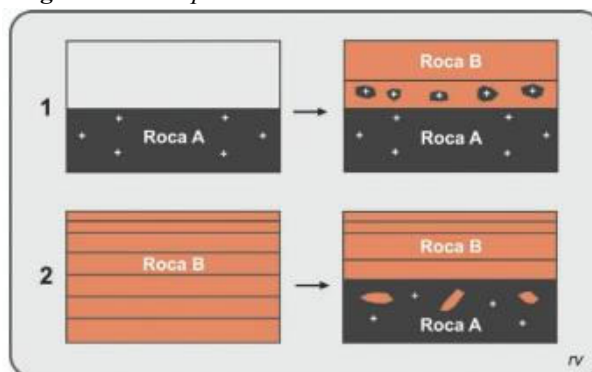
Figura 7. Principio de relaciones de corte



Fuente: Varela (2014)

- **Principio de inclusión:** “Alude a la mayor antigüedad de un cuerpo de roca que aporta fragmentos que se incorporan en un cuerpo de roca en formación” (Varela, 2014, p. 88).

Figura 8. Principio de inclusión

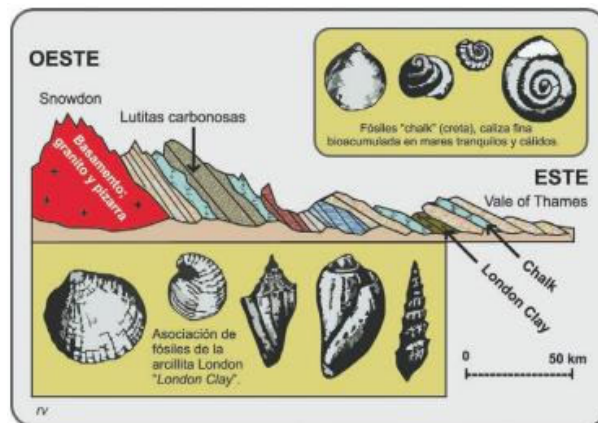


Fuente: Varela (2014)

- **Principio de la Sucesión de Faunas:** Surgió en Inglaterra, por las observaciones de William Smith (1769-1839), en las obras de construcción de canales que atraviesan sucesiones sedimentarias. Smith demostró que hay cambios en las formas de vida fósil presentes en la sucesión de estratos de Gran Bretaña, los que ocurren en un orden vertical definido e invariable, en columnas estratigráficas de diferentes lugares y aún de diferentes litologías. Por lo tanto, la edad relativa de las rocas puede ser determinada por su contenido fosilífera. (Varela, 2014, p. 89).



Figura 9. Principio de la sucesión de faunas



Fuente: Varela (2014)

4.4.1. Unidades estratigráficas

Navarrete (2017) define a una unidad estratigráfica como un estrato o conjuntos de estratos adyacentes susceptibles de reconocerse en su conjunto como una unidad (o entidad característica) en la clasificación de la sucesión estratigráfica de la tierra, respecto a algunas de las numerosas características, propiedades o atributos que las rocas poseen (p. 42).

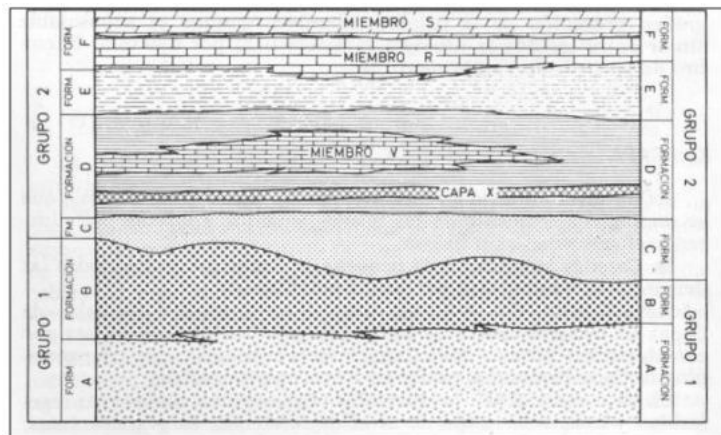
4.4.1.1. Unidades litoestratigráficas.

Son un conjunto de estratos en los que predomina una determinada litología que se diferencia de las adyacentes. Están formadas por cualquier tipo de sedimento o roca sedimentaria, y también por cualquier roca ígnea o metamórfica que cumpla el principio de superposición de estratos (Navarrete, 2017, p.43).

El mismo autor argumenta que las unidades litoestratigráficas 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, los límites deben tomarse en zonas donde haya un límite o cambio neto en la litología o del rasgo que define la unidad.

Las unidades litoestratigráficas se jerarquizan, de mayor a menor: Grupo – Formación – Miembro – Capa.

Figura 10. Unidades litoestratigráficas y sus relaciones



Fuente: Corrales (1977)

– Formación

Es la unidad litoestratigráfica fundamental. Es la que se suele encontrar en mapas, y es básica para la reconstrucción de la historia. Es una unidad que agrupa un conjunto de estratos con una determinada litología o conjunto de litologías, que permite diferenciarla de los adyacentes. Para su descripción no hay que tener en cuenta la potencia, pero se considera que debería tener una escala cartografiable (escala del mapa 1:25000 y 1:50000).

– Grupo

Son unidades de rango superior, que agrupan dos o más formaciones sucesivas con rasgos litológicos comunes. Muchos grupos corresponden a materiales donde era difícil la separación de las formaciones. Cuando sea necesaria una jerarquización más completa, se pueden utilizar los términos de Subgrupo - Grupo - Supergrupo.

– Miembro

Es la unidad litoestratigráfica de orden inmediatamente inferior a la formación. Se le reconoce por poseer un especial carácter litológico que le distingue del resto de la formación. Su extensión lateral y su espesor tienen que estar comprendidos dentro de la unidad de orden superior, dentro de la formación. No siempre una formación tiene que estar dividida en miembros.

– Capa

Son estratos, cuyo espesor puede variar de un centímetro hasta pocos metros, con características litológicas muy peculiares y fácilmente diferenciables. La delimitación de capas no implica la división completa de la formación (o miembro) en capas



diferenciables, sino que se refiere exclusivamente a niveles muy concretos dentro de las unidades de rango mayor.

– **Complejo**

Se utiliza para definir un conjunto de materiales de litologías diversas en las cuales es muy difícil definir otro tipo de unidades debido a una gran complejidad tectónica que enmascara la ordenación. Conjunto de materiales de litologías variadas, que no pueden separarse netamente entre sí.

4.5. Cartografía

Joly (1979) afirma que la cartografía comprende el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de las observaciones directas o de la explotación de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como en su utilización (p. 4).

Para la elaboración de un mapa es necesario conocer al menos cuatro cosas: el plano, las formas de implantación, las variables visuales, el nivel de organización de la información y los elementos constitutivos del mapa.

4.5.1. Mapeo geológico

Muthoni (2010) define a mapeo geológico como el proceso de seleccionar un área de interés y de identificar todos los aspectos geológicos presentes con el propósito de preparar un reporte y mapas geológicos detallados cuya finalidad dependerá de la exactitud y precisión del trabajo de campo.

4.5.1.1. Tipos de mapa geológicos.

Según Barnes y Lisle (2003) los mapas geológicos se dividen en cuatro grupos principales: mapas de reconocimiento; mapas regionales; mapas a gran escala de zonas limitadas; y mapas para fines especiales.

Los mapas geológicos de reconocimiento se realizan para cubrir grandes áreas volcando la mayor información geológica posible en el menor tiempo. Son generalmente hechos a escala de 1:250.000 o más pequeñas. Se pueden elaborar a partir de fotointerpretación o del análisis de imágenes satelitales, con un mínimo de control de campo, solo para identificar tipos litológicos y las principales características estructurales.

4.5.1.2. Unidades de mapeo.

Echeveste (2018) manifiesta que en el caso de comenzar el mapeo con la interpretación en el gabinete de un mapa base constituido por fotos aéreas o imagen de satélite, las



unidades de mapeo podrán definirse tempranamente de acuerdo a las características de tono, textura o color que distinga una de otras. Los nombres de estas unidades serán provisorios, hasta el chequeo de la interpretación en el campo. En algunos casos, y con algo de experiencia, el intérprete podrá distinguir los tipos de rocas principales (sedimentarias, ígneas o metamórficas), y una cuidadosa revisión bibliográfica y cartográfica-geológica, posiblemente permita distinguir formaciones definidas en trabajos previos que incluyan el área de mapeo.

Una vez en el campo, las unidades que se representarán en el mapa pueden ser formales o informales. Las unidades formales (Supergrupo, Grupo, Formación, Miembros, Estrato o Colada) son aquellas que han sido definidas en trabajos de mapeo previos (p.167).

4.5.1.3. Métodos de mapeo.

– Mapeo de contactos

Echeveste (2018) alega que la ubicación de contactos entre unidades litológicas o formaciones constituye el objeto principal del levantamiento geológico. El mapeo de contactos es el método empleado en los mapeos regionales, de escala pequeña a intermedia, 1:20.000 y más pequeña; consiste en volcar en el mapa la traza de los contactos entre las distintas unidades de mapeo en su intersección con la superficie topográfica. Una de las características más importante de este método es que no se tienen en cuenta la cobertura superficial, es decir se vuelca en el mapa la litología que subyace a los depósitos superficiales (p. 168).

– 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. Es el estilo de mapa más común en la exploración minera. Muchos terrenos están compuestos de exposiciones de rocas más o menos dispersas separadas por zonas cubiertas por depósitos superficiales, vegetación, hielo, agua, etcétera. En este método, el geólogo debe examinar tantas exposiciones como sea posible. La extensión de cada afloramiento, o el grupo de afloramientos, se indica en el mapa de campo con el lápiz de color apropiado para ese tipo de roca o formación (Echeveste, 2018, p. 172).

– Mapeo por perfiles

En el mapeo por perfiles Echeveste (2018) manifiesta que se suele adoptar este método para el mapeo de reconocimiento de grandes regiones, a escalas relativamente pequeñas



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

El mapeo por perfiles implica simplemente levantar la geología mientras se camina a lo largo de una ruta predeterminada. Los contactos y otros rasgos geológicos serán extrapolados entre las observaciones realizadas en perfiles contiguos.

4.5.1.4. Elaboración de mapas geológicos.

En el Manual de Geología Estructural, Camargo (2004) afirma que los mapas geológicos se elaboran sobre un mapa topográfico y en ellos se muestran mediante símbolos y convenciones, entre otra, 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, 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 acumulaciones de sedimentos recientes. Para facilitar su lectura, todos los mapas geológicos se dibujan con tramas distintivas para las diferentes litologías o se colorean con tonos internacionalmente convenidos para las diferentes edades de las rocas (p. 23).

Los mapas geológicos van acompañados de una columna estratigráfica generalizada y de uno o varios perfiles geológicos, construidos 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 una región.

Se elaboran en las mismas escalas que los mapas topográficos; las escalas 1:50.000 y 1:25.000 son las más utilizadas en la exploración de yacimientos de hidrocarburos y de agua subterránea y los mapas de escalas mayores son utilizados en prospección minera, estudios ambientales y en diseño de obras de ingeniería civil.

4.5.2. Perfiles o cortes geológicos

Un perfil o corte geológico puede definirse como una sección vertical o perfil interpretativo de la geología superficial, para cuya realización se utilizan los datos obtenidos en el terreno. Es decir, un corte geológico es la interpretación de la información



geológica disponible de una zona, representada en un corte o sección (Navarrete, 2017, p. 208).

4.5.2.1. Construcción.

El mismo autor manifiesta que para construir o realizar un corte geológico se emplea la misma técnica que para realizar un perfil topográfico. Se parte de un mapa geológico en el que se traza el corte a realizar:

- 1) Realizar el perfil topográfico de la línea de corte. Este perfil es el límite superior del corte geológico.
- 2) La línea del perfil corta los diferentes elementos estructurales representados en el mapa, ya sean contactos entre materiales, planos de falla, o planos axiales de pliegues.
- 3) Se proyecta sobre el perfil topográfico las intersecciones de nuestra línea de corte con los diferentes elementos estructurales.
- 4) Pintar los elementos estructurales más importantes como plano de fallas, discordancias o planos axiales de pliegues. Normalmente, estos elementos son planos, así que en nuestro corte estarán representados por líneas. Estas líneas deben pasar por los puntos de intersección correspondientes definidos sobre el perfil topográfico, y deben dibujarse con el ángulo de buzamiento correspondiente a cada una de esas estructuras.
- 5) Pintar los contactos concordantes entre los diferentes materiales (planos de estratificación). Se sigue el mismo proceso utilizado en el trazado de las estructuras: se traza una línea, con el ángulo de buzamiento adecuado, que pase por la intersección definidas en el perfil topográfico. Todas las líneas que se trazan deben tener estilo geológico, es decir trazarlas a mano y evitar los trazos completamente rectos.
- 6) Rellenar con tramas y colores las superficies definidas en el corte en función del tipo litológico y edad correspondiente.
- 7) Recordar que el corte, siempre debe presentar la orientación del mismo, la escala tanto vertical como horizontal y la leyenda donde se muestren los colores y símbolos utilizados.



4.5.3. Columna estratigráfica

Es una representación utilizada en geología para describir la ubicación vertical de unidades de roca en un área específica. Una típica columna estratigráfica muestra una secuencia de rocas sedimentarias, con las rocas más antiguas en la parte inferior y las más recientes en la parte superior (Navarrete, 2017, p. 210).

Existen numerosas formas de construir una columna estratigráfica, ya sea por medio de un estilo propio, modelo de algún autor, etc. En la actualidad también se puede representar una columna estratigráfica por medio de distintos softwares almacenados en la web.

Así mismo Navarrete (2017) manifiesta que para la construcción de una columna estratigrafía es fundamental los siguientes parámetros sedimentológicos:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| ✓ Litología | ✓ Clasificación o selección |
| ✓ Color | ✓ Naturaleza de los clastos |
| ✓ Diámetro máximo de clastos | ✓ Estructuras sedimentarias |
| ✓ Textura | ✓ Forma |
| ✓ Superficies erosivas | ✓ Paleocorrientes o contenido fósil |

4.6. Sistemas de Información Geográfica

Olaya (2011) afirma que “SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos” (p.8). En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

– Funcionamiento

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de los mapas digitales. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

– La representación de datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos



discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG:

a) Raster

Un tipo de datos raster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas. El modelo de SIG raster o de retícula se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio.

b) Vectorial

En un SIG, las características geográficas se expresan con frecuencia como vectores, manteniendo las características geométricas de las figuras.

En los datos vectoriales, el interés de las representaciones se centra en la precisión de la localización de los elementos geográficos sobre el espacio y donde los fenómenos a representar son discretos, es decir, de límites definidos.

4.6.1. Fotointerpretación

Según Camargo (2004), la fotointerpretación “consiste en determinar el significado de los diferentes rasgos del terreno a partir de la observación de tonos, patrones, formas y otras características de las fotografías aéreas” (p.137).

La técnica de la fotointerpretación permite elaborar mapas geológicos de áreas extensas de la superficie terrestre, en corto tiempo y bajo costo.

4.6.1.1. Ventajas del uso de fotografías aéreas.

Por otro lado, Camargo (2004) afirma que las ventajas del uso de fotografías aéreas son las siguientes:

- **Vista sinóptica:** permite la observación instantánea de un área muy extensa comparativamente con la observación visual que se obtiene en el terreno.
- **Precisión:** el mapeo de pliegues y fallas sobre fotografías aéreas es más preciso y objetivo, que el mapeo de estructuras con base sólo en observaciones de campo.
- **Reducción de escala:** hace visibles ciertos rasgos que no pueden ser observados en el terreno, porque el tamaño del rasgo geológico es demasiado grande con relación al campo de vista del ojo / humano, lo que hace que la información obtenida en el terreno sea fragmentada; por ejemplo, las grandes fallas de la



corteza terrestre se identifican mejor en fotos aéreas tomadas a gran altura o en imágenes de satélite.

- **Exageración vertical:** hace más visible los rasgos estructurales y topográficos en terrenos con relieve muy suave a plano.
- **Efecto de sombras:** resalta los rasgos estructurales y los lineamientos de fallas; este efecto es muy valioso, especialmente en terreno relativamente plano.



5. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para llevar a cabo el presente trabajo investigativo hace necesario la obtención, procesamiento y representación de información, para lo cual se utilizó una variedad de materiales de campo y gabinete que se detallan a continuación:

Materiales de campo:

- | | |
|------------------------------------|--|
| ✓ Martillo geológico | ✓ Etiquetas para muestras |
| ✓ Brújula Brunton | ✓ Fundas Ziploc |
| ✓ GPS (Garmin, modelo Oregon 550t) | ✓ Botiquín |
| ✓ Distanciómetro | ✓ Fichas de descripción de afloramientos |
| ✓ Cinta métrica (100m) | ✓ Ficha de descripción macroscópica de rocas |
| ✓ Lupa geológica (10x & 20x) | ✓ Hoja geológica de Loja, escala 1:100000, 2017 |
| ✓ Lápiz magnético – rayador | ✓ Mapa geológico de la República del Ecuador, escala 1:1000000, 2017 |
| ✓ Escalímetro | ✓ Carta topográfica de Catamayo, escala 1:50000, 2013 |
| ✓ Ácido clorhídrico | ✓ Carta topográfica de Santiago, escala 1:50000, 2013 |
| ✓ Colores | |
| ✓ Lápiz, borrador | |
| ✓ Marcador indeleble | |
| ✓ Rapidógrafo | |
| ✓ Esferográficos | |
| ✓ Escuadras | |
| ✓ Libreta de campo | |
| ✓ Cámara fotográfica | |

Materiales de gabinete:

- | | |
|--|---|
| ✓ Ortofotos, escala 1:5000, 2011 (NVI-F3a-C1 a NVI-F3a-C4, NVI-F3b-A1 a NVI-F3b-A4, NVI-F3b-B1 a NVI-F3b-B3, NVI-F3a-F1, NVI-F3a-F2, NVI-F3b-D1, NVI-F3b-D2) | ✓ Computador portátil |
| | ✓ Impresora |
| | ✓ Copiadora |
| | ✓ Hoja geológica de Loja, escala 1:100000, 2017 |



- | | |
|--|-------------------------|
| ✓ Mapa geológico de la República del Ecuador, escala 1:1000000, 2017 | ✓ Microsoft Power Point |
| ✓ Carta topográfica de Catamayo, escala 1:50000, 2013 | ✓ Google earth |
| ✓ Carta topográfica de Santiago, escala 1:50000, 2013 | ✓ Google Maps |
| ✓ Microsoft Word | ✓ AutoCAD 2014 |
| ✓ Microsoft Excel | ✓ ArcGIS 10.4 |
| | ✓ SedLog |

Metodología

Con el fin de dar cumplimiento al presente proyecto de investigación, se siguió de manera sistemática la metodología que se detalla a continuación:

- ***Fase de preparación***

Esta fase consistió en la recopilación y análisis de información bibliográfica y cartográfica, la cual permitió conocer de forma general la zona de estudio y la confección de mapas preliminares: ubicación, topográfico, hidrográfico, de pendientes y geomorfológico; en base a información proporcionada por las siguientes fuentes:

- a) Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE)
- b) Instituto geográfico militar (IGM)
- c) Ministerio de Agricultura y Ganadería
- d) Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja, actualización 2014 – 2022
- e) Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Chuquiribamba, actualización 2014 – 2019

Asimismo, esta fase incluyó la socialización del proyecto con el presidente de la junta parroquial de Chuquiribamba, para que este a su vez haga de conocimiento público el motivo de la presencia en la parroquia durante el levantamiento de información, esto con la finalidad de no tener inconvenientes con los moradores del sector.



- **Metodología para el primer objetivo**

“Identificar y definir la litología y estructuras geológicas presentes en la zona de estudio”

El análisis geológico – estructural de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba se lo realizó en base a la metodología propuesta por López Vergara, en su Manual de fotogeología publicado el año 1971.

Para dar cumplimiento a este objetivo se inició con la creación de un mosaico a partir de 15 ortofotos a escala 1:5000 del año 2011, proporcionadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, y posterior a ello se realizó la superposición de la información topográfica e hidrográfica a escala 1:25000 generada inicialmente en la fase de preparación, creando así, una base para la fotointerpretación de las principales estructuras geológicas (pliegues, fallas, etc.) e información litológica de la zona sur de Chuquiribamba. Cabe recalcar que se utilizó como guía la siguiente información:

- ✓ Hoja geológica de Loja, escala 1:100000, 2017
- ✓ Mapa geológico de la República del Ecuador, escala 1:1000000, 2017
- ✓ Carta topográfica de Catamayo, escala 1:50000, 2013
- ✓ Carta topográfica de Santiago, escala 1:50000, 2013

La fotointerpretación geológica – estructural consistió en la definición de contactos y estructuras geológicas, mediante un análisis minucioso de los siguientes parámetros:

- *Análisis del tono y vegetación.* - se analizó los tonos y texturas de las ortofotos relacionándolos a las litologías existentes en la zona, además de considerar el tipo de vegetación, uso de suelo, presencia de agua y humedad de la zona de estudio, puesto que son factores determinantes al momento de definir un tipo de litología.
- *Análisis topográfico.* – se realizó en base al levantamiento topográfico a escala 1:25000 generada en la fase de preparación a partir modelos digitales del terreno (MDT) que cuentan con una resolución espacial de 3 m, proporcionados por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) e información brindada por el Municipio de Loja.
- *Análisis de unidades geomorfológicas.* – se analizó a partir de la información expuesta por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) en el Mapa Geomorfológico Nacional, a escala 1:25000 del año 2018.



- *Análisis de red de drenaje.* - en esta fase se consideró principalmente el análisis de los patrones, densidad y uniformidad de la red de drenaje, considerando que la litología, estructuras y topografía producen cambios e influyen directamente en la red de drenaje.
- *Análisis de control litológico.* – se llevó a cabo mediante la digitalización de contactos litológicos en base el análisis en conjunto de los criterios anteriormente mencionados, los cuales posteriormente, mediante el levantamiento de información en campo serán corroborados.
- *Análisis de control estructural.* – esta fase consistió en el análisis de los rasgos morfológicos de la superficie terrestre, la disposición de la vegetación, escarpes de falla, red de drenaje y demás parámetros que dan lugar a estructuras plegadas, fallas, fracturas, diaclasas, etc.

Una vez realizado el análisis geológico – estructural, se establecieron zonas de interés geológico para la toma de muestras de roca y determinar los sitios de recorrido óptimos para realizar el levantamiento de la zona de estudio de forma segura y organizada. El levantamiento de información se lo realizó mediante el mapeo de contactos, empleado para escalas de trabajo intermedia, y el cual según Echeveste (2018), consiste en la ubicación de contactos entre unidades litológicas o formaciones mediante el levantamiento de un afloramiento por km². La zona de estudio abarca un área de 35,66 km² por lo que se planteó inicialmente 35 puntos de mapeo, sin embargo, se hizo necesario la toma de más puntos para que la corroboración de los contactos litológicos y estructuras geológicas sea aún más eficaz.

Establecidos los puntos de mapeo se realizó recorridos de campo para el levantamiento de la información, misma que se obtuvo mediante el mapeo de afloramientos, que correspondió en la visualización del afloramiento y la descripción de su ubicación, dimensiones, tipo de afloramiento, grado de meteorización y toma de datos estructurales. Toda esta información se recolectó en una ficha de descripción de afloramientos que se muestra a continuación:



Ficha 1. Descripción de afloramientos

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
INFORMACIÓN GENERAL						
AFLORAMIENTO N°				FECHA:		
RESPONSABLE:						
MUESTRA:						
INFORMACIÓN DE UBICACIÓN						
PROVINCIA:		DATUM	WGS84		VÍA DE ACCESO	
CANTÓN :			PSAD56			
PARROQUIA:		COORDENADAS UTM	X	Y	Z	
SECTOR:						
DIMENSIONES		DATOS ESTRUCTURALES		TIPO DE AFLORAMIENTO		
ALTO:		RUMBO:		NATURAL		
LARGO :		BUZAMIENTO:		ANTRÓPICO		
SITUACIÓN GEOLÓGICA						
FORMACIÓN:		AMBIENTE	IGNEO			
TIPO DE ROCA:			METAMÓRFICO			
ESTADO DE ALTERACIÓN:			SEDIMENTARIO			
FOTOGRAFÍA				DESCRIPCIÓN		
OBSERVACIONES						

Fuente: Montaña (2020)

- **Metodología para el segundo objetivo**

“Caracterizar petrográficamente a nivel macroscópico, las litologías encontradas en el sector.”

Para el cumplimiento del segundo objetivo se tomaron muestras de mano representativas de cada unidad litológica y se caracterizaron macroscópicamente con la ayuda de rayador, ácido clorhídrico, lupa, escalímetro, entre otros. Cabe mencionar que



para la clasificación rocas ígneas se utilizó el Diagrama de Streckeisen (QAPF) y la clasificación de Schmidt (1981) para rocas piroclásticas.

Esta información se recogió en la siguiente ficha de descripción macroscópica:

Ficha 2. Descripción macroscópica de rocas

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FICHA DE DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS	
INFORMACIÓN GENERAL			
MUESTRA N°			
RESPONSABLE:			
FECHA:			
INFORMACIÓN DE UBICACIÓN			
COORDENADAS	x:	Ubicación geográfica	Acceso
	y:		
	z:		
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA		FOTOGRAFÍA	
Color			
Textura			
Estructura			
Tamaño de grano			
Estado de roca			
CONTENIDO MINERALÓGICO			
Minerales Principales			
Minerales Secundarios			
Minerales Accesorios			
Nombre de Roca			
Observaciones		Análisis de laboratorio	
		Láminas delgadas	

Fuente: Montaña (2020)

- **Metodología para el tercero objetivo**

“Elaborar el mapa geológico-estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba.”

Se realizó la representación de la información recolectada en el campo a través del Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.4) y otros softwares afines. Esta fase además comprendió las siguientes etapas:



- a) Digitalización y redefinición de las unidades litológicas y estructuras geológicas determinadas en la fotointerpretación y corroboradas con el trabajo de campo.
- b) Elaboración de mapa geológico estructural con la información obtenida durante el trabajo de campo y gabinete.
 - ✓ En las etapas de digitalización y elaboración de mapas temáticos, se utilizó el software ArcGIS. 10.4 aplicando la guía práctica de ArcGIS, elaborada por Collado, J. y Navarro J. en 2013.
- c) Elaboración de perfiles geológicos a fin de representar litologías, espesores y disposición espacial de las capas en el subsuelo.
 - ✓ Para la elaboración de perfiles geológicos se utilizó la metodología expuesta en el capítulo 2 del libro Mapas Geológicos (Explicación e interpretación) de Martínez J. (1981).
- d) Análisis e interpretación de resultados.
- e) Elaboración del informe final.

6. RESULTADOS

6.1. Descripción general del área de estudio

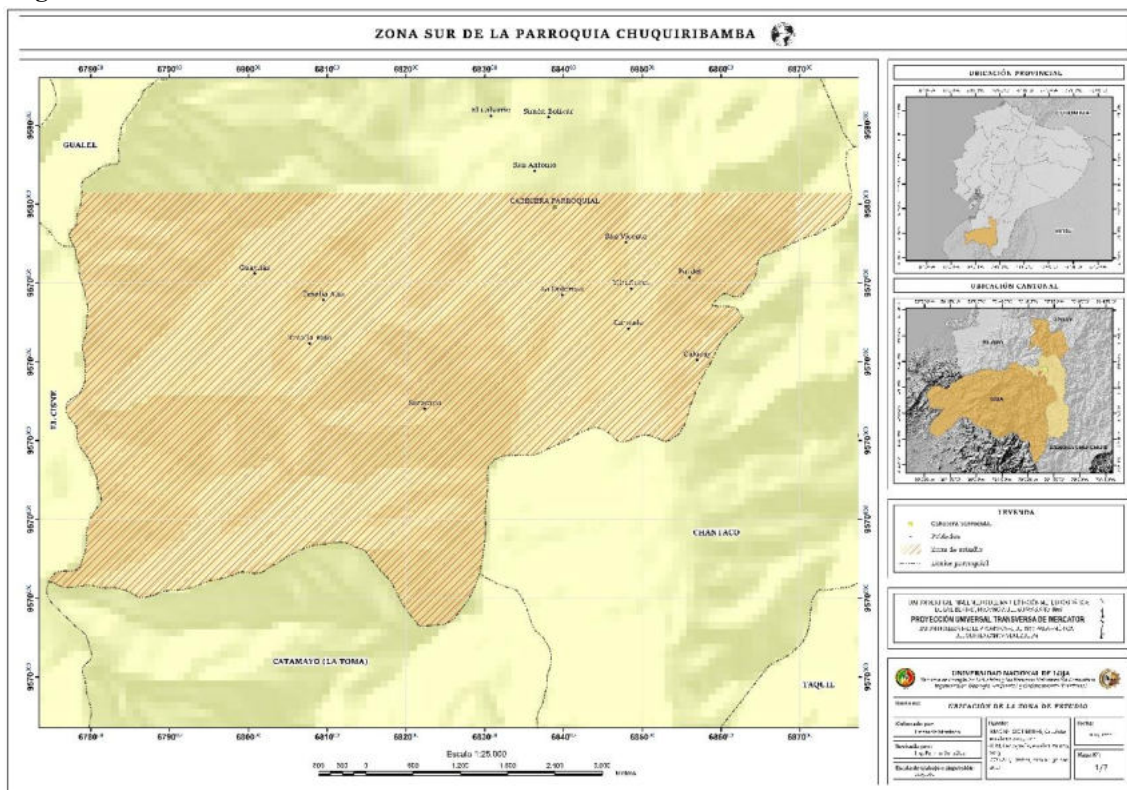
6.1.1. Ubicación

La parroquia Chuquiribamba, se encuentra ubicada en el Sur del Ecuador, en la provincia y cantón Loja, a 41 km de la cabecera cantonal hacia el Noroeste.

Políticamente limita al Norte con las parroquias Gualiel y Santiago; al Sur con la parroquia Chantaco y el cantón Catamayo; al Este con las parroquias Santiago y Chantaco y; al Oeste con la parroquia Gualiel y parroquia El Cisne.

La zona de estudio comprende específicamente la parte Sur de la parroquia Chuquiribamba que corresponde a un área de 35.66 km² (Véase Anexo 1), y cuyo polígono de estudio está limitado por las siguientes coordenadas con proyección UTM, Datum WGS84, Zona 17 Sur:

Figura 11. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: INFOPLAN (2018)
Elaborado por: Montaña (2020)



Tabla 1. Ubicación de la zona de estudio.

x	y
677881	9575150
687654	9575149
685935	9573722
685336	9572056
683083	9571734
682432	9569678
681096	9570711
677493	9570247
677687	9572434

Fuente: Montaña (2020)

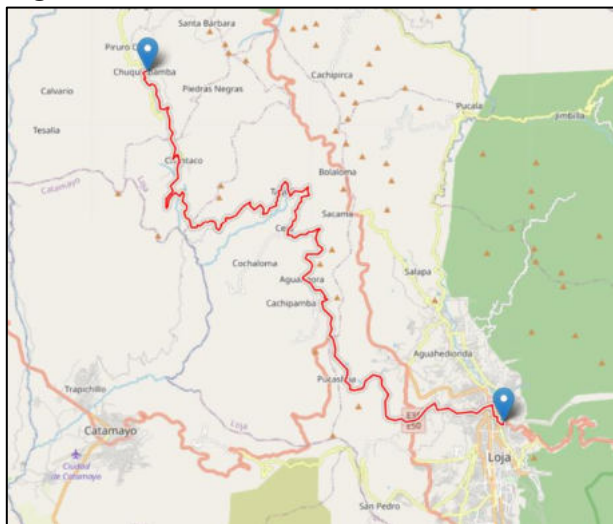
Elaborado por: Montaña (2020)

6.1.2. Acceso

El acceso a la zona de estudio se lo puede realizar mediante dos vías de transporte: aérea y terrestre. Por vía aérea se parte ya sea desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de la ciudad de Quito o del Aeropuerto Internacional José Joaquín del Olmedo ubicado en la ciudad de Guayaquil hasta el Aeropuerto Ciudad de Catamayo. En el cantón Catamayo por vía terrestre se dirige a la ciudad de Loja por la Troncal de la Sierra (E35), recorrido que comprende 34.3 km en un tiempo de 47 min. Una vez en la ciudad de Loja se dirige a la zona de estudio ya sea en transporte público o privado.

Por vía terrestre partiendo del Terminal Reina del Cisne de la ciudad de Loja, se lo realiza por la Troncal de la Sierra (E35) dirección Loja – Catamayo, en el km 11 se toma un desvío en dirección norte por la vía que comunica a las parroquias Taquil – Chantaco – Chuquiribamba - El Cisne, hasta finalmente en el km 41 llegar a la zona de estudio.

Figura 12. Acceso a la zona de estudio



Fuente: Google Maps

Elaborado por: Montaña (2020)



6.2. Descripción biofísica del área de estudio

6.2.1. Clima

La parroquia Chuquiribamba, posee un clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, cuyas temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 12 y 20 °C, variando en función de la altura y exposición, la humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 y el 85% y la duración de la insolación puede ir de 1000 a 2000 horas anuales. El rango de precipitación en la parroquia, fluctúa entre 800 mm a 1300 mm siendo el periodo en la que más se acentúa, los 4 primeros meses del año y el menos húmedo entre julio y septiembre (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chuquiribamba, 2014 – 2019).

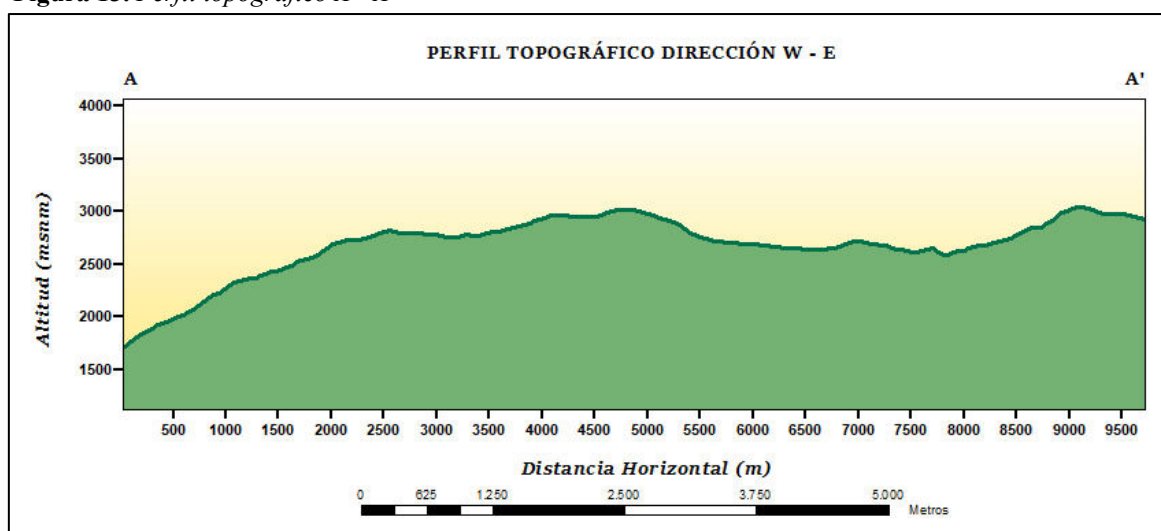
6.2.2. Topografía

La topografía se realizó a partir de modelos digitales del terreno (MDT) que cuentan con una resolución espacial de 3 m proporcionados por el Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) e información brindada por el Municipio de Loja, esta información permitió generar curvas de nivel cada 20 m, con una base topográfica a escala 1:25000 (*Véase Anexo 2*).

La zona de estudio se caracteriza por presentar una topografía irregular, cuyas altitudes varían desde los 1520 hasta los 3100 m.s.n.m.

A partir de la topografía del terreno se elaboró dos perfiles topográficos que servirán de base para la correlación con los perfiles geológicos.

Figura 13. Perfil topográfico A - A'

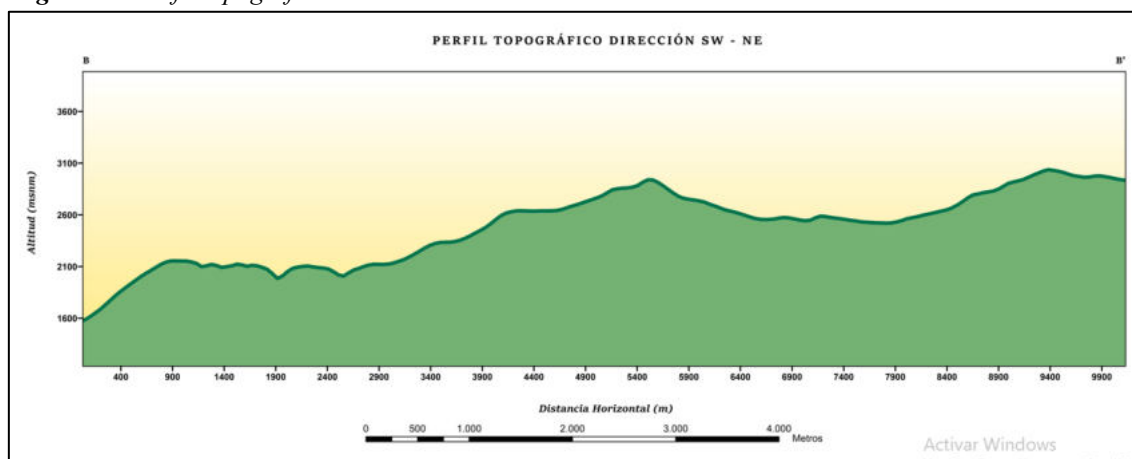


Elaborado por: Montaña (2020)



El corte A – A' se realizó de forma horizontal con dirección W – E, abarcando una extensión de 9759,09 m y una diferencia de 1340 m entre la cota mayor y menor.

Figura 14. Perfil topográfico B - B'



Elaborado por: Montaña (2020)

El corte B – B' se realizó de forma transversal con dirección SW – NE, abarcando una extensión de 10172,99 m y una diferencia de 1460 m entre la cota mayor y menor.

6.2.3. Hidrografía

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2014 – 2019), la Parroquia Chuquiribamba forma parte de la cuenca del río Catamayo Chira, en la parte noroccidental que comprende la zona 2, al igual que forma parte de la cuenca del río Santiago en la parte alta (cumbre de la montaña).

Al interior del territorio parroquial, cuenta con múltiples microcuencas especialmente en el sector oeste de la parroquia, que sirven para el abastecimiento de agua a la parroquia tanto para consumo humano como para uso en agricultura y ganadería.

La zona de estudio está caracterizada por un sistema de drenaje dendrítico que está controlado tanto por la litología como por los elementos estructurales presentes en el sector. De acuerdo al mapa hidrográfico (*Véase Anexo 3*) la zona sur de la parroquia Chuquiribamba está formada por ocho quebradas: Chilpa, Tabla, Pausinehe, Sayo, Tesalia, Uritu Huasir, Pordel y quebrada del Mior; siendo los principales ejes hidrográficos las quebradas Pordel y Tesalia por ser fuentes de agua para sistemas de riego y consumo de agua para los Barrios cercanos a sus vertientes. Toda esta red hidrográfica forma parte de la cuenca Catamayo – Chira cuyas aguas desembocan en el Océano Pacífico.



6.2.4. Pendiente

A través del procesamiento del modelo digital del terreno (MDT) en el software ArcGIS 10.4 se logró establecer un mapa de pendientes de la zona de estudio, las cuales han sido categorizadas según la clasificación en grados establecida por DEMEK (1972), obteniendo un total de 5 clases de pendientes, como se muestran a continuación:

Tabla 2. Clasificación de las pendientes en la zona de estudio

TÉRMINO DE PENDIENTE	RANGO	ÁREA (km ²)	PORCENTAJE (%)
Plano	0° - 2°	0.16	0.44
Ligeramente inclinado	2° - 5°	0.43	1.20
Fuertemente inclinado	5° - 15°	5.87	16.53
Muy inclinado	15° - 35°	21.91	61.64
Empinado	35° - 55°	7.17	20.19

Elaborado por: Montaña (2020)

De acuerdo al mapa de pendientes (*Véase Anexo 4*), la zona de estudio está constituida principalmente por pendientes muy inclinadas que van desde los 15° a 35°, distribuidas ampliamente por todo el territorio, ocupando una extensión de 21.91 km² que representa el 61.64 % del total del área de estudio; seguidamente tenemos pendientes empinadas cuyo ángulo va desde los 35° a 55°, mostrándose especialmente al oeste de la zona de estudio, donde ocupa 7.16 km² lo que representa un 20,19 % del territorio; otra de las pendientes representativas en la zona, son las pendientes fuertemente inclinadas que van desde los 5° a 15° ocupando un área de 5.87 km² y cuyo porcentaje es de 16.53 %. Finalmente tenemos pendientes planas y ligeramente inclinadas asociadas en su mayoría a depósitos coluviales y aluviales, abarcan un área no más de 1 km² siendo éstas las clases menos predominantes ya que representan el 0.44% y 1.20 % respectivamente del total de la zona de estudio.

6.2.5. Geomorfología

Chuquiribamba, al estar ubicado dentro de la geografía de la cordillera de los Andes, se caracteriza por estar compuesta de un relieve altamente irregular, con presencia de grandes montañas y quebradas profundas que conducen sus aguas hacia el río Gualiel al Oeste y al río Chantaco al Este.

Las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio de acuerdo al Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica



(SIGTIERRAS), escala 1.25000, año 2018; se evidencian en la Tabla 3 donde se encuentran ordenadas de mayor a menor cobertura.

Tabla 3. *Unidades geomorfológicas de la zona de estudio*

Unidades geomorfológicas	Área (km²)	Porcentaje
Relieve montañoso	28.77	80.67%
Relieve colinado alto	1.52	4.25%
Relieve colinado medio	1.21	3.38%
Relieve colinado muy alto	1.16	3.26%
Relieves escalonados	1.04	2.90%
Relieve colinado bajo	0.83	2.34%
Relieve colinado muy bajo	0.25	0.71%
Terraza media	0.17	0.48%
Glacis de esparcimiento	0.15	0.43%
Coluvión antiguo	0.12	0.35%
Coluvio-aluvial antiguo	0.11	0.32%
Superficie de cono de deyección antiguo	0.09	0.28%
Relieve ondulado	0.08	0.22%
No aplica	0.06	0.16%
Vertiente de cono de deyección antiguo	0.04	0.11%
Coluvión reciente	0.03	0.07%
Terraza baja y cauce actual	0.02	0.05%
Valle fluvial	0.01	0.02%

Fuente: SIGITERRAS (2018)
Elaborado por: Montaña (2021)

Conforme el mapa geomorfológico (*Véase Anexo 5*), la zona sur de la parroquia Chuquiribamba está caracterizada por un relieve montañoso, el cual presenta cimas agudas en su mayoría, asociadas a vertientes rectilíneas y cóncavas; aunque sobre las rocas de la Unidad Chigüinda y rocas Intrusivas se desarrollan también cimas redondeadas y vertientes mixtas e irregulares. Seguidamente tenemos como unidades geomorfológicas representativas de la zona; relieves colinado alto, relieves colinado medio, relieves colinado muy alto, relieves escalonados y relieve colinado bajo que representan el 4.25%, 3.38%, 3.26%, 2.90% y 2.34% respectivamente. Las demás unidades geomorfológicas, ocupan la diferencia del total de la zona de estudio.

6.3. Geología Regional

El marco geológico regional de la zona de estudio corresponde a la gran Cordillera de los Andes, que consiste de un basamento de rocas de bajo y alto grado metamórfico agrupadas en varios terrenos litotectónicos y de la cual dependen todas sus condiciones



orográficas, hidrográficas, climatológicas, biológicas y hasta las etnográficas en gran parte.

De manera regional se pudo evidenciar que las unidades del basamento metamórfico fueron sometidas al menos a dos eventos que han generado foliaciones regionales de rumbo andino con buzamientos verticales a subverticales y frecuentes subhorizontales, que sugieren la ocurrencia de cabalgamientos. Al noroeste las principales fallas tienen dirección N-S y se disponen a lo largo de los ríos Caña Brava y Gualiel, continuando por el borde occidental de la cuenca sedimentaria de Catamayo. Esta estructura probablemente constituye un segmento del sistema mayor de fallas Girón-Las Aradas.

Otras fallas importantes transpresionales o inversas son aquellas que han controlado la formación y desarrollo de la cuenca sedimentaria de Loja. Plegamientos significativos se localizan en la cuenca de Loja representados principalmente por el sinclinal de la parte oriental de la cuenca y otro que se identifica en el sector de Chuquiribamba, la Faja Occidental incluye los conjuntos oceánicos acrecionados y las rocas metamórficas del BAT, que están limitados por fallas de dirección NE-SO con cinemática de tendencia transpresiva o inversa. Algunos de estos segmentos serían la extensión la falla Piñas-Portovelo o de las fallas de Cola de Caballo descritas por Aspden y otros (1995).

En base a la información cartográfica del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), del año 2017 a escala 1:100000, destacan en la zona de estudio las siguientes unidades geológicas:

Unidad Loma Bernabé (Pc_{Lbe})

Se expone en la loma Bernabé y en la quebrada del mismo nombre (UT M: 681064E; 9587 220N) y en la vía Cuenca - Loja, (Tramo Bucashi-Santiago). Comprende andesitas negras a grises púrpuras, porfiríticas a microporfiríticas y brechas volcánicas andesíticas gris verdosas. Considerando las relaciones estratigráficas con las unidades adyacentes se infiere una edad paleocénica.

Unidad Gonzabal (Pc_{Gb})

Inicialmente cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997). Consiste de una secuencia volcánico sedimentaria, cuyos principales afloramientos se encuentran a lo largo de las vías Catamayo-Gonzabal y Taquil-Chantaco. La secuencia incluye tobas líticas, brechas, niveles conglomeráticos granodecrecientes con estratificación cruzada local y lavas andesito-basálticas subporfiríticas. La unidad se



encuentra en contacto fallado con la Unidad Chigüinda y subyace discordante a la Formación Catamayo y a las unidades oligocénicas, por lo que se infiere que es de edad paleocénica tardía.

Unidad Gualel (OGI)

Aflora a lo largo de la vía El Arí-Gualel (UT M: 680 582E; 9 581 079N). Está conformada por brechas piroclásticas, brechas andesíticas púrpuras; brechas volcánicas andesito-basálticas gris verdosas; lavas andesíticas y basálticas afaníticas púrpuras. A partir de las relaciones estratigráficas, se asume que la unidad es de edad oligocénica.

Unidad Tesalia (OTe)

Se expone en la parte alta de Chuquiribamba (UT M: 683 236E; 9 576 080N) y en los alrededores del poblado de Tesalia (UT M: 681 838E; 9 573 685N). Consiste de brechas y autobrechas volcánicas de composición básica a intermedia y lavas andesíticas afaníticas a porfíricas de colores gris verdoso y púrpura. Se encuentra en contacto discordante sobre la Unidad Gonzabal, mientras que al oeste sobreyace discordantemente a la Unidad Guayabal. Para esta unidad se estima una edad oligocénica.

Unidad Sayo Cruz (MSac)

Toma su nombre del cerro Sayo Cruz, (UT M: 688 300E; 9 575 200N) donde se encuentran los principales afloramientos. Consiste de volcanosedimentos retrabajados de grano fino, color blanco-amarillento con líticos de pómez, intercalados con capas de limolitas y lutitas. Además, se incluyen cuerpos riolíticos hipoabisales que morfológicamente resaltan como picos elevados y estructuras columnares. Se encuentra discordante sobre la Unidad Gonzabal y los sedimentos de la Formación Catamayo. Se infiere una edad miocénica a partir de correlaciones estratigráficas.

Deposito Coluvial (Qc)

En los sectores de Chuquiribamba, así como a l borde occidental y a l norte de la cuenca de Loja, predominan depósitos de avalanchas y “debrisslope” que presentan cantos y guijarros de rocas metamórficas en matriz arenosa. En los sectores de Pichic, Zañi y Palta se identificaron bloques de material riodacítico y volcánicos andesíticos porfíricos.

Granodiorita (G^{Gd})

El cuerpo de mayor extensión es el batolito de San Lucas cuya edad varía entre 66 y 51 Ma (Litherland y otros, 1994). Se expone en la parte centro norte del área y los mejores



afloramientos se presenta en la vía Cuenca - Loja entre los poblados San Lucas y Santiago. Este cuerpo granodiorítico muestra variaciones a granito, con textura fanerítica de grano medio a grueso, compuesto por plagioclasa, feldespato alcalino, cuarzo, biotita y menor hornblenda. Es frecuente la presencia de colgajos del basamento metamórfico.

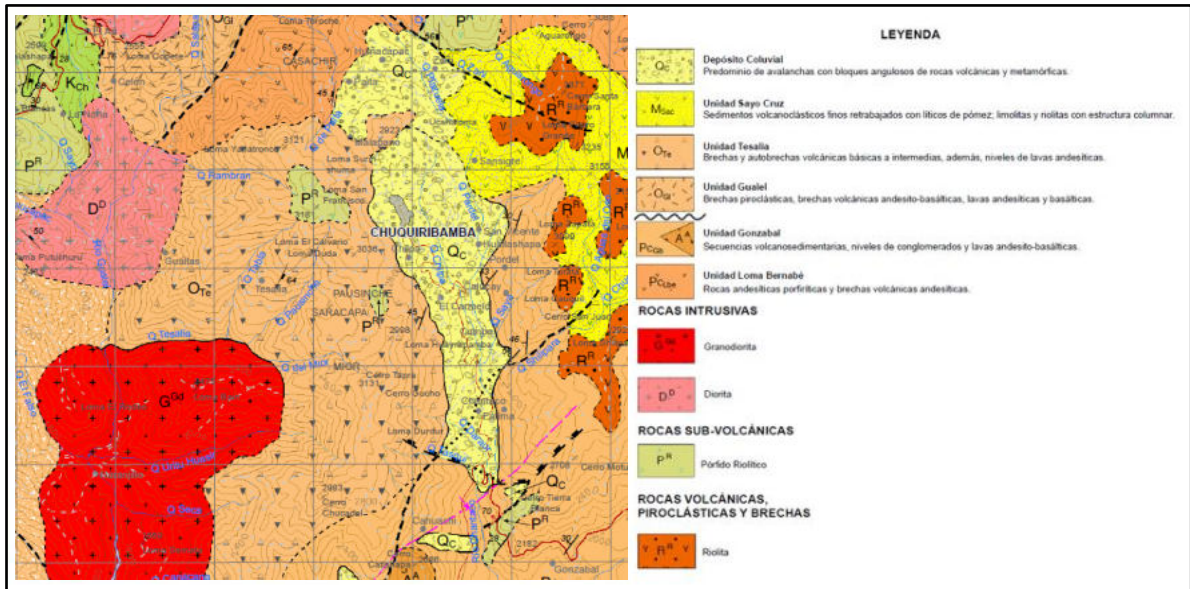
Diorita (D^D)

Constituyen intrusiones jóvenes que se distribuyen desde el centro al oeste del área, alrededor de la confluencia de los ríos Zamora y San Lucas, formando la loma Pucalá y en el río Ari (UT M: 677300E; 9 574600N). Presentan texturas faneríticas de grano fino a medio, con plagioclasa, hornblenda y a veces piroxeno. Aquellas de la zona noroccidental presentan localmente malaquita, a zurita y sulfuros de hierro-cobre.

Rocas volcánicas - Riolita

Rocas sub - volcánicas - Pórfido riolítico

Figura 15. Geología regional de la zona de estudio



Fuente: Adaptado de IIGE (2017)
Elaborado por: Montaña (2021)

6.4.Estratigrafía

La actividad volcánica del arco continental inicia en el Paleoceno con el denominado arco Sacapalca, que involucra a las unidades Changaimina, Loma Bernabé y Gonzabal. El batolito de San Lucas se interpreta como la expresión magmática del arco Sacapalca. El volcanismo continuó durante el Oligoceno con la generación de productos volcánicos y volcanosedimentarios de las unidades Gualel, Tesalia, Portovelo y Corral Viejo.



(Hungerbühler,1997). En el Mioceno medio, simultáneamente a la sedimentación en las cuencas, continúa el volcanismo evidenciado en las unidades Guayabal y Sayo Cruz.

Tabla 4. Síntesis estratigráfica de la zona de estudio

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDAD LITOLÓGICA	SIMBOLOGÍA
	Cuaternario		Depósitos Coluviales	QC
Cenozoico	Neógeno	Mioceno	Unidad Sayo Cruz	MSac
			Unidad Tesalia	OTe
	Oligoceno		Unidad Gualel	OGL
		Paleógeno		Unidad Gonzabal
	Paleoceno			Unidad Loma Bernabé

Fuente: Hoja geológica de Loja (2017)

Elaborado por: Montaña (2021)

6.5. Geología Local

El levantamiento geológico de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba, se realizó con el fin de corroborar las unidades litológicas definidas en la hoja geológica de Loja (2017) y caracterizar nuevas unidades que nos permitan comprender de mejor manera el comportamiento y evolución geológica del sector.

Considerando tanto el método y escala de mapeo, así como la extensión de la zona de estudio, se establecieron puntos de mapeo (*Véase Anexo 6*) y se realizó el levantamiento en campo de afloramientos representativos para cada unidad litológica (*Véase Anexo 7*) y consecutivamente se describió a nivel macroscópico las muestras de roca recolectadas para determinar el tipo, origen y clasificación (*Véase Anexo 8*).

Finalmente, mediante la compilación de datos geológicos obtenidos en campo y gabinete, se describen las siguientes unidades litológicas presentes en la zona de estudio:

- **Unidad Gonzabal (PCGb)**

La Unidad Gonzabal inicialmente fue cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997). Aflora principalmente en el sector Pordel y abarca una extensión de 2.39 km². Está constituida de una secuencia de lavas andesíticas (685621/9574050); (685411/9574582) y basálticas (685622/9573939) porfiríticas de



color gris claro a oscuro, tobas volcánicas (686204/9574991) y andesíticas (686569/9575014) variablemente metamorfizadas.

En el sector Pordel, aproximadamente a 310 m de la quebrada del mismo nombre UTM (685622/9573939), se expone un afloramiento con estructura de bloques irregulares compactos (mayores a 25 cm) mezclados dentro de lavas consolidadas. La litología corresponde a lavas basálticas formadas tras una erupción volcánica, es decir, cuando el magma ha sido expulsado por los aparatos volcánicos y entra en contacto con la temperatura ambiental enfriándose rápidamente y a escasa profundidad.

Debido a su composición máfica presentan una coloración gris oscuro a negras, de textura porfirítica con aproximadamente 70% de plagioclasas ricas en calcio, 20% de piroxenos, 5% de arcillas caoliníticas (feldespatos alterados) y 5% de minerales accesorios como la biotita y hornblenda; esta roca presenta oxidaciones de color café rojizo debido a la combinación de Óxidos de Hierro (Limonita) y Óxidos de Manganeseo. Los basaltos comúnmente son rocas de grano fino, pero en este caso se infiere que a causa de la diferente temperatura de cristalización de los minerales que componen la roca, se formaron minerales con granos de mayor tamaño sobre una masa de granos notablemente más fina, característica propia de una textura porfirítica (*Véase Fotografía 1*).

Fotografía 1. Lava basáltica, ubicada en el barrio Pordel



- | | |
|---|---|
| A: Cobertura vegetal | C: Lavas basálticas meteorizadas en una matriz limo – arenosa de coloración rojiza |
| B: Lavas basálticas compactas de coloración gris oscuro a negras | D: Material suelto |

Fuente: Montaña (2021)



En la fotografía 2, se observa un afloramiento ubicado en la parte alta del sector Pordel UTM (686569/9575014), el cual está constituido por tobas volcánicas redepositas de color pardo oscuro y textura afanítica, las cuales están formadas por fragmentos líticos < 2 mm manchado con pátinas de limonitas. Debido al intemperismo in situ, la roca ha sufrido meteorización física, química y biológica, permitiendo así que esta se disgregue en fragmentos de menor tamaño, lo cual facilita el transporte y erosión de las mismas.

Fotografía 2. Toba volcánica redepositada



A: Cobertura vegetal
B: Materia orgánica

C: Tobas volcánicas formadas por líticos < 2 mm

Fuente: Montaña (2021)

- **Unidad Tesalia (O_{Te})**

La Unidad Tesalia se encuentra ampliamente expuesta a lo largo del extremo nor – occidental y se extiende hacia el sur de la zona de estudio, abarcando así la mayor extensión de territorio con 18.19 km². Aflora en los sectores de su mismo nombre; Tesalia Alto, Tesalia Bajo; y los barrios Guayllas y Saracapa.

Está constituida principalmente por lavas andesíticas, brechas volcánicas, tobas riolíticas y tobas dacíticas, pero se puede encontrar en menor proporción andesitas basálticas y riolitas.

Lavas andesíticas

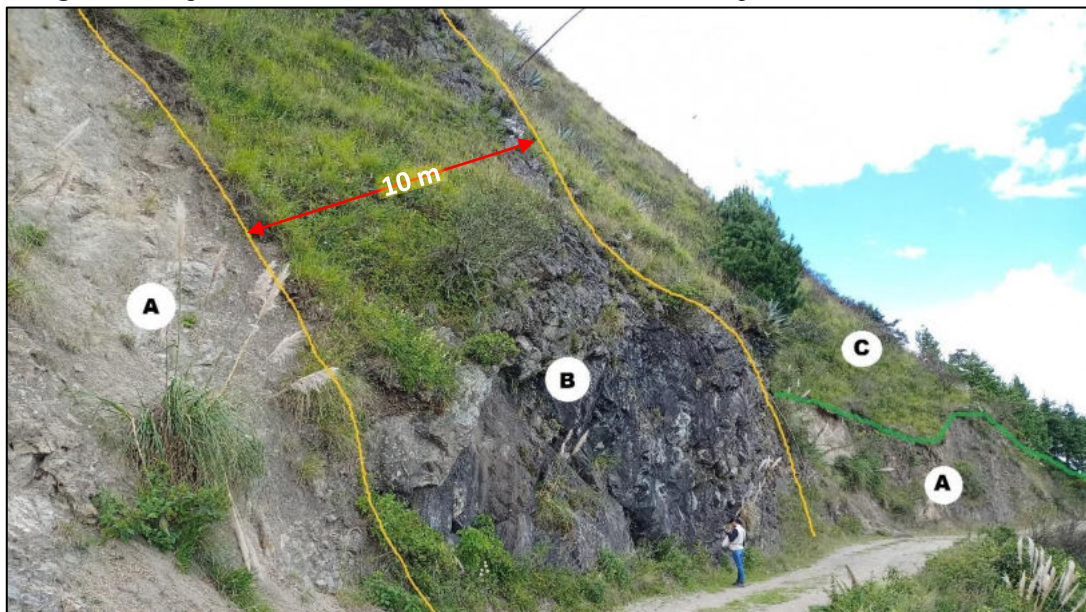
Se encuentran en las coordenadas UTM (681891/9571247); (681551/9571662); (681691/9571778); (681210/9573490), formando afloramientos cuya potencia va desde



los 4 hasta los 20 m de altura y con un grado de meteorización variable, de composición química intermedia, presentan coloraciones gris verdoso y gris oscuro, de textura afanítica a porfirítica, cuya composición mineralógica está caracterizada por minerales de hornblenda y piroxenos.

En el sector Bain, coordenadas UTM (681551/9571662), afloran lavas andesíticas de coloración gris verdoso y textura afanítica a fanerítica como roca constituyente de un dique de 30 m de longitud y una potencia aproximada de 10 m, su composición mineralógica comprende aproximadamente 45% de plagioclasas, 20% de piroxenos y 10% de hornblendas, como minerales secundarios 10% de cuarzo, biotita 5% y 10% de minerales accesorios tales como feldespatos potásicos y pátinas de limonita. Este cuerpo intrusivo tiene una dirección S72°E, 70° a 75° aproximadamente de inclinación y dirección de buzamiento NE, se encuentra atravesando una masa rocosa preexistente que indica que esta es más antigua a la roca en la cual está contenido. Cabe recalcar que las rocas que se encuentran alrededor del cuerpo ígneo corresponden a tobas dacíticas, las cuales se encuentran altamente meteorizadas y fracturadas debido al contacto producido entre estos (*Véase Fotografía 3*).

Fotografía 3. Dique oscuro de lava andesítica con una inclinación aproximada de 70° a 75°



- A:** Tobas dacíticas fracturadas y con un grado de meteorización variable debido al contacto producido con el cuerpo ígneo
- B:** Dique de lavas andesíticas altamente fracturadas, con una inclinación que oscila de 70° a 75° y potencia aproximada de 10 m
- C:** Cobertura vegetal

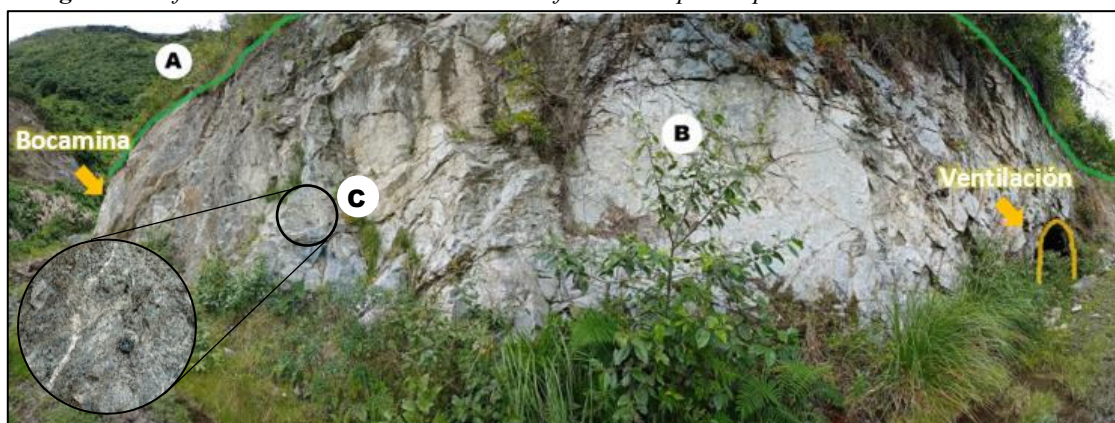
Fuente: Montaña (2021)



En las coordenadas UTM (681891/9571247), se observa un afloramiento de estructura masiva a fluidal con presencia de fracturas, formada por lavas andesíticas de coloración gris verdosa, textura porfirítica, compuesta mineralógicamente por aproximadamente 55% de plagioclasas, 15% de piroxenos y 10% de hornblendas, como minerales secundarios 15% de cuarzo, 2% de biotita y 3% de minerales accesorios tales como feldspatos potásicos. Como material de relleno en las fracturas de la roca encontramos cuarzo dispuesto en vetillas de aproximadamente 1 cm.

El afloramiento forma parte del área minera artesanal “Diamante” de la cual se extraía minerales metálicos como el oro (*Véase Fotografía 4*).

Fotografía 4. Afloramiento de estructura masiva a fluidal compuesto por lavas andesíticas



A: Cobertura vegetal

B: Lavas andesíticas de textura porfirítica

C: Vetillas de cuarzo de aproximadamente 1 cm de diámetro

Fuente: Montaña (2021)

Brecha volcánica

Una brecha volcánica se forma por fragmentos de rocas volcánicas que han sido cementadas por la lava de las erupciones cuya composición está determinada por el material mineral y la roca a partir de la cual se produjeron los fragmentos angulares, de igual manera ocurre con la matriz. A este tipo de litología no se la considera como roca sedimentaria ya que no ha sufrido algún proceso de erosión, transporte y sedimentación.

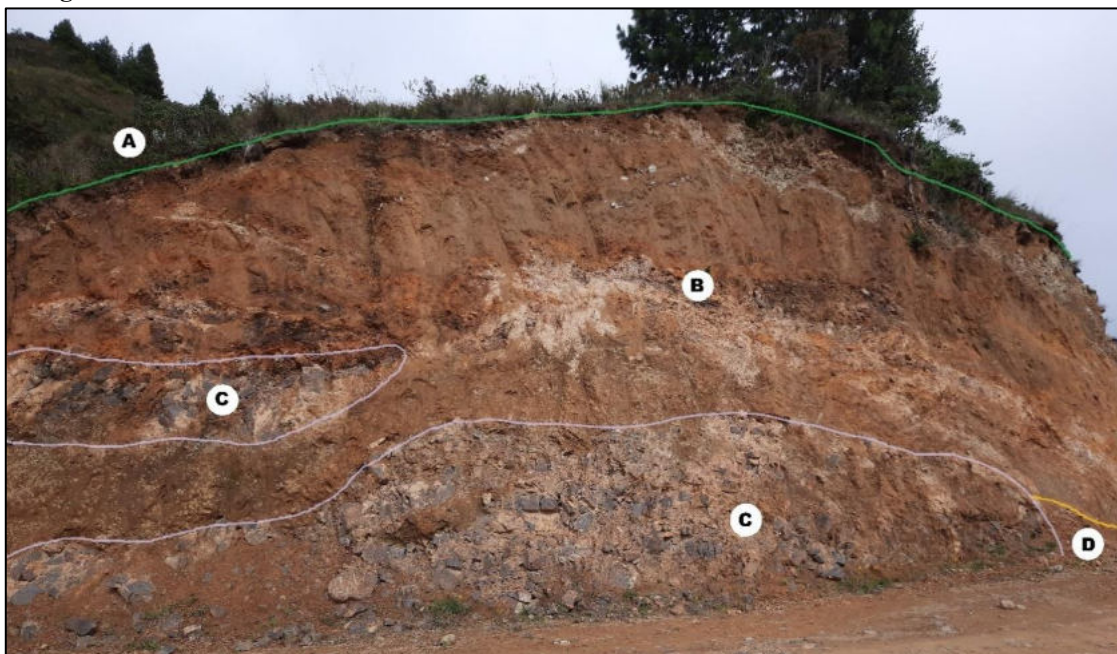
Se puede observar este tipo de rocas en las coordenadas UTM (682413/9573831) y (683019/9572559). A lo largo de la vía que conecta los barrios Tesalia Alto y Tesalia Bajo específicamente en las coordenadas UTM (682413/9573831) se observa un afloramiento que corresponde a una brecha volcánica constituida por clastos angulosos de varias litologías, heterométricos de tamaño superior a los 5 cm y soportados por una



matriz limo – arenosa de coloración rojiza debido al alto contenido de hierro. El pobre redondeamiento denota el escaso transporte y erosión que han sufrido.

De acuerdo al tamaño de los fragmentos se habla de una brecha piroclástica ya que está constituida principalmente por fragmentos de roca superiores a los 64 mm y un porcentaje menor de bloques con un diámetro aproximado de 80 cm.

Fotografía 5. Brecha volcánica



- | | |
|--|---|
| A: Cobertura vegetal | C: Clastos angulosos, con diámetros de 5 cm a 80 cm, soportados por una matriz limo – arenosa de coloración rojiza |
| B: Clastos altamente meteorizados soportados por una matriz limo – arenosa de coloración rojiza | D: Material suelto |

Fuente: Montaña (2021)

Tobas

La toba volcánica o tufo volcánico es un tipo de roca ígnea extrusiva, formada por la consolidación y litificación de productos volcánicos que han sido expelidos durante una erupción volcánica. Puede estar constituida por fragmentos de diferentes materiales, por lo que podemos encontrar tobas de color, textura y composición variable.

Tobas dacíticas

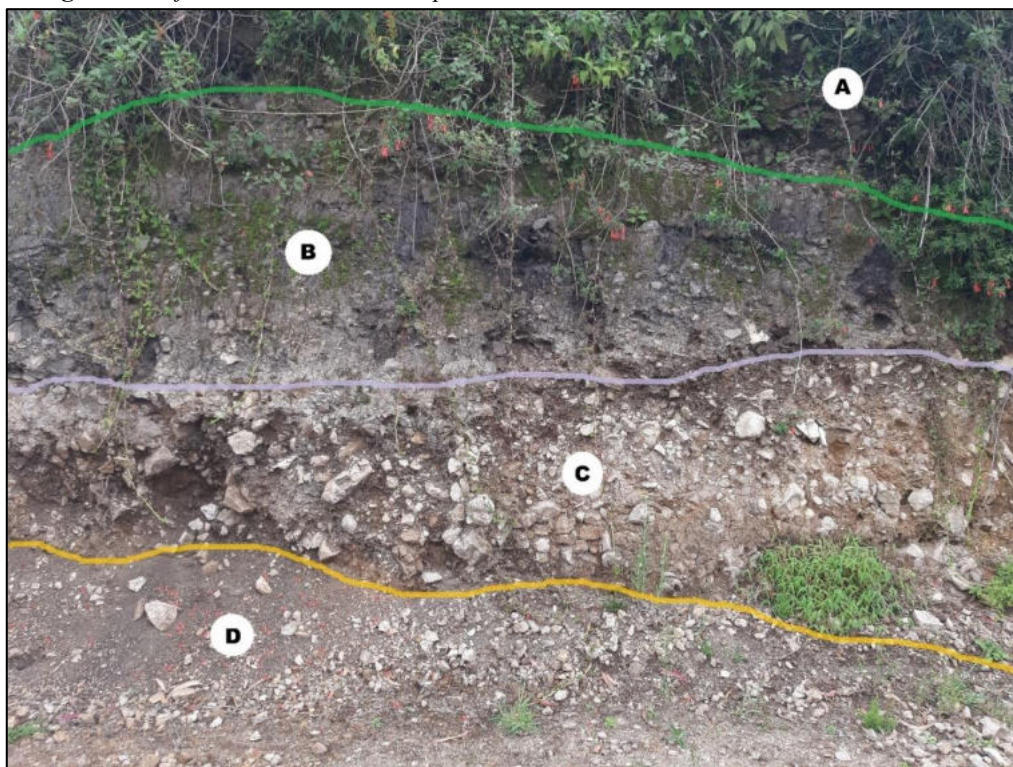
En las coordenadas UTM (683153/9573369), (683144/9573378) y (684603/9572102), se observan afloramientos con alturas que van desde los 2.50 a 6 m, litológicamente constituidos por tobas dacíticas alteradas de coloración gris claro y marrón oscuro.



Específicamente en las coordenadas UTM (683144/9573378) se expone un afloramiento que corresponde a un aglomerado, cuyo origen de formación se infiere que se debe a la caída de material volcánico durante una erupción explosiva. En la parte superior del afloramiento se observan clastos con diámetro de 2 a 5 cm en una matriz de materia orgánica, en la parte inferior se observan clastos sub - angulosos de tobas dacíticas alteradas de coloración marrón oscuro, de textura piroclástica con aproximadamente 50% de plagioclasas, 30% de cuarzo, 15% de feldespatos y 5% de minerales accesorios como biotita, hornblenda y piroxenos, dichos clastos presentan diámetros que van de 2 a 10 cm, en una matriz limo - arenosa de coloración gris y marrón claro producto de la meteorización de la misma roca.

Los episodios tobáceos han iniciado su formación sobre una superficie erosiva con niveles gradados y de mayor tamaño de grano los cuales por efecto de los agentes atmosféricos los transforman en niveles de grano más fino como lo podemos observar en la fotografía 6.

Fotografía 6. Afloramiento constituido por un 60% de clastos de tobas dacíticas



- | | |
|---|---|
| A: Cobertura vegetal | C: Clastos de tobas dacíticas en una matriz limo - arenosa 2 - 10 cm |
| B: Clastos de tobas dacíticas con diámetro de 2 – 5 cm en una matriz de materia orgánica | D: Material suelto |

Fuente: Montaña (2021)

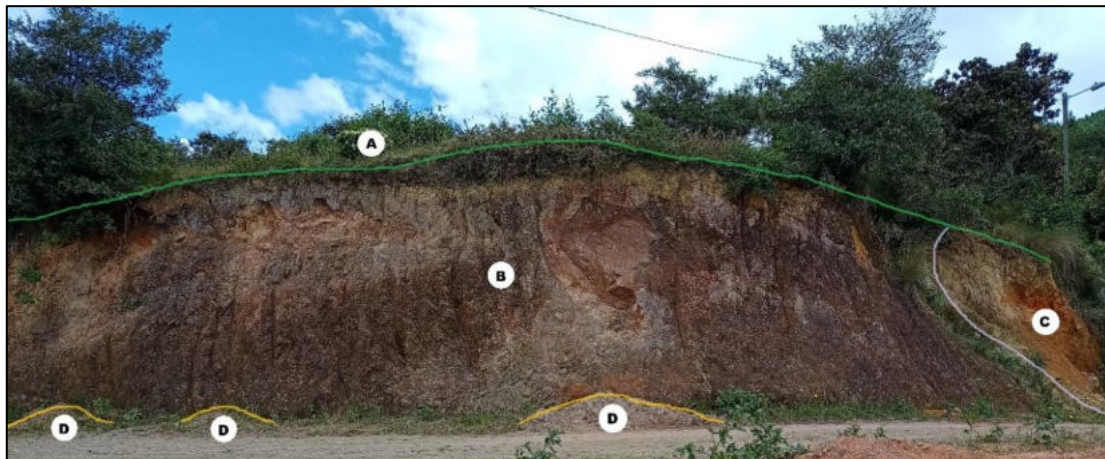


Tobas riolíticas

Otro tipo de litología que comprende la Unidad Tesalia, son las tobas riolíticas que afloran principalmente el barrio Guayllas (679496/9573870); (679650/9573739), Saracapa (682416/9572506) y a pocos metros del cementerio general de la parroquia Chuquiribamba (683684/9574131). Estas se encuentran formando afloramientos de estructura masiva, altamente compactos y potencia de aproximadamente 4 m. La compactación y potencia están relacionadas con el tamaño de grano; puesto que a menor tamaño de grano, menor potencia y mayor compactación.

Las tobas riolíticas presentan coloraciones blanquecinas y amarillentas, de textura afanítica a porfirítica con aproximadamente 55% de feldespatos alterados transformándose en caolín, 15 % de plagioclasas, 5 % de pátinas de limonitas como mineral de alteración y se deduce que el 25% restante está constituido por cuarzo, soportados por una matriz de grano fino muy compacta de coloración rojiza debido al alto contenido de hierro (*Véase Fotografía 7*).

Fotografía 7. *Afloramiento constituido por tobas riolíticas, en el barrio Saracapa*



A: Cobertura vegetal

B: Tobas riolíticas con un grado de meteorización variable soportados por una matriz de grano fino

C: Desprendimiento de tierra

D: Material suelto

Fuente: Montaña (2021)

- ***Unidad Sayo Cruz (M_{Sac})***

Se expone al noreste de la zona de estudio, constituye la unidad litológica de menor área con respecto a las demás unidades que conforman la zona sur de la parroquia Chuquiribamba. Su exposición es limitada debido a que el sector se encuentra ampliamente cubierto de vegetación.



Litológicamente está constituida por volcanosedimentos redepositados de coloraciones claras con tonalidades blancas y amarillentas. En el sector Sayo, coordenadas UTM (687198/9574649) se expone a nivel del suelo un afloramiento de estructura masiva y compacta, constituido por tobas líticas las cuales han sido formadas por un proceso de litificación de productos volcánicos que han sido expulsados durante una erupción volcánica y fragmentos de rocas de diferente composición. Presentan coloraciones claras con tonalidades blanco amarillento, textura porfirítica de grano fino a medio, compuesta por fragmentos líticos dentro de los cuales se logra reconocer minerales como feldespatos alterados, plagioclasas, piroxenos y pátinas de limonitas como mineral de alteración (*Véase Fotografía 8*).

Fotografía 8. Afloramiento constituido por tobas líticas, en el sector Sayo



Fuente: Montaña (2021)

- ***Deposito Coluvial (Qc)***

Aflora en el margen noreste de la zona de estudio, abarca los barrios La Dolorosa, El Carmelo, San Vicente, Miraflores y la parte céntrica de la parroquia Chuquiribamba, abarcando un área de 4.32 km².

Se presentan como depósitos no consolidados de una extensión superficial visible, cuya litología comprende cantos sub - redondeados > 6 cm, tobas: volcánicas, andesíticas, dacíticas y esporádicamente pórfido riolítico y granodioritas alteradas.

En el barrio La Dolorosa, en las coordenadas UTM (684206/9573484); se evidencia un afloramiento constituido por cantos sub - redondeados de material riolítico con un diámetro que va de 6 a 10 cm en una matriz limo - arenosa de coloración grisácea y amarillenta resultado de la descomposición y fragmentación de material que proviene desde la parte superior en sentido Oeste – Este. Así mismo se puede observar en el extremo derecho del afloramiento andesitas porfiríticas diaclasadas, con una dirección N70°W, 62° de inclinación y dirección de buzamiento SW, su coloración original es gris



verdoso, pero debido a la oxidación sufrida se observa una coloración parda amarillenta (*Véase Fotografía 9*).

Fotografía 9. Depósito coluvial, ubicado en el barrio La Dolorosa



- | | |
|---|---|
| A: Cobertura vegetal | D: Material suelto |
| B: Cantos de material riolítico en una matriz limo – arenosa de coloración amarillenta | E: Andesitas porfíricas diaclasadas |
| C: Cantos de material riolítico en una matriz limo – arenosa de coloración grisácea | F: Cantos de material riolítico en una matriz limo – arenosa cubiertos de vegetación |

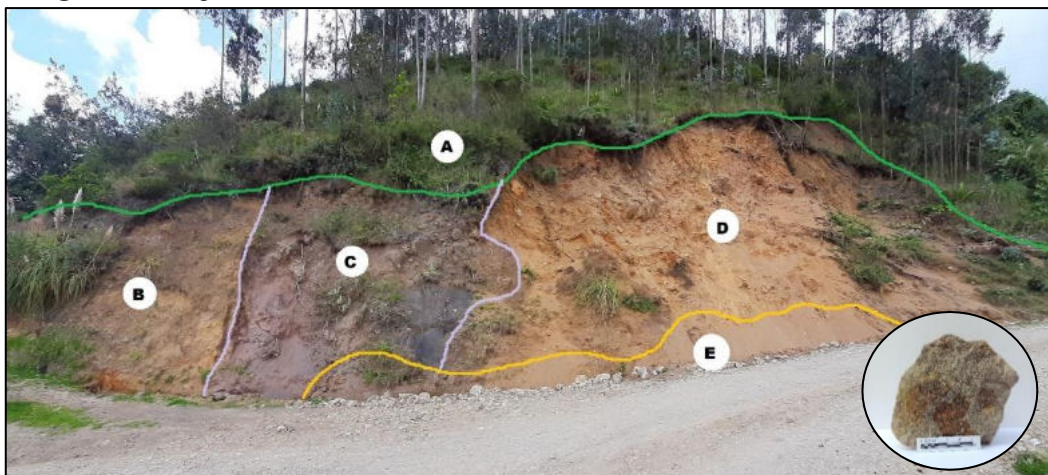
Fuente: Montaña (2021)

En el barrio San Vicente, en las coordenadas UTM (684685/9574771); se observa un afloramiento de estructura masiva que a diferencia del afloramiento mencionado anteriormente está constituido de tobas volcánicas de coloración clara con tonalidades grises, marrón claro y amarillentas, de textura porfírica de grano fino a medio, cuya composición mineralógica comprende aproximadamente un 25% de sílice, 15% de feldespatos potásicos, 55% de feldespatos sódico cálcicos y un 5% de minerales producto de la alteración como limonitas.

Este tipo de rocas se formaron por la litificación de materiales piroclásticos y principalmente por la consolidación de la ceniza volcánica. Cuando la ceniza se deposita sobre el suelo, poco a poco se va compactando hasta formar la roca y estas con el pasar del tiempo se alteraron y por acción del intemperismo se erosionaron en forma de cáscaras o capas dando lugar a rocas con formas redondeadas de coloraciones café amarillento, gris violáceo y naranja amarillento. (*Véase Fotografía 10*).



Fotografía 10. Depósito coluvial, ubicado en el barrio San Vicente



A: Cobertura vegetal	D: Tobas volcánicas de coloración naranja amarillento
B: Tobas volcánicas de coloración café amarillento	E: Material suelto
C: Tobas volcánicas de coloración gris violáceo	

Fuente: Montaña (2021)

En la fotografía 11, se observa un afloramiento ubicado en el barrio Miraflores; en las coordenadas UTM (684872/9574355), el afloramiento corresponde a un aglomerado constituido por fragmentos de rocas de diámetros $> 2\text{cm}$ y de diferente composición mineralógica desde tobas andesíticas hasta tobas dacíticas, constituidas aproximadamente por 60% de feldespatos sódico cálcicos, 20% de cuarzo, 15% de feldespatos potásicos y 5% entre minerales de limonita y piroxenos, en una matriz limo - arenosa de coloración pardo amarillento debido a las oxidaciones. Al igual que otros afloramientos cercanos se evidencia un tipo de meteorización esferoidal o "Tipo cebolla" típico de rocas ígneas.

Así mismo, es posible observar aglomerados constituidos por fragmentos de tobas dacíticas en las coordenadas UTM (684760/9574565); (684767/9572323) y (685155/9573563).



Fotografía 11. Depósito Coluvial, ubicado en el barrio Miraflores



A: Cobertura vegetal	C: Aglomerado con clastos de 2 a 60 cm en una matriz limo - arenosa de coloración rojiza
B: Materia orgánica	
D: Material suelto	

Fuente: Montaña (2021)

- **Riolita**

Son rocas volcánicas ácidas que afloran en la parte noreste de la zona de estudio en contacto fallado con la Unidad Gonzabal y subyacen a la Unidad Sayo Cruz. Presentan coloraciones claras, grises, rosadas y amarillentas, con textura de granos finos y una composición química equivalente a los granitos. Cabe recalcar que su estructura depende de la velocidad de enfriamiento durante su formación, es decir, si el proceso de enfriamiento fue lento, la roca puede consistir principalmente en fenocristales individuales grandes, o puede estar compuesta de una matriz microcristalina o incluso de vidrio.

En las coordenadas UTM (686938/9575062) se expone un afloramiento de estructura masiva y compacta, constituido por riolitas muy alteradas de coloración gris blanquecino manchadas con hidróxido de hierro ($Fe(OH)_2$), de textura afanítica producto de su corto período de cristalización, cuya composición mineralógica comprende aproximadamente 55% de feldespatos potásicos que le otorgan la coloración clara a la roca, 25% de cuarzo, 15% de plagioclasas y un 5% de minerales accesorios como piroxenos y pátinas de limonitas. Su proceso de formación se debe al enfriamiento y consolidación de un magma viscoso y ácido expulsado durante una erupción volcánica.



Fotografía 12. *Riolitas de textura afanítica muy alteradas*



Fuente: Montaña (2021)

- **Pórfido riolítico**

En la parte central de la zona de estudio se exhiben cuerpos porfiríticos, definidos en base a rasgos morfológicos, levantamiento de afloramientos encontrados dentro de la zona de estudio y corroboración con la hoja geológica de Loja, escala 1:100000 del año 2017.

Tiene limitada exposición, debido a que los sectores donde ha sido cartografiada se encuentran cubiertos de vegetación herbácea, arbustiva y arbórea, sin embargo, en las coordenadas UTM (683037/9573927); (681926/9574826) y (682199/9575005) se logra evidenciar afloramientos de estructura masiva altamente compactados, con una altura que va desde 1.40 a 2.20 m.

Específicamente en las coordenadas UTM (683037/9573927) se expone un afloramiento de estructura masiva, litológicamente constituido por un pórfido de composición riolítica formado a partir de la solidificación del magma a temperaturas muy elevadas y proceso de enfriamiento lento; que permite la formación de cristales grandes de los minerales con una tamaño que oscila entre 0.1 y 0.5 cm. Presenta una coloración blanco amarillento, de textura porfirítica con fenocristales de aproximadamente 60% de feldespatos potásicos, 20% de plagioclasas, menos del 20% de cuarzo y el porcentaje



restante está conformado por minerales accesorios como piroxenos y limonitas como producto de la alteración (*Véase fotografía 13*).

Fotografía 13. *Pórfido riolítico muy alterado por el intemperismo*



Fuente: Montaña (2021)

Dentro del pórfido riolítico en las coordenadas UTM (683305/9573264) a una altitud de 2865 m.s.n.m, se expone un afloramiento de estructura masiva constituido por andesitas de coloración gris verdosa, de textura afanítica a porfirítica con aproximadamente 85% de plagioclasas, 10% de minerales secundarios como feldespatos potásicos y cuarzo, un 5 % de minerales accesorios como hornblenda y piroxenos.

Fotografía 14. *Afloramiento de estructura masiva, constituida por andesitas*



Fuente: Montaña (2021)



Por otra parte, en las coordenadas UTM (683305/9573264) se observan bombas volcánicas, formadas durante una erupción volcánica, al ser lanzadas al aire a varios kilómetros del orificio volcánico donde se solidifican adoptando formas redondeadas con diámetros que varían de 0,10 a 2 m. Son rocas muy duras, sin embargo, existen algunas que se fragmentan ligeramente al golpearlas con el martillo geológico. Este tipo de material piroclástico es una clara evidencia de que en épocas anteriores en la parroquia Chuquiribamba o a sus alrededores ha existido un volcán que ha entrado en actividad por lo menos una vez.

Fotografía 15. *Bombas volcánicas*



Fuente: Montaña (2021)

- **Granodioritas**

Rocas ígneas intrusivas de composición intermedia a félsica, que afloran al suroeste del área de estudio en la Loma Bahín, encontrándose en contacto fallado con la Unidad Tesalia.

En el sector Bain, coordenadas UTM (681415/9571412); (681256/9571438); (681321/9571489) se observan varios afloramientos de estructura masiva medianamente compactados cuya potencia varía de 2 a 5 m, constituidos por rocas granodioríticas alteradas por la meteorización y erosión a las que están expuestas. Presentan una coloración gris clara y moteado negro, faneríticas de grano medio a grueso, con textura hipidiomórfica granular, cuya composición química comprende aproximadamente 45% de plagioclasas, 35% de cuarzo, 15% de feldespatos potásicos alterados y un 5% de minerales ferromagnesianos como la hornblenda y biotita (*Véase fotografía 16*).



Fotografía 16. Granodioritas muy alteradas, ubicadas en el sector Bain



A: Cobertura vegetal

B: Granodioritas muy alteradas por acción del intemperismo

C: Material suelto

Fuente: Montaña (2021)

Por otro lado, a escasos metros del margen izquierdo del río Gualiel; coordenadas UTM (685155/9573563) se observa un peculiar afloramiento, el cual está conformado por dos litologías diferentes, en la parte superior encontramos cantos sub - redondeados y redondeados de rocas volcánicas en una matriz arenosa que corresponden a un depósito aluvial y en la parte inferior se observan granodioritas fracturadas, de textura equigranular, compuesta principalmente por plagioclasas y cuarzo. Se infiere que la parte inferior del afloramiento corresponde a una intrusión que elevó al depósito aluvial.



Fotografía 17. Granodioritas de textura equigranular



A: Depósito aluvial constituido de cantos sub – redondeados y redondeados en una matriz arenosa
B: Granodioritas muy alteradas por acción del intemperismo

Fuente: Montaña (2021)

- **Dioritas**

Rocas ígneas intrusivas, localizadas al noroeste de la zona de estudio. Los principales afloramientos se observan a lo largo de la vía de tercer orden que conduce al río Gual en las coordenadas UTM (678975/9575041); (678843/9574934); (678758/9574933) y (678786/9574827), cuyas potencias varían de 3 a 7 m, con presencia de dioritas con meteorización variable, de color intermedio con tonalidades combinadas de blanco y negro o verde y gris, textura fanerítica a porfirítica, compuesta predominantemente por minerales de plagioclasa y cuarzo. Estas rocas presentan algunas variaciones a granodiorita debido al aumento del cuarzo en su composición química.

En las coordenadas UTM (678975/9575041), se expone un afloramiento de estructura masiva con fallamiento, constituida por dioritas con diversos grados de meteorización, inicialmente se presentan como roca encajante dioritas muy alteradas de textura afanítica a porfirítica, cuya composición química está caracterizada por aproximadamente 80% de plagioclasas, 10% de cuarzo, 5 % de feldspatos y 5% de minerales accesorios como hornblenda, biotita, piroxenos y limonitas. Por otro lado, como parte del afloramiento se presenta una falla con dirección S14°E, 80° de inclinación y dirección de buzamiento SW, misma que por su pequeña extensión y limitados indicadores no permite determinar a qué tipo de falla pertenece. La litología que comprende la falla corresponde a dioritas mediana a ligeramente alteradas por el fracturamiento que se ha dado in situ y por el intemperismo, de coloración gris verdoso, textura porfirítica, compuesta mineralógicamente de



plagioclasas, cuarzo y hornblenda; sobre estas rocas es posible observar un espejo de falla, clara evidencia de que ha existido movimiento. (Véase fotografía 18).

Fotografía 18. Dioritas asociadas a un estructura masiva y fallada



- | | |
|--|---|
| A: Cobertura vegetal | D: Dioritas meteorizadas en una matriz limo – arenosa |
| B: Materia orgánica | E: Falla constituida por dioritas de coloración gris verdosa |
| C: Dioritas fracturadas por el tectonismo | F: Material suelto |

Fuente: Montaña (2021)

Aproximadamente a 400 m del afloramiento mencionado anteriormente en dirección al barrio Guayllas, se observa un afloramiento de estructura masiva con presencia de un enjambre de diques paralelos, con una dirección N60°E, 30° y 45° de inclinación respectivamente y dirección de buzamiento SE, sus dimensiones varían de 20 cm a 1 m.

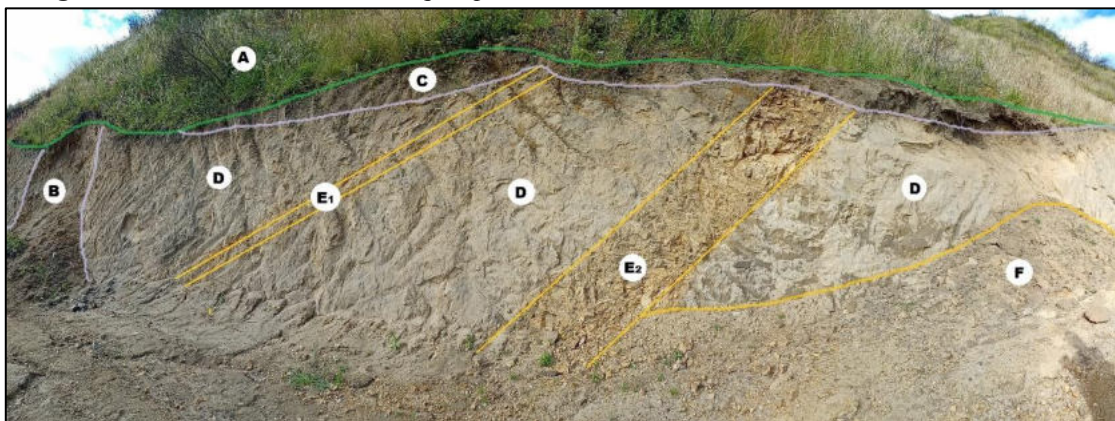
Los diques están constituidos de dioritas muy alteradas debido al intemperismo, de coloración gris verdosa en la parte fresca de la roca y de coloración amarillenta en la superficie de esta debido a la presencia de minerales de alteración como las limonitas y manganitas, de textura fanerítica a porfirítica de grano fino a medio, cuya composición mineralógica se caracteriza por la presencia de aproximadamente 80% de minerales como hornblenda y plagioclasas, siendo esta última la más predominante, 10% de cuarzo, 5%



de feldspatos y 5 % de minerales accesorios como piroxenos y predominantemente limonita.

La roca encajante corresponde a granodioritas altamente meteorizadas, compactas y de aspecto terroso, de coloración gris clara, con resistencia menor a las rocas constituyentes del cuerpo ígneo (*Véase fotografía 18*).

Fotografía 19. Dioritas asociadas a diques paralelos



A: Cobertura vegetal	E1: Dique constituido de dioritas alteradas, presenta una inclinación de 30° y 20 cm de potencia
B: Desprendimiento de tierra	E2: Dique constituido de dioritas alteradas, presenta una inclinación de 45° y 1 m de potencia
C: Materia orgánica	F: Material suelto
D: Granodioritas altamente meteorizadas por acción del intemperismo, compactas y de aspecto terroso en una matriz limo - arenosa de coloración gris	

Fuente: Montaña (2021)

6.6. Geología estructural

Según el mapa geológico de Loja, en la zona sur de la parroquia Chuquiribamba se reconocen únicamente estratificaciones inclinadas como estructuras regionales, sin embargo mediante el análisis de ortofotos y salidas de campo se pudo definir estructuras geológicas como pliegues, diaclasas y un sistema de fallas que en su mayoría conforman los límites tectónicos existentes entre las unidades litológicas descritas.

La zona de estudio se encuentra deformada principalmente por un sistema de fallas ubicadas en la parte occidental de la zona de estudio, las cuales afloran generalmente en quebradas y zonas de contacto litológico, tienen una dirección preferencial de W- E, NW – SE, NE – SW y cuyas longitudes alcanzan los 3 km . Este sistema de fallas está conformado por 10 fallas inferidas, 2 fallas normales inferidas y 1 falla inversa observada, las cuales han sido formadas por los diversos procesos tectónicos (*Véase figura 16*).



Las fallas inferidas han sido determinadas mediante fotointerpretación de alineaciones estructurales, escarpes de falla, red de drenaje y disposición de la vegetación, así como también por encalladuras presentes en las filas o crestas de las montañas. De forma similar, las dos fallas normales existentes han sido definidas, la primera por mostrar claramente la dirección de buzamiento y la segunda por su forma parabólica y el ángulo de buzamiento alto que presenta (*Véase Anexo 9*).

En el sector Guayllas, coordenadas UTM (679496/9573870) se observa una falla inversa con una dirección de N50°E, 35° de inclinación y dirección de buzamiento SE. El sector donde se observa esta estructura se caracteriza además por marcar el contacto entre el cuerpo intrusivo diorítico (A) y la Unidad Tesalia (B) a la cual se le infiere una edad Oligocénica.

Fotografía 20. *Falla inversa, ubicada en el barrio Guayllas*



Fuente: Montaña (2021)

Por otro lado, en la parte oriental de la zona de estudio se evidencian dos fallas, una observada y otra inferida: la primera de dirección NW-SE limitando la margen suroeste del pórfido riolítico y la segunda con sentido NE-SW poniendo en contacto rocas volcánicas de composición ácida con las secuencias volcanosedimentarias de la Unidad Gonzabal, la cual inicialmente fue cartografiada como parte de la Formación Sacapalca (Pratt y otros, 1997).



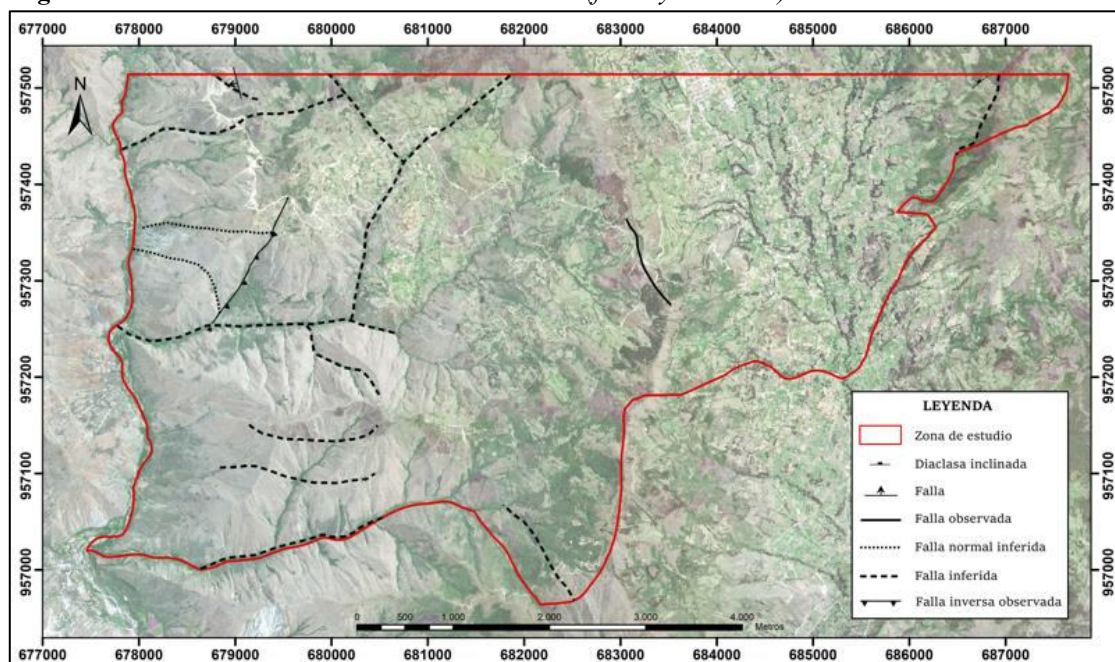
De igual manera, a lo largo de la vía de tercer orden que conduce al río Gualiel, coordenadas UTM (678975/9575041) se observa una falla con dirección S14°E, inclinación de 80° y dirección de buzamiento SW, misma que por su pequeña extensión y limitados indicadores no permite determinar su dinámica. Esta falla se encuentra dentro de la unidad de dioritas por lo que esta rellana de este tipo de rocas, mediana a ligeramente alteradas por el fracturamiento que se ha dado in situ y sobre las cuales es posible observar un espejo de falla, clara evidencia de que ha existido movimiento.

Fotografía 21. Falla, ubicada en la vía de tercer orden que conduce al río Gualiel



Fuente: Montaña (2021)

Figura 16. Análisis estructural de la zona de estudio (fallas y diaclasas)



Fuente: Montaña (2021)



Tabla 5. Fallas cartografiadas

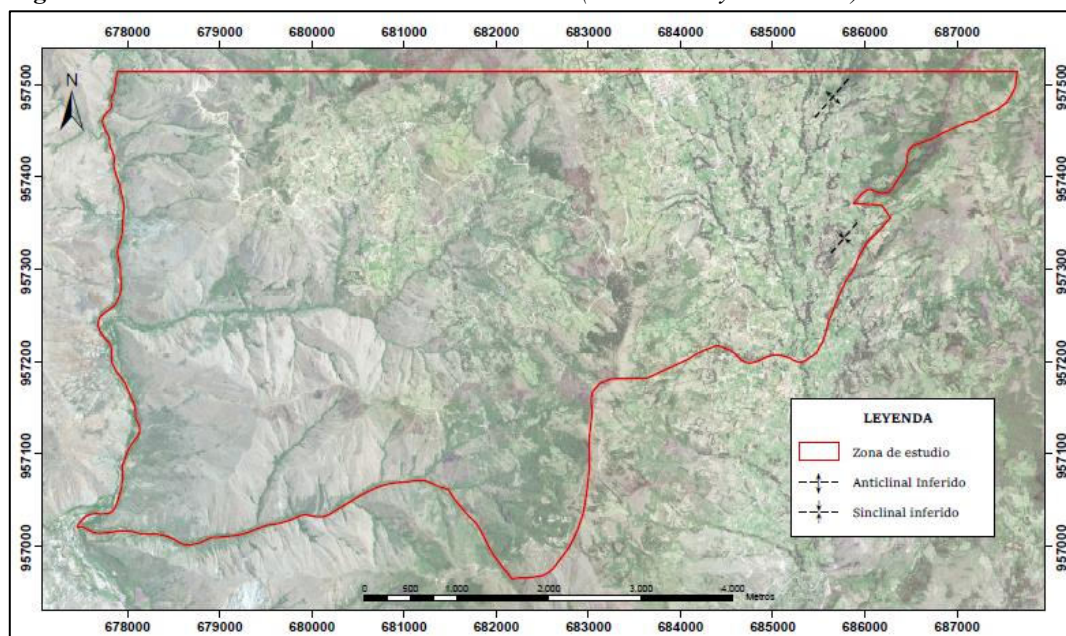
N.º	Longitud (km ²)	Tipo de falla
1	0,560	Falla inferida
2	2,477	Falla inferida
3	1,203	Falla inferida
4	3,217	Falla inferida
5	3,014	Falla inferida
6	1,156	Falla inferida
7	1,451	Falla inferida
8	1,658	Falla inferida
9	2,016	Falla inferida
10	1,252	Falla inferida
11	1,004	Falla inferida
12	1,280	Falla normal inferida
13	1,375	Falla normal inferida
14	1,555	Falla inversa observada
15	1,029	Falla observada

Fuente: Montaña (2021)

Elaborado por: Montaña (2021)

En la figura 17 se puede observar como en la parte oriental de la zona de estudio, la Unidad Gonzabal se encuentran sometidas a esfuerzos, formando plegamientos como anticlinales y sinclinales. Cabe recalcar que estas estructuras han sido determinadas mediante fotointerpretación, en la que se las ha asociado a un domo semi alargado y cubeta alargada respectivamente (*Véase Anexo 9*).

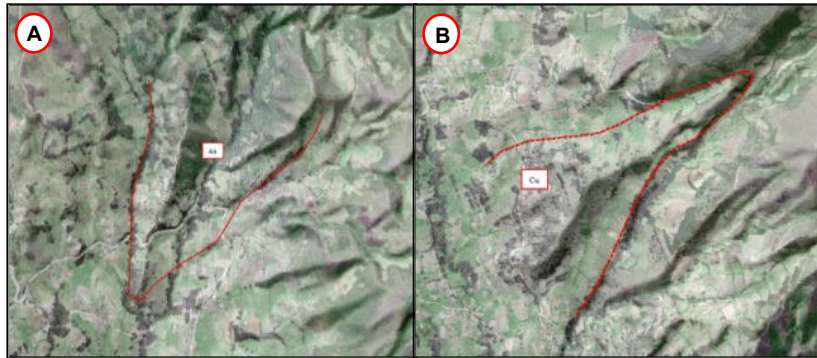
Figura 17. Análisis estructural de la zona de estudio (anticlinales y sinclinales)



Fuente: Montaña (2021)



Figura 18. Fotointerpretación de anticlinal (A) y sinclinal (B)



Fuente: Montaña (2021)

En la Unidad Gonzabal, coordenadas UTM (686767/9575097); se observa una familia de diaclasas con una dirección de $S52^{\circ}W$, 80° de inclinación y dirección de buzamiento NW, las cuales son producto del mismo campo de esfuerzos que produjeron la falla que constituye el contacto entre las riolitas y la Unidad Gonzabal. Esta familia de diaclasas se encuentra aproximadamente a 500 m del contacto.

Fotografía 22. Diaclasas



Fuente: Montaña (2021)

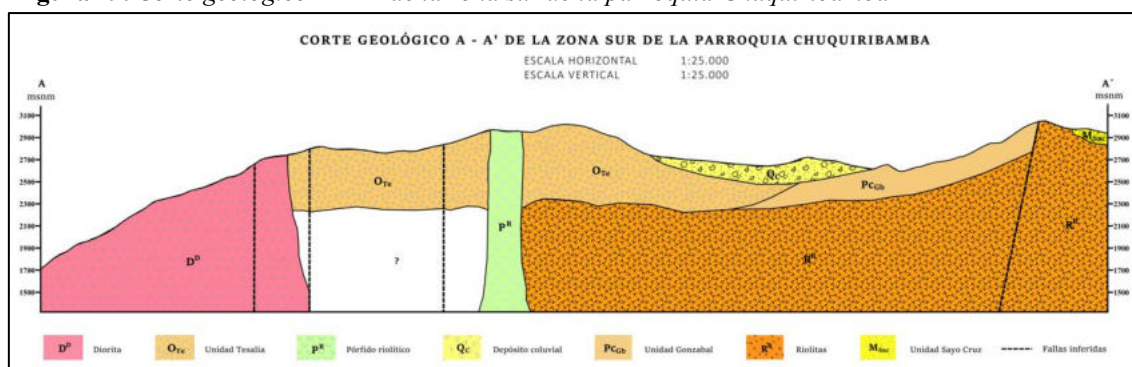


6.7. Cortes de secciones geológicas locales

Dado que, se ha definido y elaborado el mapa geológico - estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba (*Véase Anexo 10*), se realizó dos cortes geológicos: A – A' con dirección W – E y B – B' con dirección SW - NE, distribuidos de tal forma que engloban las principales formaciones y estructuras del sector, permitiendo tener una mejor perspectiva de cómo están dispuestas las estructuras y unidades litológicas en profundidad.

Como se observa en la figura 19, en el flanco oeste del perfil se divisa la intrusión de un cuerpo diorítico el cual ha sufrido una geodinámica compleja, produciendo múltiples fallas geológicas de tectónica indeterminada que controlan la zona, a continuación observamos la unidad Tesalia, constituida de lavas andesíticas, brechas volcánicas y tobas riolíticas, misma que es intruida y dividida por un cuerpo porfirítico de carácter riolítico, el cual no permite inferir el basamento de la unidad en el flanco oeste, así mismo, esta unidad se extiende hacia el flanco este y se deduce que esta se encuentra en contacto discordante con la unidad Gonzabal; la misma que en lo alto del cerro Santa Bárbara se deposita en contacto fallado con las riolitas, rocas volcánicas que se consideran el basamento de las dos unidades antes expuestas. Por otro lado, en la parte central, producto del corto transporte de material se formó un depósito coluvial conformado por materiales de las partes altas de ambos flancos del depósito. Finalmente, al este observamos la unidad Sayo Cruz, la cual se caracteriza por estar conformada de sedimentos volcanoclásticos.

Figura 19. Corte geológico A – A' de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba



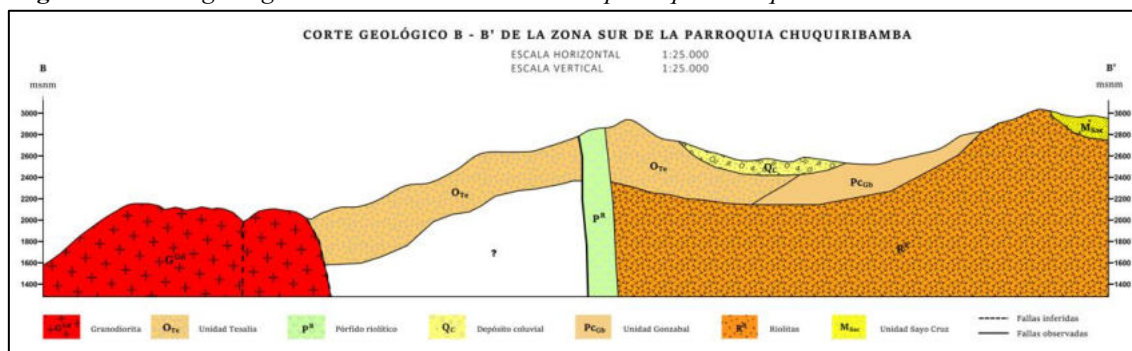
Elaborado por: Montaña (2021)



El corte geológico B-B' presenta una dirección SW – NE, en el cual partiendo del flanco oeste se observa un cuerpo intrusivo granodiorítico fallado, que de acuerdo a su dinámica y condiciones geológicas se considera como la intrusión más joven del sector, además de ser una zona de interés mineralógico, seguidamente observamos la Unidad Tesalia que se encuentra en contacto fallado con el cuerpo granodiorítico, además de estar dividida por la intrusión de un pórfido riolítico, el mismo que en su flanco oeste presenta una falla de la cual se desconoce su dinámica y pone en contacto fallado al pórfido riolítico con la Unidad Tesalia, seguidamente en la parte central observamos un depósito coluvial, bajo el cual se ponen en contacto discordante la Unidad Tesalia con la Unidad Gonzabal, considerándose esta última como la unidad más antigua de la zona, consecutivamente observamos riolitas, las cuales por interpretación propia del autor constituyen el basamento en esta sección y posiblemente de toda la zona de estudio, finalmente en la parte alta del flanco este observamos la depositación de sedimentos volcanoclásticos perteneciente a la Unidad Sayo Cruz.

Cabe mencionar que estos perfiles son interpretativos, contruidos en base a datos obtenidos en campo durante el levantamiento geológico – estructural de la zona de estudio. Para una mejor apreciación de los perfiles *véase anexo 10A*.

Figura 20. Corte geológico B – B' de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba



Elaborado por: Montaña (2021)

7. DISCUSIÓN

De acuerdo a estudios previos realizados por el Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgico (INIGEMM) en el año 2017, para la actualización de la hoja geológica de Loja, se han definido unidades geológicas en la zona de estudio caracterizadas por la presencia de rocas intrusivas, volcanosedimentos y depósitos superficiales descritos de forma no detallada, en razón a la escala de trabajo.

La zona de estudio comprende la parte sur de la parroquia Chuquiribamba, abarca un área de 35,66 km², se caracteriza por estar compuesta de un relieve altamente irregular, con presencia de grandes montañas y quebradas profundas con altitudes que van desde los 1520 a los 3100 m.s.n.m., además presenta un sistema de drenaje dendrítico que está controlado tanto por la litología como por los elementos estructurales presentes en la zona.

Para el levantamiento geológico - estructural de la zona de estudio, inicialmente se elaboró la cartografía base y fotointerpretación de estructuras y unidades litológicas que posteriormente fueron corroboradas y caracterizadas a mayor detalle mediante el levantamiento de afloramientos, toma de muestras de rocas y descripción macroscópica de las mismas, para con ello finalmente confeccionar el mapa geológico estructural a escala 1:25000 objetivo principal de la presente investigación.

La zona sur de la parroquia Chuquiribamba está constituida por 8 unidades litológicas, siendo la de mayor extensión la Unidad Tesalia con un área de 18,19 km²; la cual aflora en la parte nor – occidental y se extiende hacia el sur de la zona de estudio, abarcando los barrios de Tesalia Alto, Tesalia Bajo, Guayllas y Saracapa; está constituida por lavas andesíticas, brechas volcánicas y tobas riolíticas, pero se puede encontrar en menor proporción andesitas basálticas y riolitas. Un depósito coluvial de edad cuaternaria aflora en el margen noreste del polígono de estudio, comprende cantos sub - redondeados, tobas y esporádicamente pórfido riolítico y granodioritas alteradas. De igual manera, se determinaron la presencia de volcanosedimentos en la parte noreste, cuya exposición superficial es limitada debido al uso y cobertura del suelo del sector. Rocas volcánicas y sub - volcánicas se presentan en la zona de estudio como intrusiones que rompen las rocas de unidades litológicas más antiguas. Finalmente, rocas intrusivas como dioritas y granodioritas de meteorización variable afloran en el extremo noroeste y suroeste



respectivamente en un relieve que abarca las cotas más bajas (1600) y altas (2700) de todo el sector.

Por otro lado, la zona de estudio se encuentra deformada ampliamente en la parte occidental por un sistema de fallas inferidas y observadas producto de los diversos procesos tectónicos las cuales tienen una dirección preferente W – E, NW – SE y NE – SW. Así también en la parte oriental se evidencian dos fallas, una observada y otra inferida: la primera de dirección NW-SE limitando la margen suroeste del pórfido riolítico y la segunda con sentido NE-SW poniendo en contacto rocas volcánicas de composición ácida con las secuencias volcanosedimentarias de la Unidad Gonzabal. Algunas estructuras plegadas como anticlinales y sinclinales se observan en la parte oriental de la zona de estudio, además de una familia de diaclasas con una dirección de S52°W, 80° de inclinación y dirección de buzamiento NW.

Los perfiles geológicos de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba (A-A' y B - B'), constituyen perfiles interpretativos que representan como están dispuestas en profundidad las 8 unidades litológicas y estructuras cartografiadas. A partir del análisis de los perfiles geológicos se infiere que las riolitas constituyen el basamento de la zona de estudio.

8. CONCLUSIONES

- Se determinó, de acuerdo a la fotointerpretación geológica, mapeo de afloramientos representativos y análisis macroscópico de las muestras de roca, que la zona sur de la parroquia Chuquiribamba está constituida por 8 unidades litológicas: Unidad Gonzabal, Unidad Tesalia, Unidad Sayo Cruz, Depósito Coluvial, Riolitas, Pórfido Riolítico, Granodioritas y Dioritas.
- Se identificó que la zona sur de la parroquia Chuquiribamba se encuentra deformada principalmente, por un sistemas de fallas constituido por 10 fallas inferidas, 2 fallas normales inferidas y una falla inversa observada; con dirección preferencial W – E, NW – SE y NE – SW, ubicadas en la parte occidental de la zona de estudio donde afloran rocas ígneas intrusivas. Así mismo en la parte oriental, la Unidad Gonzabal constituida de volcanosedimentos se encuentra deformada por estructuras plegadas como anticlinales y sinclinales, además de una familia de diaclasas producto del mismo campo de esfuerzos que originaron una falla que constituye el contacto entre esta unidad y las riolitas.
- Se concluyó mediante el análisis macroscópico de las muestras de roca, que en el área de estudio afloran rocas que van desde duras y resistentes hasta rocas blandas y deleznales, tales como lavas andesíticas y basálticas porfiríticas, tobas volcánicas y andesíticas variablemente meteorizadas pertenecientes a la Unidad Gonzabal; lavas andesíticas, brechas volcánicas, tobas riolíticas, tobas dacíticas, andesitas basálticas y riolitas de la Unidad Tesalia, volcanosedimentos redepositados como tobas líticas pertenecientes a la Unidad Sayo Cruz; cantos subredondeados, tobas: volcánicas, andesíticas, dacíticas y esporádicamente pórfido riolítico, andesitas porfiríticas y granodioritas alteradas como constituyentes de un depósito coluvial; así mismo afloran rocas volcánicas, sub - volcánicas e intrusivas, como riolitas; pórfido riolítico, granodioritas y dioritas.
- Se determinó que en el área de estudio existe una amplia distribución de la Unidad Tesalia a lo largo del extremo nor – occidental y se extiende hacia el sur de la zona de estudio. Litológicamente está constituida por lavas andesíticas que presentan coloraciones gris verdoso y gris oscuro, de textura afanítica a porfirítica, cuya composición mineralógica está caracterizada por minerales de plagioclasas, piroxenos y hornblenda; brechas volcánicas constituidas por clastos angulosos, de



varias litologías, heterométricos de tamaño superior a los 5 cm y soportados por una matriz limo – arenosa; tobas de coloraciones claras, textura piroclástica y afanítica a porfirítica, constituidas mineralógicamente por plagioclasas, feldspatos alterados transformándose en caolín, cuarzo y pátinas de limonitas como mineral de alteración. Por otro lado, los cuerpos intrusivos ígneos muestran especial interés debido a su comportamiento geológico – estructural e indicios de mineralización que poseen.

- Se concluyó que la fotointerpretación y levantamiento geológico - estructural en campo, permitieron la elaboración del mapa geológico estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba, en el cual se pudo definir nuevas litologías, como: tobas, andesitas porfiríticas, pórfido riolítico y granodioritas alteradas en el Depósito Coluvial; tobas riolíticas, tobas dacíticas, andesitas basálticas y riolitas como parte de la Unidad Tesalia; tobas volcánicas y andesíticas en la Unidad Gonzabal; contactos y estructuras: fallas, diques, diaclasas, anticlinales y sinclinales; así como corroborar la información existente en la hoja geológica de Loja a escala 1:100000 del año 2017.
- Se estableció a partir del mapa geológico estructural a escala 1:25000 de la zona sur de la parroquia Chuquiribamba, dos cortes geológicos en dirección W – E y SW – NE, distribuidos de tal forma que engloban las principales formaciones y estructuras del sector, permitiendo tener una mejor perspectiva de cómo están dispuestas en profundidad y en la cual se infiere que las riolitas constituyen el basamento de la zona de estudio.



9. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios geofísicos en áreas específicas de la Unidad Tesalia, que permitan una mejor interpretación sobre su disposición, estructura y formación.
- Realizar secciones pulidas y láminas delgadas a las muestras de roca tomadas durante el levantamiento geológico estructural con la finalidad de analizar y definir con mayor precisión su composición mineralógica.
- Realizar dataciones de los cuerpos intrusivos existentes en la zona de estudio, con el fin de determinar su edad de formación.
- Realizar un estudio geológico a escala 1:10000 de tal manera que permita identificar y caracterizar a mayor detalle las diferentes unidades litológicas que comprenden la zona de estudio, en especial del cuerpo intrusivo diorítico con la finalidad de definir sus características geodinámicas.
- Elaborar un inventario de movimientos en masa que complemente el presente estudio, con la finalidad de dar a conocer sus causas y posibles soluciones evitando con ello que se produzcan daños en la red vial, infraestructura y afectaciones o pérdidas de vidas humanas.
- Definir trazadores geoquímicos para la búsqueda de mineralización en la parroquia Chuquiribamba, mediante la aplicación de metodologías de exploración geoquímica (muestreo superficial), considerando espacialmente la zona oeste de la parroquia al poseer indicios de anomalías geoquímicas para minerales de Au.



10. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones* (1.^a ed.). Continental.
- Arellano G. J., Romero R. de la Llata, Carreón M. A., Morales W. V. y Villareal J. C. (2002). *Ejercicios de geología estructural* (1.^a ed.). Ciudad Universitaria
- Barnes, J y Lisle R. (2004). *Cartografía geológica básica* (4.^a ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Burga, J. (2011). *Diccionario geológico*. <http://biblioteca.ismm.edu.cu/wp-content/uploads/2017/06/Diccionario-geologico.pdf>
- Camargo, J. (2004). *Manual de geología estructural: Guía para la interpretación y elaboración de mapas geológicos* (1.^a ed.). Universidad Surcolombiana.
- Castillo, H., Angamarca, L., Ojeda, F. y Cuenca, D. (2021). *Introducción a la petrografía*. Atena.
- Castro, A. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Paraninfo S.A.
- Castro, A. (1989). *Petrografía Básica*. Paraninfo S.A.
- Cepeda, L. (1985). *Apuntes de petrología ígnea*. https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/APUNTES_DE_PETROLOGIA_IGNEA_ocr.pdf
- Chariguin, M. (1964). *Geología General*. Grijalbo.
- Collado, J. y Navarro J. (2013). *ArcGIS 10 prácticas paso a paso*. Universitat Politècnica de València. http://media.wix.com/ugd/1c299f_0a98363a69cd4c6184d4edfcb87f4f24.pdf
- Corrales, I., Rosell, J., Sánchez, L., Vera, J. y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía* (2.^a ed.). Rueda.
- Díaz. J. (2012, 10 de septiembre). *La escala en los mapas topográficos*. AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/la-escala-en-los-mapas-topograficos>



- Duque, G. (2003). *Manual de geología para mineros*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Echeveste, H. J. (2018). *Manual de levantamiento geológico: Una introducción a la geología de campo*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Explorock Soluciones Geológicas. (08 de abril de 2018). *Aspectos clave sobre Mapeo Geológico* [Archivo de Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=K976vu7bnKI>
- Explorock Soluciones Geológicas. (13 de abril de 2017). *Curso online DEMO: Fotointerpretación Geológica* [Archivo de Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ML3PrxPmnyE>
- Explorock Soluciones Geológicas. (07 de noviembre de 2016). *Cómo construir una sección geológica digital* [Archivo de Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=G-2vzSBJs1s>
- Geología en el campo. (30 de julio de 2018). *Fallas geológicas. Tipos de Fallas* [Archivo de Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=n1F4G0tpPAs&t=458s>
- GEOTADI. (16 de julio de 2020). *Perfiles geológicos en ArcMap* [Archivo de Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Yf05_XgpO2Y
- Geoxnet. (2019). *Geología estructural*. <https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/>
- Gobierno Parroquial Chuquiribamba. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Chuquiribamba, actualización 2014 – 2019*. Constructora y consultora Inka Pirka CCINPIR Cia. Ltda. <https://www.chuquiribamba.gob.ec/index.php/gad/pdot>
- Hurlbut, D. (1960). *Manual de mineralogía* (2.^a ed.). Reverté S.A.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (s.f.). *Mapas Geológicos 2017 – 2018*. <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>



- Instituto Geográfico Militar. (2013). Cartas topográficas escala 1:50.000, formato SHP y JPG. <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Joly, F. (1979). *La cartografía*. Ariel.
- Llambías, E. (2001). *Geología de los cuerpos ígneos*. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-125.pdf>
- López, M. (1971). *Manual de fotogeología*. Servicio de Publicaciones de la J.E.N.
- MacKenzie W., Donaldson C. y Guilford C. (1996). *Atlas de rocas ígneas y sus texturas*. Masson S.A.
- MacKenzie W. y Guilford C. (1996). *Atlas de petrografía. Minerales formadores de rocas en lámina delgada*. Masson S.A.
- Martínez, J. (1981). *Mapas geológicos, explicación e interpretación* (2.^a ed.). Paraninfo S.A.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (s.f.). *Geoportal del Agro Ecuatoriano*. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Municipio de Loja. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja, actualización 2014 – 2022*. <https://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/podt2014.pdf>
- Muñoz, J. (1993). *Geomorfología general* (4.^a ed.). Síntesis.
- Muthoni, L. (2010). Geological Field Mapping. Presented at Short Course V on Exploration for Geothermal Resources-Kenya, Oct. 29 - Nov. 19
- Navarrete, E. (2017). *Apuntes de estratigrafía y sedimentación*. https://www.researchgate.net/profile/Edison_Navarrete2/publication/320532579_APUNTES_DE ESTRATIGRAFIA_Y SEDIMENTACION/links/59ea21524585151983c7e702/APUNTES-DE-ESTRATIGRAFIA-Y-SEDIMENTACION.pdf



- Olaya, V. (2011). *Sistema de Información Geográfica*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Ovejero, A. (2015). *Mineralogía I*. Científica Universitaria.
- Peña J. L., Lozano M. V., Sánchez M., Chueca J., Asunción J. A., Pellicer F., Calvet J., Muñoz J., Herrero M., Echeverría M. T. y Marcén C. S. (1997). *Cartografía geomorfológica básica y aplicada* (1.^a ed.). Geoforma.
- Peña J. S. y Méndez T. S. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. Universidad de la Rioja.
- Pérez, F. (2010). *Investigación y desarrollo de Modelos de Datos y Estructuras Lógicas de la información para la implantación del Mapa Geológico Nacional (MAGNA), en formato digital* [Tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Pilatasig L., Gordon D., Palacios O. y Sánchez J. (2005). *Geología de Ecuador y Perú entre 3° S y 6° S*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA7/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/EL_ORO/SANTA_ROSA/IEE/1.%20Documentos/Pdf/2.%20Geopedolog%C3%ADa/2.1.%20Geomorfolog%C3%ADa/Mapa%20binacional/MEMORIA%20RESUMIDA_BINACIONALA_GOSTO.pdf
- Ragan, D. (1986). *Geología estructural: Introducción a las técnicas geométricas*. Omega S.A.
- Resolución No. 2019-082-DE de 2019. [Instituto de Investigación Geológico y Energético]. Aprobar los Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica. 07 de noviembre de 2019.
- Rincón M. A., Vargas W. E. y González C. J. (2018). *Topografía concepto y aplicaciones* (1.^a ed.). ECOE.
- Rivera, H. (2005). *Geología General* (2.^a ed.).



- Salguero, D. (2017). *Levantamiento geológico – estructural de la zona comprendida por la hoja topográfica Guano escala 1:50.000, provincia de Chimborazo* [Trabajo de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Rocas: Introducción*.
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Introduccion-rocas.html>
- Silva, G. y Mendoza, C. (2016). Trabajo geológico de campo. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Soto, M. (2005). *Texto universitario de petrología*. https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/179896301-Libro-de-Petrologia-Definitivo.pdf
- Spikermann, J. (2010). *Elementos de geología general*. (1.^a ed.). Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Tarback E. J. y Lutgens F. K. (2005). *Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física* (8.^a ed.). Pearson Educación S.A.
- Varela, R. (2014). *Manual de geología*. INSUGEO.
- Vera, J. (1994). *Estratigrafía: Principios y métodos*. Rueda
- Wicander R. y Monroe J. (2000). *Fundamentos de geología* (2.^a ed.). Thomson.
- Winter, J. (2013). *Principles of igneous and metamorphic petrology* (2.^a ed.). Pearson.
- Wolf, T. (1982). *Geografía y Geología del Ecuador*. Leipzig.



11. ANEXOS

ANEXO 1

MAPA DE UBICACIÓN (CD2)

ANEXO 2

MAPA TOPOGRÁFICO

(CD2)

ANEXO 2A

PERFILES TOPOGRÁFICOS

(CD2)

ANEXO 3

MAPA HIDROGRÁFICO

(CD2)

ANEXO 4

MAPA DE PENDIENTES

(CD2)

ANEXO 5

MAPA GEOMORFOLÓGICO

(CD2)

ANEXO 6

MAPA DE PUNTOS DE MUESTREO

(CD2)

ANEXO 7

DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

(CD2)

ANEXO 8

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA (CD2)

ANEXO 9

ANÁLISIS GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL

(CD2)

ANEXO 10

MAPA GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL *(CD2)*

ANEXO 10A
CORTES GEOLÓGICOS
(CD2)

ANEXO 11

GRÁFICAS UTILIZADAS PARA LA DESCRIPCIÓN DE LAS ROCAS *(CD2)*