



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional De Loja

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

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Levantamiento geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipec

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

AUTORA:

Nadia Cecibel Romero Medina

DIRECTOR:

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc

Loja – Ecuador

2022



Certificación

Ingeniero.

Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por la señorita egresada: **ROMERO MEDINA NADIA CECIBEL** con C.I.; **1950058634**, en su proceso de investigación denominado: **Levantamiento geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe**, 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 autorizo su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 24 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:
**WALTER SIMON TAMBO
ENCALADA**

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Autoría

Yo, **Nadia Cecibel Romero Medina**, declaro ser la autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma: _____

Cédula: 1950058634

Fecha: 05 de julio del 2022

Correo electrónico: nadia.romero@unl.edu.ec

Celular: 0959057046



Carta de autorización

Yo, **Nadia Cecibel Romero Medina**, declaro ser la autora del trabajo de titulación denominado: **Levantamiento Geológico-Estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe**, como requisito para obtener el título 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 Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

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

Firma: -----

Autora: Nadia Cecibel Romero Medina

Cédula: 1950058634

Dirección: Chicaña, Yantzaza, Zamora Chinchipe

Correo electrónico: nadia.romero@unl.edu.ec

Celular: 0959057046

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de titulación: Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc



Dedicatoria

Con mucha alegría, amor y entusiasmo dedico el presente trabajo de titulación a Dios y a mi familia. Mi padre Milton y mi madre Lilia, mis hermanos Noe, Henry, Emily y Sammir, quienes fueron los pilares fundamentales para que yo construya este sueño, que en ciertas ocasiones fue difícil de sostener, pero gracias a su apoyo pude mantenerlo firme. A mi tía Amparito Romero quien me acompañó y ayudó en todo mi proceso de formación. A mi mejor amiga Jéssica, con quien iniciamos este sueño juntas, aunque por destinos diferentes. Espero que siempre me puedan guiar y acompañar en esta vida.

Nadia Cecibel Romero Medina



Agradecimiento

De manera especial quiero agradecer al Ing. Walter Tambo, director del trabajo de titulación por su colaboración, asesoramiento y guía en este proyecto

A mis amigos y compañeros con quienes caminamos juntos en esta etapa universitaria

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja, que nunca se negaron a compartir sus conocimientos y supieron inculcar en mí valores que me formaron como profesional, quienes me enseñaron que no se necesita de suerte, que con la preparación diaria se puede lograr grandes resultados.

Nadia Cecibel Romero Medina



Índice de contenido

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiv
1 Título	1
2 Resumen	2
2.1 Abstract	3
3 Introducción.....	4
4 Marco teórico.....	6
4.1 Geología	6
4.2 Las rocas.....	6
4.2.1 Tipos de rocas básicos.....	7
4.3 Geología estructural	9
4.4 Estratigrafía	9
4.4.1 Principios de la estratigrafía y sedimentología	10
4.5 Cartografía de las estructuras geológicas.....	11
4.5.1 Dirección y buzamiento	11
4.5.2 Pliegues.....	12
4.5.3 Fallas	13
4.5.4 Diaclasas.....	14
4.5.5 Discordancias	15



4.6	Geomorfología	15
4.6.1	Geomorfología aplicada	16
4.6.2	Geomorfología estructural.....	16
4.6.3	Geomorfología dinámica.....	16
4.7	Mapeo geológico	17
4.7.2	Tipo de mapas geológicos	18
4.7.3	Métodos de mapeo geológico.....	19
4.8	Proyecciones estereográficas.....	21
4.8.1	Tipos de proyección estereográfica.....	22
4.9	Topografía.....	22
4.10	Modelos digitales de terreno.....	22
4.11	Descripción de macizos rocosos.....	23
4.11.1	Clasificación Geomecánica de macizos rocosos	24
4.12	Movimientos en masas	26
5	Metodología.....	28
5.1	Área de estudio.....	28
5.1.1	Ubicación	28
5.1.2	Acceso	29
5.2	Materiales	30
5.3	Métodos.....	31
5.4	Procedimiento.....	32
5.4.1	Primer objetivo.....	32
5.4.2	Segundo objetivo.....	33
5.4.3	Tercer objetivo	38
6	Resultados.....	40
6.1	Descripción del área de estudio.....	40
6.1.1	Clima.....	40



6.1.1.1	Precipitación.....	41
6.1.1.2	Temperatura.	43
6.1.2	Hidrografía	45
6.1.3	Cobertura del Suelo.....	45
6.2	Fotointerpretación	48
6.3	Relieve.....	49
6.3.1	Topografía de la vía Chicaña- El Oso	50
6.3.1	Perfiles Topográficos	50
6.3.2	Mapa de pendientes	50
6.4	Geomorfología	51
6.4.1	Dominios fisiográficos	52
6.4.2	Grupo genético y geoformas	53
6.4.2.1	Fluvial.....	53
6.4.2.2	Tectónico erosivo	56
6.4.2.3	Poligénicas	59
6.5	Geología	59
6.5.1	Geología Regional.....	62
6.5.1.1	Unidad Plan Del Oso (P?Po).....	64
6.5.1.2	Unidad Nueva Esperanza (J Ne).	64
6.5.1.3	Unidad La Saquea (JSa).	65
6.5.1.4	Formación Hollín (KH).....	65
6.5.1.5	Formación Napo (KN)	66
6.5.1.6	Depósitos Aluviales (QA).	66
6.5.1.7	Rocas intrusivas.....	66
6.5.2	Geología Local	69
6.5.2.1	Unidad Plan Del Oso (P?Po).....	69
6.5.2.2	Formación Napo (KN)	73
6.5.2.3	Depósitos Aluviales (QA).	77



6.5.3	Geología estructural	78
6.5.3.1	Fallas	79
6.5.3.2	Diaclasas.....	82
7	Discusión de resultados	84
8	Conclusiones.....	86
9	Recomendaciones	88
10	Bibliografía	89
11	Anexos	92



Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de pendientes	17
Tabla 2 Variables del índice RMR (Bieniawski, 1989))	24
Tabla 3 Clasificación RMR	25
Tabla 4 Clasificación Geomecánica RMR (Bieniaswski, 1989); Parámetros de Clasificación	26
Tabla 5 Coordenadas de ubicación del proyecto UTM-WGS-84, Zona 17S	28
Tabla 6 Materiales a utilizar en el proyecto.....	30
Tabla 7 Especificaciones técnicas de las cartas topográficas utilizadas en el proyecto.....	34
Tabla 8 Especificaciones técnicas de la hoja geológica de Paquisha.....	34
Tabla 9 Ficha para la descripción de afloramientos	35
Tabla 10 Ficha para descripción macroscópica de Rocas Ígneas	36
Tabla 11 Ficha para descripción macroscópica de Rocas metamórficas.....	37
Tabla 12 Ficha para descripción macroscópica de Rocas Sedimentarias Detríticas.....	37
Tabla 13 Ficha para descripción macroscópica de rocas sedimentarias orgánicas y químicas	38
Tabla 14 Información climática de la parroquia Chicaña.....	40
Tabla 15. Precipitación en la parroquia Chicaña	41
Tabla 16 Temperatura de la parroquia Chicaña	43
Tabla 17. Análisis comparativo de los usos del suelo 2000 – 2015, parroquia Chicaña.....	46
Tabla 18 Clasificación de las pendientes del área de estudio	50
Tabla 19 Regiones, dominios fisiográficos y contextos morfológicos presentes en la franja de vía Chicaña-El Oso.....	52
Tabla 20. Unidades geomorfológicas existentes sobre la franja de vía Chicaña- El Oso	53
Tabla 21 Fallas observadas en el área de estudio.....	79



Índice de figuras

Figura 1. Ciclo de las rocas.....	8
Figura 2 a. dirección, b. buzamiento	11
Figura 3 Partes de un Pliegue.....	13
Figura 4 Esquema de Falla.....	14
Figura 5. Discordancia.....	15
Figura 6 La presencia de fragmentos de rocas en el derrubio ayuda a ubicar la posición aproximada de un contacto.....	20
Figura 7 Representación visual de un modelo digital de terreno (DTM). El paisaje se divide en celdas cuadradas y la elevación promedio de cada celda calculado.	23
Figura 8 Clasificación de los Movimientos en masa propuesta por Cruden y Varnes (1996)	27
Figura 9 Mapa de Ubicación del área de Estudio.....	28
Figura 10 Acceso al área de Estudio	29
Figura 11 Mapa de isoyetas, parroquia Chicaña	42
Figura 12 Mapa de isotermas, parroquia Chicaña.....	44
Figura 13 Delimitación de la Quebrada Guambime al costado derecho de la Vía Chicaña-El Oso.....	45
Figura 14 Mapa de uso y cobertura del suelo, parroquia Chicaña	47
Figura 15 Uso de suelo en el área de estudio, predominantemente destinado a Pastizales	48
Figura 16 Vista en 3D del área de Estudio	49
Figura 17 Porcentaje de las pendientes sobre la vía Chicaña-El Oso	51
Figura 18 Dominios Fisiográficos sobre el área de Estudio.	52
Figura 19 Valle fluvial, llanura de inundación del río.....	54
Figura 20 Terraza baja y cauce actual del río Tundayme	54
Figura 21 Terraza media (Tm)	55
Figura 22 Valle en V	56
Figura 23 Relieve colinado bajo	56
Figura 24 Relieve Colinado Medio	57
Figura 25 Relieve colinado alto	58
Figura 26 Relieve colinado alto	58
Figura 27 Coluvio Aluvial antiguo.....	59
Figura 28 Perfiles geológicos del Ecuador	60
Figura 29 Mapa esquemático tectónico (a) y sección (b) para ilustrar el entorno geológico de la Cuenca Amazónica Andina en Ecuador y regiones adyacentes. El complejo de cuencas comprende la cuenca exterior de Oriente y la zona subandina próxima. Compilado de Campbell (1970), Spikingset al. (2001), Ruiz (2002) y Winkler et al. (2005).....	61



Figura 30 Mapa de la Geología Regional de la Parroquia Chicaña	63
Figura 31 a) Contacto tectónico. b) Granodiorita con xenolitos de andesita.....	69
Figura 32 a) Afloramiento de gneis. b) Vetillas de cuarzo	70
Figura 33 a) Afloramiento de Gneis b) Dique meteorizado de andesita	71
Figura 34 a) Afloramiento de roca corneana. b) Roca corneana meteorizada con vetillas de cuarzo	72
Figura 35 Afloramiento de esquistos sobre la Q. Guambime	73
Figura 36 Afloramiento de lutitas marrones	74
Figura 37 Afloramiento de lutitas grises	75
Figura 38 Afloramiento de Caliza	76
Figura 39 a) Afloramiento de calizas. b) Muestra de roca caliza.....	76
Figura 40 Afloramiento 9. Pliegue Chevron.....	77
Figura 41 Afloramiento de depósitos aluviales.....	78
Figura 42 Falla normal	79
Figura 43 a) Falla inversa. b) Superficie de falla con fibras recristalizadas.....	80
Figura 44 a) Falla normal b) Estrías de falla.....	80
Figura 45 a) Falla normal sobre esquistos azules de la Unidad Plan del Oso. b) Deformaciones sufridas en la zona de falla	81
Figura 46 Falla inversa	82
Figura 47 a) Diaclasas b) Vetillas de cuarzo	83
Figura 48 Diaclasas	83



Índice de anexos

Anexo 1. Topografía.....	92
Anexo 2. Perfiles topográficos del área de estudio	92
Anexo 3. Mapa de pendientes	92
Anexo 4. Fotointerpretación	92
Anexo 5. Fichas descriptivas de Afloramientos sobre la Vía Chicaña-El Oso.....	92
Anexo 6. Fichas de descripción macroscópica de rocas.....	92
Anexo 7. Fichas de inventario de deslizamientos	92
Anexo 8. Mapa de Geomorfología	92
Anexo 9. Mapa de Geología Estructural y perfiles geológicos.....	92
Anexo 10. Mapa de Geología Local.....	92
Anexo 11. Certificación de traducción del resumen	93



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

TRABAJO DE TITULACIÓN

1 Título

Levantamiento geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña,
cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe.



2 Resumen

El presente proyecto se desarrolló con el objetivo de realizar un Levantamiento geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia De Zamora Chinchipe”, a través de la generación de la topografía, la determinación de las unidades litológicas y características estructurales, a fin de obtener un mapa del área de estudio a escala 1:10 000

Comprende un estudio litológico y estructural de detalle, que permitió revelar los ambientes de formación, características del metamorfismo y la tectónica de 3 unidades regionales aflorantes en el área de estudio. Comprendiendo las Formaciones Napo, la Unidad Plan del Oso y el Complejo Intrusivo de Zamora.

La geología que atraviesa la vía en estudio se caracteriza por poseer una secuencia que inicia con las rocas metamórficas intensamente deformadas de la Unidad Plan del Oso del precámbrico, en el cual se ha insertado pulsos magmáticos de Granito que también atraviesan al Complejo intrusivo de Zamora, reporta una edad de 210 Ma, en sus partes aflorantes se encuentra meteorizado y deleznable, atravesado por diques andesíticos, y al norte del área de estudio se encuentra sobreyacido por la secuencias sedimentaria de la cuenca Oriente, de esta secuencia aflora la formación Napo del cretácico, e incluye lutitas y calizas, descansando en concordancia sobre la formación Hollín de la cual no se encontró ningún afloramiento, cubiertas por depósitos aluviales del cuaternario.

Con toda la información levantada se obtuvo el mapa geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, con una extensión de 10.8 km y una franja de vía de 250m a cada lado del eje.

Palabras claves: Chicaña, geología estructural, Cuenca Oriente, levantamiento geológico-estructural



2.1 Abstract

The present project was developed to carry out a geological-structural survey of the Chicaña-El Oso Road, Chicaña parish, Yantzaza canton, Zamora Chinchipe province, through the generation of topography, the determination of lithological units and structural characteristics, in order to obtain a map of the study areas at a scale 1:10,000

It includes a detailed lithological and structural study, which revealed the formation environments, metamorphosis characteristics and the tectonics of 3 regional units outcropping in the study area. Comprising Napo Formations, Plan del Oso Unit and the Intrusive Complex of Zamora

The geology that crosses the road of the study is characterized by a sequence that begins with the intensely deformed metamorphic rock of the Precambrian Plan del Oso Unit, which has inserted magnetic pulses of Granite that also cross the Zamora intrusive Complex, reports an age of 210 M. a. in its outcropped parts it is weathered and crumbly, crossed by andesitic dykes, and to the north of the study area, it is overlain by the sedimentary sequences of the Oriental basin. From this sequence emerges the Napo formation of the cretaceous, and includes shales and limestone, resting in concordance on the Hollín formation of which no outcrop was found, covered by the alluvial deposits of the quaternary.

With all the information collected, a geological-structural map of the Chicaña-El Oso road was obtained, with an extension of 10.8 km and a 250m, strip of road on each side of the axis.

Keywords: Chicaña, geology structural, Oriente Basin, geological-structural surveys



3 Introducción

El Ecuador, aunque en extensión territorial es limitado, su geología y características tanto geomorfológicas como estructurales son muy diversas y están relacionadas al hecho de que el territorio forma parte de las estructuras geológicas más importantes de nuestro planeta, que dan origen a zonas estructuro-formacionales entre las que destaca según Paladines (2010): La zona tras Arco o Cuenca de Iquitos, Zona Subandina, Cordillera Real, Graben de Quito, Cordillera occidental y la zona antearco o costanera

En este estudio se abordará las zonas relacionadas a la cordillera Real, zona subandina y Cuenca Oriente, siendo esta última considerada como una de las más complejas y atractivas cuencas sedimentarias de tras arco de los andes septentrionales (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004), se constituye de diversos ciclos tectónicos y sedimentarios que se desarrollaron sobre un basamento de rocas ígneas y metamórficas del precámbrico asociado al Escudo Guayano-Brasileño

El centro y norte de la Cuenca Oriente ha sido ampliamente estudiadas, sin embargo, en la región sur oriental del Ecuador, la información geológica es muy limitada y generalizada a proyectos geológicos regionales de escala 1:100000 y geomorfológicos 1:25000; no se han realizado estudios a detalle que puedan definir características litológicas, estructurales, estratigráficas y ambientes de depositación. Esta falta de información genera confusión, y un vacío al intentar realizar análisis estratigráficos o de planificación territorial, impidiendo desarrollar una interpretación completa de los eventos geológicos que actuaron en el pasado y actúan en la región

El área de estudio se encuentra ubicada al sur del Ecuador en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yantzaza, parroquia Chicaña, sobre la vía que conecta la cabecera parroquial con el barrio El Oso y sirve de conexión para los sectores El Salado, Los Guayacanes, Guambime, San Luis, Chuchumbleza Alto, Chanzas y La Orquídea. Esta arteria vial se ve afectada principalmente por la presencia de fallas geológicas, características en casi todo el territorio parroquial, que, en combinación con factores de pendiente, litología y temporadas climáticas fuertes, dan las condiciones adecuadas para producir desplazamientos y afectaciones, como los últimos registrados en los meses de junio y julio del 2020, que impiden



el acceso a los barrios con los que esta vía conecta, pues no existen vías alternas a las que pueda recurrir la población.

La información geológica que se encuentra en el PDOT de la parroquia es escasa, y no representa la situación actual del área de estudio, considerando así que, un levantamiento geológico-estructural sobre esta vía, permitirá generar información base de sus características litológicas y estructurales, que aporte al desarrollo del marco geológico de la región sur del Ecuador, definiendo parámetros que nos ayuden a conocer las características estructurales, de distribución litológicas y estratigráficas, que además servirá para la realización de proyectos posteriores sobre esta área.



4 Marco teórico

4.1 Geología

En su Manual de Geología, Varela (2014) la define como “la rama de las Ciencias Naturales que se ocupa del estudio de la Tierra. Su dominio es el estado inorgánico de la materia. Su contraparte es la Biología, que estudia en los seres vivos el estado orgánico de la materia”.

Gorshkov & Yakushova (1970) por su parte se refieren a la geología como “la ciencia que trata de la Tierra, de su constitución, estructura y desarrollo, y de los procesos que tienen lugar en ella, en sus envolturas aéreas, hídrica y pétreas”.

Según Tarbuck & Lutgen (2005), es la ciencia que persigue el conocimiento del planeta tierra.

Generalmente se divide en dos amplias áreas; la geología física que estudia los materiales de la Tierra (minerales y rocas) así como los procesos que operan dentro y fuera de la superficie, y la geología histórica que trata del origen y evolución de la Tierra, sus continentes, océanos, atmósfera y la vida.

4.2 Las rocas

Se entiende como roca a un material sólido originado por procesos naturales y constituido por partículas minerales enlazadas entre sí por las fuerzas de interacción molecular o por sustancias cementantes, o a manera más sencilla una roca es un agregado de minerales. Un agregado significa que los minerales están unidos de tal forma que se conservan las propiedades de cada uno

Un material para ser denominado como mineral debe cumplir con las condiciones de aparecer como natural, inorgánico, sólido, y lo más importante, tener una estructura interna ordenada y su composición química definida. Cabe mencionar que son pocas las rocas que están compuestas casi por completo de un solo mineral (caliza)



Tarbuck & Lutgen (2005), indican que “la naturaleza y el aspecto de una roca están fuertemente influidos por los minerales que la componen. Además, la textura de una roca, es decir, el tamaño, la forma o la disposición de los minerales que la constituyen, también tiene un efecto significativo en su aspecto”. La composición mineral y la textura de una roca, a su vez, son el reflejo de los procesos geológicos que la crearon.

Esta comprensión tiene muchas aplicaciones prácticas, como en la búsqueda de recursos minerales y energéticos básicos y la solución de problemas técnicos y ambientales.

4.2.1 Tipos de rocas básicas

Fundamentalmente las rocas se dividen en tres grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Tarbuck & Lutgen (2005) indican que “Cada grupo está relacionado con los demás por los procesos que actúan sobre el planeta y dentro de él”.

- *Rocas ígneas.* Se originan por el enfriamiento y solidificación de un magma. Tarbuck & Lutgen (2005) mencionan que, “cuando el magma permanece en el interior profundo de la corteza, se enfría lentamente durante miles de años. Las rocas ígneas de grano grueso que se forman muy por debajo de la superficie se denominan *plutónicas*. A veces el magma se abre paso hacia la superficie de la Tierra, como durante una erupción volcánica. Dado que se enfría con rapidez en un ambiente de superficie, la roca fundida se solidifica muy deprisa y no hay tiempo suficiente para que crezcan grandes cristales. Entonces se produce la formación simultánea de muchos cristales pequeños, estas se denominan *volcánicas* y suelen ser de grano fino”.
- *Rocas sedimentarias.* Se originan por la consolidación de materiales depositados previamente en zonas deprimidas, tras la erosión y transporte de otras rocas como consecuencia de la actuación de agentes externos como el agua, el viento, hielo, etc.
- *Rocas metamórficas.* Se originan por transformaciones químicas, mineralógicas y texturales en estado sólido de rocas previas que han estado sometidas a presiones y temperaturas en zonas profundas. Así, cada roca metamórfica tiene una roca madre, es decir, la roca a partir de la que se ha formado.



Tarbuck & Lutgen (2005) menciona que “La mayor parte del metamorfismo sucede en uno de estos tres ambientes: 1. Cuando un cuerpo magmático intruye en la roca, tiene lugar el *metamorfismo térmico o de contacto*. En este caso, el cambio está controlado por un aumento de la temperatura dentro de la roca huésped que rodea una intrusión ígnea. 2. El *metamorfismo hidrotermal* implica alteraciones químicas que se producen cuando el agua caliente rica en iones circula a través de las fracturas de la roca. Este tipo de metamorfismo suele asociarse con la actividad ígnea que proporciona el calor necesario para provocar reacciones químicas y hacer que estos fluidos circulen a través de la roca. 3. Durante la formación de las montañas, grandes cantidades de rocas enterradas a una gran profundidad están sujetas a las presiones dirigidas y a las temperaturas elevadas asociadas con la deformación a gran escala denominada *metamorfismo regional*. El grado de metamorfismo se refleja en la textura de la roca y la composición mineral.

Todos estos tipos de rocas no existen de forma individual, sino que, son el resultado de un ciclo, en donde experimentan cambios por distintos factores tanto físicos como químicos que las configuran, tal como se presenta en la Figura 1.

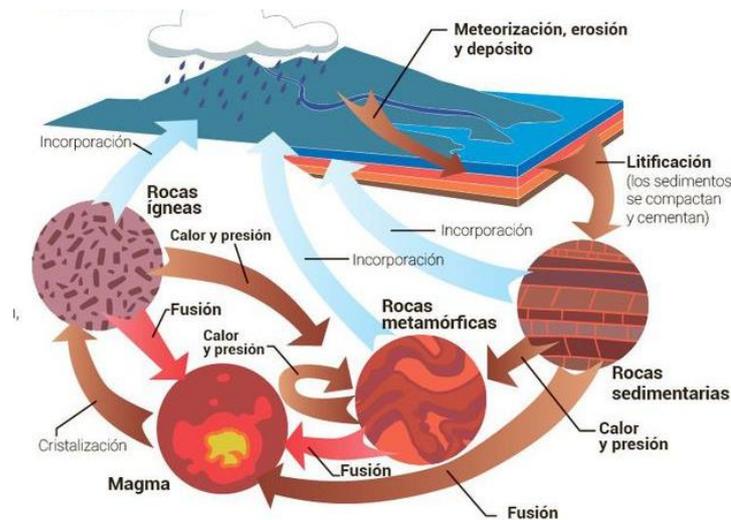


Figura 1. Ciclo de las rocas
Fuente: www.abc.com.py



4.3 Geología estructural

Belouso (1979) Indica que “la geología estructural es una parte de la geotectónica, es decir, de esa asignatura geológica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones que en ella tienen lugar”

Billings (1954) La denomina como “el estudio de la arquitectura de la tierra en tanto es determinada por movimientos terrestres. Los movimientos que afectan las rocas sólidas resultan de fuerzas dentro de la tierra, y causan pliegues, diaclasas, fallas y clivaje”. El movimiento del magma debido a que con frecuencia está íntimamente asociado con el desplazamiento de rocas sólidas, es también un tema que está dentro de la geología estructural.

Con lo anterior podemos decir que la geología estructural estudia los efectos de los esfuerzos sobre la superficie terrestre. Y para entender mejor esta disciplina debemos considerar el término esfuerzo y deformación. El esfuerzo por su parte es la fuerza que actúa sobre cada unidad de área en un cuerpo rocoso. La deformación es el efecto directo de la acción de los esfuerzos (fallas y pliegues) en la naturaleza, responde a patrones que se rigen mediante reglas físicas y geométricas.

4.4 Estratigrafía

Vera (1994) en su libro de Estratigrafía. Principios y métodos, señala que el término *Estratigrafía*, proviene del latín *stratum* y del griego *graphia*, “ciencia que trata de la descripción de las rocas estratificadas”.

Una de las primeras definiciones es la que hizo Grabau (1913), en el primer libro de Estratigrafía quien consideró a la Estratigrafía como "la parte inorgánica de la Geología Histórica o el desarrollo a través de sucesivas edades geológicas del armazón rocoso de la Tierra o litosfera"



Es importante considerar más definiciones de esta ciencia para comprender y aplicarla al desarrollo de nuestro proyecto. Así dos definiciones previas se han seleccionado, por considerarlas como más significativas. Weller (1960) definió la Estratigrafía como *"la rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de rocas"*. (Corrales, Rosell, Sanchez, Vera, & Villas, 1977) la definieron 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"*.

4.4.1 Principios de la estratigrafía y sedimentología

1. *Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos* (Steno 1669) dice: "los estratos en el momento de su sedimentación son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y quedan delimitados por dos planos que muestran continuidad lateral".
2. *Principio de la superposición de estratos*: Steno (1669) y aplicado por Lehmann (1719-1767) para levantar las primeras series estratigráficas, establece que: "La ley establece simplemente que, en una secuencia no deformada de rocas sedimentarias, cada estrato es más antiguo que el que tiene por encima y más joven que el que tiene por debajo".
3. *Principio del actualismo o uniformismo*: Enunciado por Hutton (1788) y desarrollado por Lyell (1830) dice: "Los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo)".
4. *Principio de la sucesión faunística*: Postulado por Smith (1799) y desarrollado por Couvier es la base de la zonación Paleontológica y por tanto de la datación relativa y de la correlación estratigráfica mediante criterios paleontológico. Establece que: "Los organismos fósiles se suceden en un orden definido y determinado, de manera



que cada período puede reconocerse por sus fósiles característicos”; es decir los estratos que contienen los mismos fósiles son de la misma edad.

5. *Principio de la simultaneidad de procesos*: “En la naturaleza ocurrieron procesos normales, como los que observamos en la actualidad, pero además hubo otros procesos raros y eventuales (eventos) que mayoritariamente se corresponden con las grandes catástrofes”.

4.5 Cartografía de las estructuras geológicas

Tarback & Lutgen (2005) indican que “La cartografía geológica se realiza con mucha más facilidad cuando los estratos afloran en la superficie. Esto se debe a que los sedimentos suelen depositarse en capas horizontales. Si los estratos de rocas sedimentarias siguen estando horizontales, esto les dice a los geólogos que probablemente el área no ha experimentado modificaciones estructurales. Pero si los estratos están inclinados, doblados o rotos, esto indica que se produjo un período de deformación después de la deposición”.

4.5.1 Dirección y buzamiento

Ayudan a determinar la orientación de un estrato rocoso o de una superficie de falla, y permiten hacer una estimación de la naturaleza y la estructura de las unidades rocosas y las fallas que están ocultas debajo de la superficie fuera del alcance de nuestra vista.

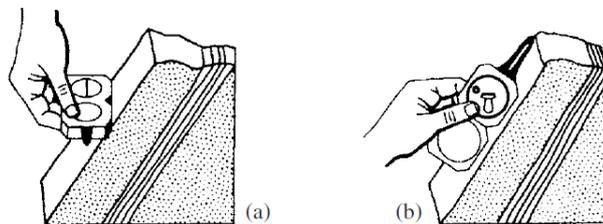


Figura 2 a. dirección, b. buzamiento
Fuente. (Ragan, 2009)



Basándose en la información que nos proporciona Tarbuck & Lutgen (2005) “*La dirección* es el ángulo entre el norte magnético y una línea obtenida mediante la intersección de un estrato inclinado, o falla, con un plano horizontal. La dirección, o rumbo, se suele expresar como el valor de un ángulo en relación con el norte. El *buzamiento* es el ángulo de inclinación de un plano geológico, como por ejemplo una falla, medido desde un plano horizontal”. El buzamiento incluye tanto el valor del ángulo de inclinación como la dirección hacia la cual la roca está inclinada.

Esos datos se representan luego en un mapa topográfico o en una fotografía aérea junto con una descripción codificada por colores de la roca. A partir de la orientación de los estratos, puede establecerse la orientación y la forma supuestas de la estructura; con esta información, se puede reconstruir las estructuras previas a la erosión y empezar a interpretar la historia geológica de la región.

4.5.2 *Pliegues.*

Son ondulaciones u olas en las rocas de la tierra. Alcanzan su mayor desarrollo en formaciones estratificadas tales como rocas sedimentarias y volcánicas, o sus equivalentes metamorfizados. (Billings, 1954)

Entre sus partes tal como se muestra en la figura 3, tenemos

- Los dos lados de un pliegue se denominan *flancos*.
- Una línea trazada a lo largo de los puntos de máxima curvatura de cada estrato se llama línea de charnela, o simplemente *charnela*, esta puede ser horizontal, o paralela a la superficie. Sin embargo, en los pliegues más complejos, la charnela del pliegue está a menudo inclinada según un ángulo conocido como *inmersión*
- El plano *axial* es una superficie imaginaria que divide un pliegue de la manera más simétrica posible, puede ser inclinado, vertical u horizontal.
- La intersección de la charnela y el plano axial determina el eje que indica la dirección del pliegue

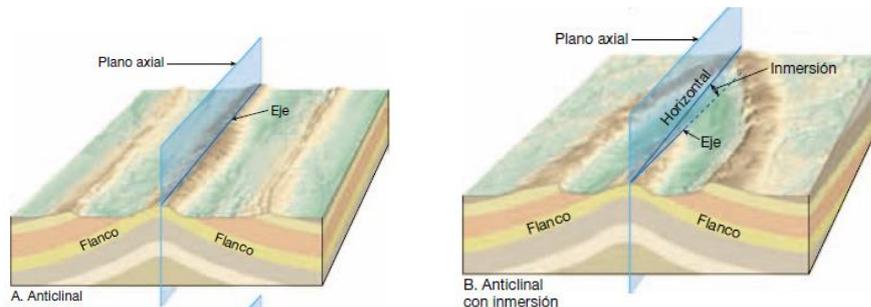


Figura 3 Partes de un Pliegue
Fuente: (Tarbuck & Lutgen, 2005)

Los dos tipos de pliegues más comunes son los anticlinales y sinclinales. El anticlinal es un pliegue convexo hacia arriba (rocas más antiguas hacia el centro de la curvatura). Los pliegues sinclinales se encuentran cóncavos hacia arriba (las rocas más jóvenes hacia el centro de curvatura)

4.5.3 Fallas

Davis, Reynolds, & Kluth (2012) indican que “las fallas son discontinuidades a lo largo de las cuales hay un desplazamiento visible por el desplazamiento cortante. Las fallas pueden ocurrir como rupturas individuales discretas a lo largo de fracturas, pero donde la roca ha sufrido fallas repetidas, o donde la roca es especialmente débil, sin fracturas o discontinuidades únicas y discretas puede ser evidente. Lo que se forma en cambio es una zona de falla compuesta de innumerables subparalelas e interconectadas superficies de deslizamiento muy próximas. Fallando es fundamentalmente un mecanismo frágil para lograr el desplazamiento de corte. En los profundos niveles de la corteza, donde las rocas tienden a deformarse plásticamente en condiciones de elevada temperatura y presión de confinamiento, el desplazamiento de cizallamiento se logra mediante el desarrollo de zonas de corte”. Son rupturas a lo largo de las cuales las paredes opuestas se han movido con relación a la otra (ver figura 4). Su extensión puede ser desde centímetros hasta centenares de kilómetros de longitud.

Por el contrario, si no ocurre desplazamiento o si éste es demasiado pequeño para que sea visible, la fractura se denomina *diaclasa*. Las *vetas* son fracturas rellenas con minerales secundarios tales como cuarzo, calcita, etc.

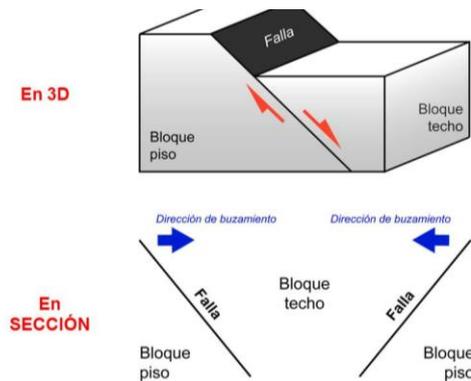


Figura 4 Esquema de Falla
Fuente: (Explorock, 2019)

Tarbutck & Lutgen (2005) Indican que los dos tipos principales de fallas con desplazamiento vertical se denominan fallas normales y fallas inversas.

- *Falla Normal.* Conocidas también como gravitacionales y son aquellas en las cuales el techo desciende en relación con el piso. Estas fallas indican un alargamiento en la corteza terrestre.
- *Falla Inversa.* Conocida también como fallas de empuje y son aquellas en las cuales el techo asciende en relación con el piso. Esto significa un acortamiento vertical e implica compresión de la corteza terrestre.

4.5.4 Diaclasas

Neimeyer (2008) En su libro las define como “Fracturas a lo largo de las cuales no existe desplazamiento. Es un plano de discontinuidad en la roca, sin desplazamiento”. Las diaclasas tienen gran importancia práctica, ya que determinan en gran parte las propiedades geomecánicas y la porosidad de origen tectónico de un macizo rocoso.

Por ello tienen un significado inmediato en minería y en labores a tajo abierto, en canteras, diseño de obras ingenieriles, circulación de aguas subterráneas, reservorios de hidrocarburos y circulación de fluidos hidrotermales y depósitos minerales.

Su edad generalmente no se conoce, se reactivan fácilmente como fallas, no representan una magnitud de strain cuantificable o de importancia y, finalmente, existen varios mecanismos posibles que explican su origen.



4.5.5 *Discordancias*

Billings (1954) las define como “Una superficie de erosión, o de no deposición, que separa estratos más jóvenes de rocas más antiguas. El desarrollo de una discordancia comprende varias etapas. La primera es la formación de la roca más antigua, seguida, en la mayoría de los casos, de levantamiento y erosión subaérea”.

Las variedades más importantes son: discordancia angular, erosiva, local y la no concordancia

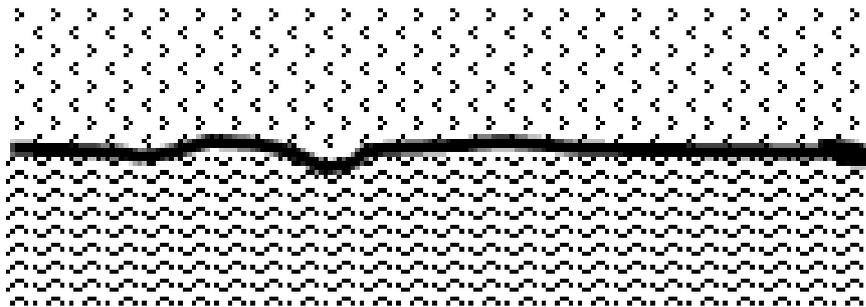


Figura 5. Discordancia

4.6 Geomorfología

La geomorfología se encarga del estudio sistemático de las formas de relieve de la tierra, este término tiene sus raíces griegas: geo = tierra, morphe = forma y logia = ciencia. Es decir, es la ciencia que estudia las formas de la superficie terrestre y sus orígenes.

Schumm (1991), define a la geomorfología como “La ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales, y procesos, implicando los sólidos, líquidos y gaseosos.

La geología física nos enseña que sobre las formas terrestres externas actúan diferentes procesos, estos procesos se dividen básicamente en dos grupos: los procesos endógenos y los procesos exógenos.

Así los procesos endógenos trabajan desde el interior de la tierra, deformando la corteza y tienen una influencia importante sobre la forma del moldeado de la superficie. A ellos pertenecen la formación de montañas, los terremotos y el volcanismo. Los procesos exógenos que son los más dinámicos actúan directamente en la superficie terrestre o desde el exterior de la tierra. A ellos pertenecen las fuerzas del agua, hielo, viento, gravedad y trabajo del hombre cuya presencia actúa sobre las formas terrestres.



Las formas del paisaje para un mejor entendimiento tienen que dividirse en clases o grupos, categorizando aquellas con características similares sea en forma u origen.

Existen diferentes factores condicionantes dentro de la geomorfología, entre los cuales se pueden resaltar: geográficos, geológicos, bióticos y antrópicos (Coque, 1987).

Esta ciencia se organiza en las siguientes grandes áreas como son: Geomorfología estructural, Geomorfología Dinámica y Geomorfología Aplicada.

4.6.1 Geomorfología aplicada

Es importante mencionar la definición sencilla que nos presenta Hugget (2003) en donde indica que la geomorfología aplicada estudia las interacciones de los humanos con las formas y los paisajes.

Así las aplicaciones de la geomorfología se dividen en dos grandes clases. 1. El hombre como agente geomorfológico, en términos de sus efectos, inadvertidos sobre los procesos y las formas geomorfológicas. 2. La geomorfología como ayuda para valorar la ubicación, construcción ingenieril y planificación

En el desarrollo del presente trabajo se considerará la geomorfología aplicada a la ingeniería pues el área de estudio está estrechamente ligado a obras lineales.

4.6.2 Geomorfología estructural

“La geomorfología estructural por su parte se ocupa del estudio de modelados que deben su carácter a sus litologías y a las estructuras de las rocas y se conoce como modelados estructurales” (Twidale, 1971). El término estructural no abarca únicamente los factores pasivos inherentes al tipo de roca (litología) y a la disposición de los estratos sino también a los cambios activos y continuos de estas propiedades

4.6.3 Geomorfología dinámica

Estudia los procesos elementales de erosión, de los agentes de transporte, del ciclo geográfico y de la naturaleza de la erosión.



Dentro de este contexto geomorfológico para una mejor clasificación de las diferentes geoformas existentes en el área de estudio se puede ayudar o categorizar las diferentes pendientes en base a la clasificación siguiente:

Tabla 1 *Clasificación de pendientes*

Término de la pendiente	Categoría (°)
Ligeramente inclinado	0 - 5
Fuertemente inclinado	>5 - 15
Muy inclinado	>15 - 35
Empinado	>35 - 55
Vertical	>55 - 90

Fuente: (Demek, 1972)

4.7 Mapeo geológico

Martinez (1981) en su libro sobre Mapas geológicos lo define como “el más generalizado instrumento de representación de la información (fundamental o aplicada) de índole geológica, referida a la zona superficial o subsuperficial de la corteza terrestre, en general, y de alguna parte de la misma, en particular”

Resulta de proyectar sobre un plano los siguientes valores

1. Extensión de los distintos materiales geológicos y grupos o agrupaciones de los mismos
2. Relaciones geológicas diversas existentes entre los mencionados materiales y eventuales agrupaciones realizadas

Estos valores fueron previamente identificados en el terreno mediante reconocimientos, prospecciones y estudios diversos; todos integrables, genéricamente, dentro de la acción profesional denominada cartografía geológica

Es el arte y la metodología de graficar o proyectar en 2 dimensiones (dimensión plana). El producto resultante puede ser un esquema, plano o mapa, dependiendo de la rigurosidad o escala del levantamiento geológico



Las características geológicas pueden ser elementos poligonales completos como afloramientos rocosos, límites de cuerpos litológicos mineralizados. También elementos lineales como fracturas, fallas, o contactos entre 2 entes geológicos diferentes como diferente litología. Dependiendo de la escala a utilizar, habrá características que se podrán representar o no en el plano

4.7.2 Tipo de mapas geológicos

Para presentar los tipos de mapas geológicos tomaremos como base bibliográfica a (Martínez, 1981)

A. Las características propias de la base de representación permitirán establecer las primeras acepciones, son estas:

- *Bosquejo*, para los "Mapas" (representaciones) en los que la base es únicamente planimétrica.
- *Esquema*; cuando la planimetría y altimetría constituyen soporte o pase del trazado.
- *Mapa*, para el caso en que la traslación de valores y atributos geológicos se realiza sobre bases completas (i) planimétrico, (ii) altimétricas y (iii) orográficas.

B. La escala es un elemento fundamental de todos los sistemas de representación gráfica; también obviamente de la cartografía geológica.

- *De detalle*. Menores de 1: 10 000. Utilizadas en la representación geológica de gran detalle y precisión. Llamadas escalas aplicadas o de aplicación por ser propias de los proyectos mineros, geotécnicos, hidrogeológicos, etc.
- *Normales*. Mayores de 1:10 000 hasta 1:100 000 incluida. Son las escalas habituales para recopilar los datos geológicos de carácter informativo e infraestructural general
- *Sintéticos*. Mayores de 1: 100 000 su misión es esencialmente sintética, resaltando los aspectos geológicos más extendidos y generales
- *Muy sintéticos*; Mayores de 1: 1 000 000. Destinadas a facilitar visiones de conjunto en relación con la tierra, continentes o amplias regiones de la misma; recogen aspectos muy generales o comunes de nexo geológico fundamental



C. El tipo de valores y atributos geológicos que destaca y resalta. En relación con esto se distinguen dos grandes grupos:

- ✚ *Generales*; cuando representan todo tipo de valores geológicos de índole fundamental o aplicado, aun cuando sea con variable intensidad
- ✚ *Específicos*: dedicados a representar con exclusividad o más intensidad un valor o grupo de valores entre sí relacionados, ya sean fundamentales o aplicados

4.7.3 *Métodos de mapeo geológico*

Lisle, Brabham, & Barnes (2011) Indican que el mapeo geológico implica la realización de observaciones geológicas objetivas en el campo y registrarlas.

Sin embargo, a diferencia de la elaboración de un mapa topográfico, el proceso no es sólo una cuestión de registro de datos fácticos. Los datos disponibles para el geólogo suelen ser limitados por falta de roca expuesta (afloramientos), por lo que es inevitable que también se requiera interpretación por parte del geólogo de campo. De hecho, es este trabajo de detective lo que hace al mapeo geológico una experiencia tan satisfactoria.

Los mapas geológicos muestran patrones de color a menudo dramáticos e intrincados, cada uno correspondiente a una unidad geológica o formación diferente. El término formación se refiere a una unidad de roca mapeable, en lugar de a una exposición de lecho rocoso que muestra una forma curiosa o interesante. Una formación se compone de un conjunto de rocas que poseen colectivamente algo distintivo que hace que el conjunto sea reconocible en toda la región que se está cartografiando y distinguible de otras formaciones. No existe una forma única de subdividir las rocas de una región en formaciones; depende del juicio del geólogo y también de la escala del mapeo

El primer día más o menos en el campo se suele dedicar al trabajo de reconocimiento, para ganar una impresión inicial de:

1. Los tipos de rocas presentes
2. El "grano estructural" general; y
3. Los problemas de topografía, dónde existen exposiciones de rocas, rutas, y acceso



Greenly & Williams (1930) Describen tres diferentes estrategias para producir un mapa geológico. Estos, conocidos como: siguiendo contactos, los mapas de recorrido y exposición, se describen en las secciones siguientes.

- ✚ *Mapeo siguiendo contactos.* Las formaciones, rara vez se componen de una sola litología (tipo roca) porque las rocas, por su propia naturaleza, tienen una composición variable a pequeña escala. Se trazan líneas en mapas geológicos para mostrar los límites de las formaciones individuales. Estas líneas a menudo se denominan contactos. Su objetivo es rastrear los contactos entre diferentes formaciones rocosas, grupos y tipos y mostrar en un mapa dónde ocurren. Ocasionalmente, se puede ver un contacto directamente; en otros lugares, los contactos no están expuestos continuamente y deben inferirse. A veces, los contactos se pueden seguir más fácilmente y más con precisión en fotografías aéreas, estas muestran pequeños cambios en la topografía y la vegetación que no se pueden detectar en el suelo pero que indican la posición del contacto incluso cuando está oculto por depósitos superficiales. Una vez trazadas en las fotografías, se verifica la posición del contacto en el campo en sus puntos más accesibles.

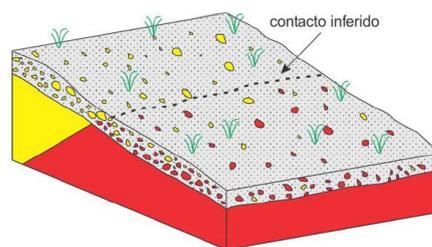


Figura 6 La presencia de fragmentos de rocas en el derrubio ayuda a ubicar la posición aproximada de un contacto

Fuente: (Echeveste, 2017)

- ✚ *Atravesar.* Es un método para cubrir el terreno con el detalle requerido por su empleador. Una travesía se realiza recorriendo una ruta más o menos predeterminada desde un punto del mapa a otro, trazando la geología en el camino. Los cruces son una forma excelente de controlar la densidad de sus observaciones. Deben planificarse para cruzar el grano geológico general de la parte de la región en la que se está trabajando, y en el trabajo de reconocimiento, que es su uso principal, se pueden caminar varios cruces aproximadamente paralelos a través del país a intervalos muy espaciados.



✚ *Mapeo de exposición.* La cartografía por exposiciones es el pilar de una cartografía muy detallada a escalas de 1:10 000 o más. El alcance de cada exposición, o grupo de exposiciones, se indica en el mapa de campo coloreándolos con el lápiz de color elegido para esa formación. Marcar los límites de exposiciones muy grandes ayuda objetivamente en el campo: delinear la exposición y luego trazar un mapa dentro de ella. Si es complejo, o si hay características específicamente interesantes para ver, se puede dibujar un mapa de boceto. Una exposición de 10m² es solo 1 mm² en su mapa 1:10 000. La razón del mapeo de la exposición debe ser clara. Muestra la evidencia fáctica en la que se basa su interpretación de la geología; muestra lo que ha visto, no lo que infiere. Un mapa de campo debidamente preparado no debe dejar ninguna duda sobre la calidad de la evidencia en la que se basa.

De lo anterior, resultará evidente que no existe un método de mapeo único para cubrir todas las eventualidades. Por lo que se mencionan otros métodos adicionales más comunes:

- ✚ *Perforación.* La perforación es más utilizada comúnmente para probar formaciones rocosas en profundidad, para resolver problemas estructurales u obtener muestras profundas de rocas y minerales. Se utiliza para encontrar minerales, explotar agua, en ingeniería de suelos y por supuesto en hidrocarburos.
- ✚ *Fotogeología.* Es la interpretación sistemática de la geología a partir de fotografías aéreas. Se puede utilizar como método de reconocimiento geológico con solo una comprobación limitada del terreno, o como complemento de la cartografía geológica ortodoxa.

4.8 Proyecciones estereográficas

La proyección estereográfica es una herramienta fundamental en geología estructural y se utiliza para representar datos de orientación en 3D, en una forma gráfica 2D. Comúnmente se utiliza para resolver problemas que incluyen las relaciones angulares de líneas y planos en espacio 3D. No pueden ser utilizadas para resolver problemas que incluyan las posiciones geográficas relativas de líneas y planos. (McClay, s.f)



4.8.1 Tipos de proyección estereográfica

Se pueden utilizar dos tipos de proyecciones estereográficas —la red de Wulff o red de ángulos iguales y la red de Schmidt o red de áreas iguales. La red de Wulff se utiliza para resolver relaciones angulares, particularmente cuando se hacen construcciones geométricas sobre la red, mientras que la red de Schmidt se utiliza para resolver relaciones de ángulos y para evaluar estadísticamente relaciones angulares utilizando proyecciones estereográficas de contornos.

4.9 Topografía

Según Alcantara (2014), la topografía “es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, así como la representación en un plano de una porción (limitada) de la superficie terrestre; es decir, estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada”

Otra definición importante de mencionar es la que nos proporcionan García, Rosique, & Segado, (1994), en la que indican que “la topografía se ocupa del estudio de los métodos para obtener la representación plana de una superficie terrestre con todos sus detalles. Los mapas topográficos representan mediante curvas de nivel la topografía del terreno. Estos mapas también muestran mediante símbolos, los rasgos geográficos (ríos, lagos, montes y playas) y rasgos culturales (cultivos, carreteras, líneas férreas, fronteras estatales, zonas urbanas, aeropuertos, entre otros)”.

Así podemos decir que la topografía es una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados con la ingeniería en general, siendo común en la mayoría de las carreras técnicas que se estudian en nuestro país, pues en casi todo proyecto se necesita de un modelo del terreno para poder proyectar nuestras ideas

4.10 Modelos digitales de terreno

Durante la última década se han desarrollado nuevas formas de crear modelos topográficos digitales detallados y precisos de la superficie de la Tierra, que están demostrando ser de gran ayuda para la cartografía geológica.



Lisle, Brabham, & Barnes (2011), mencionan que los modelos de paisaje por computadora se conocen como Modelos Digitales de Terreno (DTM) o Modelos Digitales de Elevación (DEM); son aproximaciones matemáticas de la compleja superficie topográfica 3D de un área de estudio determinada. Los geólogos utilizan los modelos de terreno para:

- ✚ Crear una "imagen" detallada del paisaje del área de estudio como ayuda para el reconocimiento antes del programa de campo. Las técnicas de análisis del terreno también se pueden utilizar, por ejemplo, para calcular de forma remota secciones transversales topográficas o mapas de ángulos de pendiente.
- ✚ Producir un mapa base preciso para el mapeo de campo.
- ✚ Ayude a crear visualizaciones de paisajes en 3D. El mapa geológico final se puede colocar sobre el modelo de paisaje 3D para mostrar las relaciones entre estructuras geológicas, litologías y morfología del paisaje.
- ✚ Ayudar en estudios tectónicos / isostáticos globales, midiendo movimientos de tierra a gran escala como consecuencia de levantamientos tectónicos regionales o terremotos

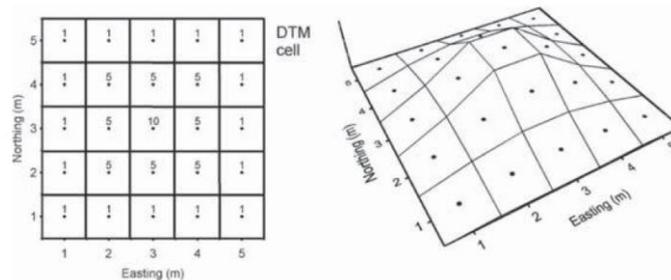


Figura 7 Representación visual de un modelo digital de terreno (DTM). El paisaje se divide en celdas cuadradas y la elevación promedio de cada celda calculado.

Fuente (Lisle, Brabham, & Barnes, 2011)

4.11 Descripción de macizos rocosos.

Se define como macizo rocoso a la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas



4.11.1 Clasificación Geomecánica de macizos rocosos

Existen un sin número de sistemas de clasificación de macizos rocosos, como material ingenieril, dentro de los cuales tenemos el índice de calidad RMR “rock mass rating”, “valoración de la Masa Rocosa” en español, planteado por Z.T Bieniawski en 1973 (8 parámetros), que es un método de clasificación cuali-cuantitativo; luego con los diferentes trabajos efectuados, con actualizaciones hasta 1989 (5 parámetros) que es la última versión, permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, de excavaciones y sostenimiento en túneles, mismo que se basa en una serie de variables que se verán en el desarrollo del presente trabajo.

Dentro de las variables que este sistema considera incidentes en el comportamiento geomecánico del macizo tenemos (ver tabla 2):

Tabla 2 Variables del índice RMR (Bieniawski, 1989))

Variable	Valor máximo
(1) Resistencia del material intacto (ensayo carga puntual o compresión simple)	15
(2) R.Q.D.	20
(3) Distancia o espaciamiento entre las discontinuidades	20
(4) Condición de las discontinuidades	30
(5) Agua subterránea	15

Fuente: Autora basado en información bibliográfica de (Belandria & Bongiorno, 2012)

En el primer parámetro (1), hay que recordar que se refiere a la roca intacta, más no la resistencia de la masa rocosa. Ya obtenidas las puntuaciones de cada una de estas 5 variables, se debe efectuar la suma de estas 5 variables con la siguiente fórmula.

$$\mathbf{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

El resultado obtenido de la sumatoria de cada uno de estos parámetros varía de 1 a 100, en base a dicho resultado se clasifica finalmente el macizo rocoso (ver tabla 3)



Tabla 3 *Clasificación RMR*

Clase	Calidad de roca	RMR
I	Muy buena	81-100
II	Buena	61-80
III	Regular	41-60
IV	Mala	21-40
V	Muy mala	0-20

Fuente: (*Belandria & Bongiorno, 2012*)

En esta tabla se distinguen 5 clases, a cada clase se le asigna una calidad y unas características geotécnicas. Cabe señalar que cada parámetro no contribuye necesariamente de igual manera al comportamiento del macizo.

Todos los parámetros que propuso Bieniawski en su última modificación, y sus respectivas evaluaciones se presentan en la tabla 4.



Tabla 4 Clasificación Geomecánica RMR (Bieniaswki, 1989); Parámetros de Clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión Simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	<0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5 mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy Alterada	Descompuesta		
		Puntuación.	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de Túnel	Nulo	<10 L/min	10-25L/min	25-125 L/min	>125 L/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Nota : Elaborado por la (Autora,2022) basada en información bibliográfica

4.12 Movimientos en masas

Las clasificaciones de movimientos en masa de Varnes (1958, 1978) y Hutchinson (1968, 1988) son, hoy en día, los sistemas más ampliamente aceptados en el mundo de habla inglesa e hispana. Varnes (1958 y 1978) emplea como criterio principal en la clasificación, el tipo de movimiento y en segundo lugar, el tipo de material. Así, divide los movimientos en masa en cinco tipos: caídas, vuelcos, deslizamientos, propagaciones y flujos. Además, divide los materiales en dos clases: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierra. (Grupo de Estándares para Movimientos en Masa, 2007)



Cruden y Varnes (1996) propusieron modificaciones a la clasificación de Varnes (1978) que introducen un marco taxonómico multidimensional. (Cruden & Varnes, 1996)

Los movimientos de masa según (Varnes, 1978), son movimientos hacia abajo y/o hacia fuera, de materiales que forman una ladera o talud, debido a la influencia de la gravedad a partir de un factor que sirve de detonante o fuerza natural desencadenante como son: los sísmicos, volcánicos, presión de gases y exceso de humedad.

Para la clasificación de los deslizamientos se presenta el sistema propuesto por Cruden y Varnes (1996)

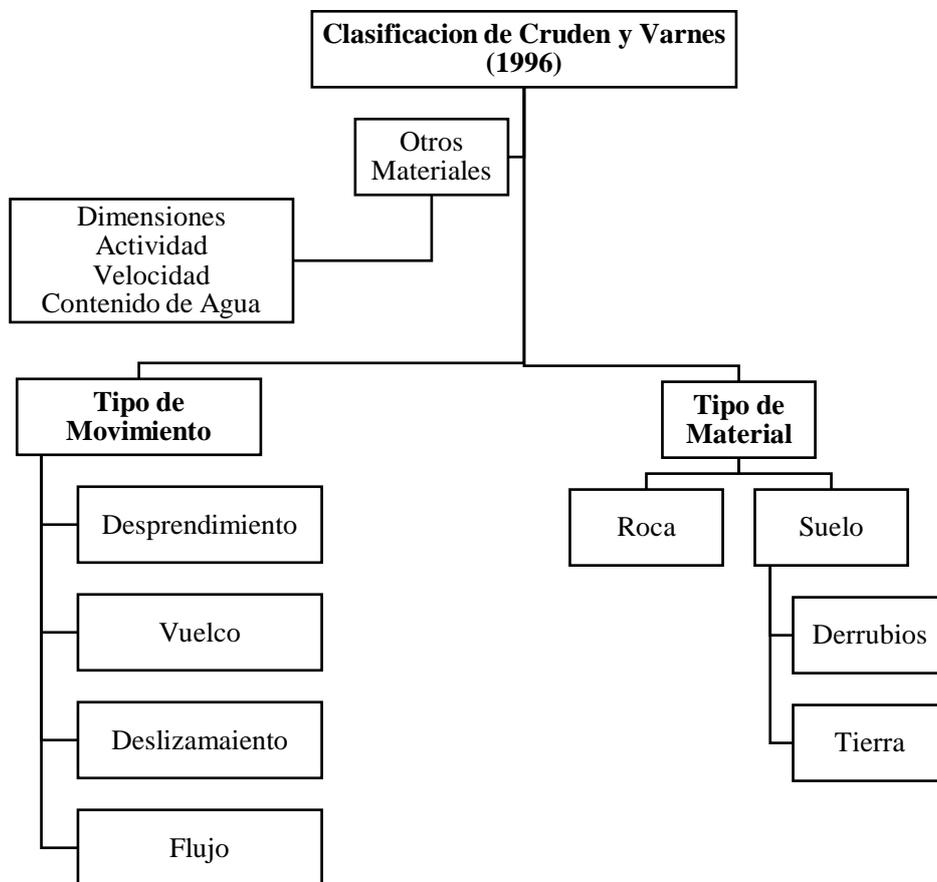


Figura 8 Clasificación de los Movimientos en masa propuesta por Cruden y Varnes (1996)



5 Metodología

5.1 Área de estudio

5.1.1 Ubicación

La vía en estudio se ubica en la región sur este del Ecuador, en la parroquia Chicaña, perteneciente al cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe, con una longitud de 10.8 Km, que une la cabecera parroquial con el barío El Oso, cuyas coordenadas geográficas (UTM WGS-84, ZONA 17S) son las siguientes:

Tabla 5 *Coordenadas de ubicación del proyecto UTM-WGS-84, Zona 17S*

COORDENADAS UTM (DATUM WGS 84 ZONA 17S)			
PUNTO DE INICIO		PUNTO FINAL	
Sector Chicaña		Sector El Oso	
Longitud	Latitud	Longitud	Latitud
750150 m E	9588036 m N	754450 m E	9594749 m N

Nota: Elaborado por (La Autora, 2022).

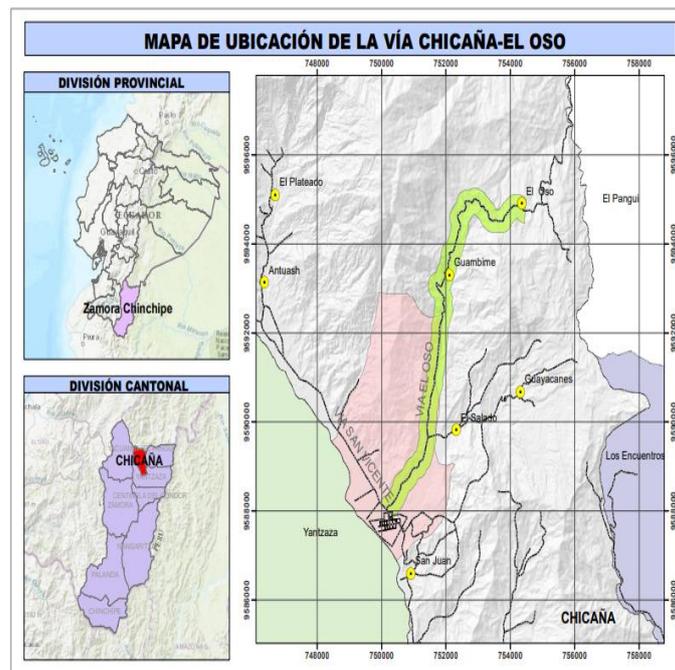


Figura 9 Mapa de Ubicación del área de Estudio

Nota: Elaborado por (La Autora, 2022).



5.1.2 Acceso

El acceso desde la ciudad de Quito se lo puede realizar por vía aérea hasta la ciudad de Catamayo con un tiempo de viaje de una hora; y luego por la vía terrestre hacia la ciudad de Loja, para luego dirigirse a Zamora-Yantzaza, con un tiempo estimado de 3 horas, posterior por una vía de segundo orden, asfaltada hasta la parroquia Chicaña, que es el punto de inicio de la vía en estudio, hasta el barrio El Oso.

El acceso por vía terrestre se lo puede realizar desde la ciudad de Quito, por la troncal de la Sierra, Cuenca, Loja, posteriormente a Zamora Chinchipe, por la troncal Amazónica hasta Yantzaza, posterior por una vía de segundo orden asfaltado hasta la parroquia Chicaña, que es el punto de inicio de la vía en estudio, hasta el barrio El Oso. También se puede acceder desde la ciudad de Macas, por la troncal amazónica de norte a sur, Macas-Gualaquiza-Yantzaza.



Figura 10 Acceso al área de Estudio
Nota: Elaborado por (La Autora, 2022).



5.2 Materiales

En el desarrollo del presente proyecto, se prevé realizarlo en dos fases, una de campo y otra de gabinete. Así los materiales que se utilizarán se describen en la tabla 6.

Tabla 6 *Materiales a utilizar en el proyecto*

Materiales de campo	Materiales de oficina	Ofimática
Cámara fotográfica	Laptop	Software ArcGis 10.8
GPS Garmin	Impresora	Software AutoCAD
Libreta de campo, fichas de afloramiento, etiquetas	Tarjeta de memoria	Google Earth SAS Planet
Marcadores indelebles, esferográficos, pinturas	Hojas, esferográficos	Microsoft Excel
Martillo geológico	Microscopio	Microsoft Office 2013
Mapas de referencia -Hoja Geológica Paquisha esc 1:100 000 -Carta topográfica Los Encuentros esc 1: 50 000 -Carta topográfica El Pangui esc 1: 50 000		
Brújula Brunton		
Cinta métrica, protactor		
Lupas (20-30 X)		
HCl		
Fundas ziploc		

Nota: Elaborado por (La Autora, 2022).



5.3 Métodos

El presente trabajo de investigación “Levantamiento geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia de Zamora Chinchipe”, se desarrolló en base a una metodología experimental y no experimental (fase de campo y gabinete).

En una primera etapa se ejecutó una investigación no experimental basada en la observación, recopilación de información de estudios previos, artículos, libros, tesis, entre otros, que sirvieron de aporte científico al desarrollo del proyecto, así mismo se recolectó y generó la información relacionada a la geología, topografía del área de estudio y datos de fotointerpretación.

Posteriormente se ejecutó una investigación experimental de campo en donde se intervino en el lugar de estudio para determinar las relaciones de las variables investigadas en la primera fase. Tomando en cuenta el método: mapeo de contactos y caracterización de afloramientos o de exposiciones, se generó la cartografía geológica a escala detallada, realizando observaciones e interpretaciones y tomando notas de los respectivos afloramientos o sitios de interés.

Es de vital importancia mencionar que se tomó en cuenta la aplicación de técnicas para la toma de datos estructurales como la medición de rumbo y buzamiento de los diferentes afloramientos; identificación de fallas, pliegues, diaclasas, contactos y discontinuidades; además, se recolectaron muestras representativas de roca en donde se realizó un análisis petrográfico, identificando la litología.

Con toda la información generada se procedió a elaborar el mapa geológico estructural del área de estudio.



5.4 Procedimiento

5.4.1 Primer objetivo

- ✓ Generar la topografía del área de estudio a escala 1:10 000 a partir de un MDT con un tamaño de píxel de 5 m

Para el cumplimiento de este objetivo se solicitó información en el Geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería a través del siguiente enlace <https://geoportal.agricultura.gob.ec>; en donde se descargan los MDT con un tamaño de píxel de 5m, y las ortofotografías con una resolución espacial de 5 m y una precisión altimétrica de 3m; se presenta con dimensiones equivalentes a las hojas 1:5K generadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM,2016), de aproximadamente 5.3 km². Seleccionadas a partir de grillas, correspondientes a los siguientes códigos; XVI-C4c-D4, XVI- C4C-E3, XVI-E2a-A1, XVI-E2a-A2, XVI-E2a-A3, XVI-E2a-D1.

Seguidamente se analizó y procesó la información, en el Software ArcGis; añadiendo y georeferenciando los datos de entrada (MDT) en coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S. Mediante la secuencia de herramientas: Data Management Tools, Raster, Mosaic Dataset, Mosaic To New Raster; uniendo los 7 archivos MDT, creando uno nuevo.

Sobre el nuevo MDT, se ejecutó la secuencia de herramientas: Spatial Analysis tools, surface y contour; ingresando el archivo MDT y la ubicación en el fichero; y a partir del modelo digital de terreno, se derivó curvas de nivel, cada 5 metros las secundarias y cada 25 m las principales, correspondientes a la topografía a escala 1:10000.

Una vez obtenida la topografía general, esta se ajustó sobre la ruta de la vía Chicaña-El Oso, de 10.8 Km. De acuerdo a la Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12-MTOP en su volumen uno de Procedimientos para Proyectos Viales, menciona que, para efectuar levantamientos topográficos sobre una vía el ancho del mismo va a estar definido en función del juicio de ingeniero, dependiendo de la pendiente transversal del terreno; en este caso como la información que se pretendió levantar es de carácter geológico-estructural, y previo un análisis general del área que cubre la vía, se estableció una franja con un ancho de 500 m, es decir en un ancho no menor a 250 m a cada lado del eje, de manera que permita realizar una interpretación completa de sus características geomorfológicas, geológicas y estructurales.



Esto se realizó mediante las herramientas; Analysis tools, proximity y buffer. Luego se procedió con la extracción de las curvas sobre el polígono en sí de la vía, mediante la siguiente secuencia; Spatial Analysis tools, extracción, Extract by Mask.

Obteniendo las curvas del área de estudio, dando como resultado un mapa topográfico a escala 1:10000, con formato A1, curvas de nivel cada 5 metros, distancia del eje de vía de 250 metros, UTM/WGS84 ZONA 17S, cada kilómetro un perfil transversal, y 4 longitudinales. En el plano se indica vialidad, red hídrica e infraestructura. (Ver Anexo 1 y 2)

Con la topografía del polígono de la franja de vía, se desarrolló también, con la ayuda del software ArcGis, el mapa de pendientes clasificado por el autor Demek 1972 (ver tabla 1), de la siguiente forma: arctoolbox, Spatial Analysis Tools, Surface, Slope, en donde se ingresa el DEM del área de estudio, obteniendo así el mapa de pendientes a escala 1: 10 000, formato A1, UTM/WGS84 ZONA 17S. (Ver Anexo 3)

Para la validación de la topografía se realizó un análisis visual del modelo que permite una evaluación global de la calidad del mismo, comparando una visualización 3D del modelo con una fotografía y directamente en el campo con la ayuda de un GPS Garmin, definiendo: puntos erróneos o zonas modificadas. Sobre la topografía misma, revisando el etiquetado de las curvas de nivel, y a su vez sobre el mapa de pendiente si se generan valores de pendiente anormalmente elevados que se destacan mucho en un simple análisis visual.

5.4.2 Segundo objetivo

- ✓ Determinar y caracterizar las unidades litológicas y estructuras geológicas a detalle del área de estudio.

La secuencia metodológica para alcanzar este objetivo se describe a continuación:

- a. Recolección y selección de información geológica, cartográfica y fotografías aéreas, en trabajos o investigaciones existentes, con la intención de tener una idea anticipada sobre la geología y geomorfología regional. La información cartográfica utilizada fue: la carta topográfica de los Encuentros a esc 1: 50000 elaborada por el Instituto Geográfico Militar en 1981 y la carta topográfica de El Panguí del Instituto Geográfico Militar en 1997(ver tabla 7)



Tabla 7 *Especificaciones técnicas de las cartas topográficas utilizadas en el proyecto*

Tipo de documento	Carta topográfica
Escala	1:50000
Proyección	Universal Transversa de Mercator
Elipsoide	Internacional de Hayford
Datum Vertical	Nivel medio del mar Estación mareográfica La Libertad-Guayas
Zona	17 sur
Formato	JPG
Serie	J721

Fuente. *(Instituto Geográfico Militar)*

También se consideró como base la Hoja Geológica de Paquisha a esc 1: 100 000 elaborada por INIGEMM en el año 2017(ver tabla 8); y la base topográfica de la vía previamente generada.

Tabla 8 *Especificaciones técnicas de la hoja geológica de Paquisha*

Tipo de documento	Carta geológica
Escala	1:100 000
Proyección	Universal Transversa de Mercator
Datum horizontal	WGS 1984
Elipsoide	Internacional de Hayford
Datum Vertical	Nivel medio del mar Estación mareográfica La Libertad-Santa Elena
Zona	17 sur
Formato	JPG
Serie	J62-G

Fuente. *(INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO, 2017)*

- Se corroboró la información, en relación a la longitud, latitud y altura con el recorrido en campo, con la ayuda de un GPS Garmin, permitiendo relacionarla y corregirla.
- Conjuntamente con la fotointerpretación previa (Ver Anexo 4), se preparó la logística para el trabajo de campo, además de la verificación de fáciles accesos a la zona y la presencia de lineamientos geológicos y geomorfológicos, elaborando un mapa borrador que contenía toda la información disponible encontrada y facilitando el trabajo en campo
- Se procedió a realizar un mapeo detallado del terreno, considerando las metodologías de: mapeo de contactos (trabajos de fotointerpretación) y mapeo de exposiciones; continuando con el levantamiento de afloramientos, utilizando fichas descriptivas (ver tabla 8 y anexo 5), se identificaron las mayores exposiciones de roca posibles,



georeferenciando en coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S; indicando fallas geológicas y determinando los elementos estructurales (rumbo y buzamiento), mediante la utilización de la brújula brunton y cinta. Teniendo especial énfasis en la investigación geológica de los sectores críticos como zonas de falla o deslizamientos.

- e. Conjuntamente al levantamiento geológico se realizó el inventario y cartografiado de deslizamientos considerando, ubicaciones, fechas de ocurrencia, tipología, actividad y otros datos de interés. Para este inventario se preparó una ficha de recogida de datos basada en la propuesta por el Proyecto Multinacional Andino-Geociencias para las Comunidades Andinas en el año 2007. (Ver Anexo 7).
- f. Se tomó muestras de roca (ver tablas 9, 10, 11 y 12) representativas de determinados afloramientos con el protocolo de muestreo adecuado (conservación y etiquetado), esto con la finalidad de analizarlas a nivel macroscópico (ver anexo 6) en el laboratorio, y conocer su mineralogía a detalle y por consiguiente su denominación correcta

Tabla 9 Ficha para la descripción de afloramientos

Ficha de descripción de afloramientos							
Geólogo responsable			Código de afloramiento				
Ubicación de referencia							
COORDENADAS UTM WGS84 ZONA 17 SUR				X:			
				Y:			
				Z:			
Tipo de afloramiento		Natural		Antrópico			
Datos estructurales		Rumbo		Buzamiento			
Dimensiones		Largo		Ancho			
Grado de meteorización		Bajo		Medio		Alto	
Clima							
Vegetación							
Formación geológica							
Descripción geológica							
Características del afloramiento							
Nº	Potencia (m)	Litología			Rumbo	Buzamiento	
FOTOGRAFÍA							
Observaciones							

Nota: Elaborado por (La Autora, 2022).



Las fichas para descripción macroscópica que se presentan a continuación son adaptaciones a las fichas realizadas en el Proyecto Plan de Investigación, Conservación y Puesta en Valor del Patrimonio Geológico y Minero

Tabla 10 Ficha para descripción macroscópica de Rocas Ígneas

FICHAS PARA ROCAS ÍGNEAS			
Geólogo responsable		Estación de control:	
Tipo de muestra		Código de la muestra	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica (Provincia/Cantón/Parroquia)		Características de los componentes	
Acceso al lugar		Color	
		Grado de meteorización	Alto () Medio () Bajo ()
		Textura	
INFORMACION DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS84)		Grado de cristalinidad	
		Granularidad	
X		Tamaño relativo de los cristales	
Y		Tamaño absoluto del grano	
ALTURA(msnm)		Forma de los cristales	
COMPOSICIÓN			
Minerales principales (%)		Minerales opacos (%)	
Minerales accesorios (%)		Minerales secundarios (%)	
Observaciones complementarias:		Estructura	
		Tipo de Alteración	
Análisis de laboratorio	Lámina delgada	Nombre de la roca	
Anexo fotográfico			

Fuente (INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO, 2019)



Tabla 11 Ficha para descripción macroscópica de Rocas metamórficas

FICHAS PARA ROCAS METAMORFICAS			
Geólogo responsable		Estación de control:	
Tipo de muestra		Código de la muestra	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica (Provincia/Cantón/Parroquia)		Características	
		Color	
Acceso al lugar		Grado de meteorización	
		Estructuras macro	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS84)		Fabrica macro	
		Textura	
X		Deformación	
Y		Protolito	
ALTURA (msnm)		Relictos	
COMPOSICIÓN			
Minerales principales (%)		Minerales opacos (%)	
Minerales accesorios (%)		Minerales secundarios (%)	
Observaciones complementarias:		Grado de metamorfismo	
		Facies	
Análisis de laboratorio	Lámina delgada	Nombre de la roca	
Anexo fotográfico			

Fuente: (INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO, 2019)

Tabla 12 Ficha para descripción macroscópica de Rocas Sedimentarias Detriticas

FICHAS PARA ROCAS SEDIMENTARIAS DETRITICAS			
Geólogo responsable		Estación de control:	
Tipo de muestra		Código de la muestra	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica (Provincia/Cantón/Parroquia)		Características	
		Color	
Acceso al lugar		Grado de meteorización	
		% granos, matriz, cemento:	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS84)		Fabrica macro	
		Textura	
X		Sorteo	
Y		Redondez	
ALTURA (msnm)		Esfericidad	
COMPOSICIÓN			
Minerales principales (%)		Aloquemias (fósiles, oolitos, etc)	%
Minerales accesorios (%)		Cemento	
Observaciones complementarias:		Estructuras primarias	
		Minerales de alteración:	
Análisis de laboratorio	Lamina delgada	Nombre de la roca	
Anexo fotográfico			

Fuente: (INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO, 2019)



Tabla 13 Ficha para descripción macroscópica de rocas sedimentarias orgánicas y químicas

FICHAS PARA ROCAS SEDIMENTARIAS ORGÁNICAS Y QUÍMICAS			
Geólogo responsable		Estación de control:	
Tipo de muestra		Código de la muestra	
DATOS DE UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA	
Ubicación geográfica (Provincia/Cantón/Parroquia)		Características	
		Color	
Acceso al lugar		Grado de meteorización	
		% granos, matriz, cemento:	
INFORMACIÓN DE COORDENADAS UTM (Sistema de Proyección WGS84)		Textura	
X		Porosidad primaria	
Y		Porosidad secundaria	
ALTURA(msnm)		Permeabilidad	
COMPOSICIÓN			
Minerales principales (%)		Aloquemas (fósiles, oolitos, etc)	%
Minerales accesorios (%)			
Observaciones complementarias:		Minerales de alteración:	
Análisis de laboratorio	Lámina delgada	Nombre de la roca	
Anexo fotográfico			

Fuente (*INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO, 2019*)

Como resultado se obtuvo un esquema geológico borrador, que contiene las características geológicas sean elementos poligonales completos como afloramientos rocosos; o también elementos lineales como fracturas, fallas, o contactos entre 2 entes geológicos diferentes. Además, la información levantada en fichas de las unidades litológicas y su límite; estructuras geológicas como fallas, pliegues, caracterización de los dominios estructurales rocosos, y puntos críticos a detalle del área de estudio.

5.4.3 Tercer objetivo

- ✓ Realizar el mapa geológico-estructural de la vía Chicaña-El Oso a esc 1: 10000

Culminando las fases de campo y laboratorio, se organizó una base de datos completa, que permita un rápido acceso a puntos de afloramientos, puntos de muestreo, puntos de control, puntos críticos y datos estructurales; para el procesamiento de información, de manera que permita el traslado legible de datos a sistemas de información geográfica, haciendo uso del software ArcGis 10.8; y concluyendo con la redacción final del proyecto. Para esto se considera los siguientes puntos:



1. Organización y análisis de la información recolectada en campo, y posterior integración de datos en un sistema de información geográfica;
2. Sobre el mapa se representó, la litología y sus límites, fallas geológicas, y análisis estructural
3. Además, se complementa con vistas de secciones geológicas longitudinales, construidas a partir del mapa base.
4. Corroboración en campo de toda la información levantada y registrada, y posterior rectificación de errores en caso de ser necesario.
5. Redacción e interpretación de resultados

Así se concluyó la investigación obteniendo como resultado el mapa geológico-estructural a escala 1:10000 del área de estudio, con formato A1, curvas de nivel cada 5 metros, con un ancho de vía de 500 metros, UTM/WGS84 ZONA 17 SUR. Que contiene toda la información geológica levantada y analizada; litología, fallas, contactos y puntos críticos; con una leyenda estructural y lito-cronológica, y 4 cortes geológicos (ver anexo 9 y 10).



6 Resultados

6.1 Descripción del área de estudio

6.1.1 Clima

El clima es un fenómeno geográfico que existe a lo largo de todo el planeta pero que, de acuerdo a las condiciones de cada sector, varía y presenta notorias diferencias entre lugar y lugar. Este factor es importante por la influencia que tiene en la evolución de los suelos y características de los ecosistemas, además de ser empleado como herramienta para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico por su influencia en la decisión de utilización de las tierras.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (2019-2023) en la parroquia Chicaña se pueden identificar las siguientes condiciones climáticas (ver tabla 14):

Tabla 14 Información climática de la parroquia Chicaña

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Precipitación	1800 a 2500 mm/año
Temperatura media anual	10 a 22 °C
Clima	<p>Ecuatorial de alta montaña: Se presenta en las vertientes occidentales y orientales de la Cordillera de los Andes. Se da en altitudes de 500 y 1500 msnm. La precipitación anual es de 2000 a 4000 mm/año y la lluvia es constante, creando una sola estación lluviosa. La temperatura varía según la altitud. La vegetación es casi selvática y los bosques en su mayoría están destruyéndose por la deforestación. En la parroquia abarca 20415 ha.</p> <p>Tropical megatérmico húmedo: Con precipitaciones anuales elevadas que superan los 300 mm/año, llegando hasta los 6000 mm/año en algunos lugares. La temperatura es de 25 °C y se mantiene casi durante todo el año. La vegetación es siempre verde; la gran cantidad de precipitaciones, permiten el crecimiento de selvas tropicales exuberantes características de la Amazonía. Se presenta en 6289,08 ha del territorio parroquial.</p>

Fuente. (GADPR Chicaña, 2019)

Así sobre el área en estudio se determina que está influenciado por el clima tropical megatérmico húmedo



6.1.1.1 Precipitación

Las lluvias en la parroquia Chicaña se presentan durante todo el año, registrándose precipitaciones de 1800 a 2500 mm/año. (Ver tabla 15)

El mes más seco es agosto, con 128 a 216 mm/año de precipitación, mientras que en los meses de abril a julio se presenta la temporada invernal (abril registra las mayores precipitaciones) y generalmente en estos meses se produce las tempestades que son conocidas por los agricultores y productores y es de incidencia en pastos y cultivos como también en el aspecto vial por los deslizamientos de tierra. No obstante, las precipitaciones permiten el crecimiento de selvas tropicales exuberantes características de la Amazonia.

Las mayores precipitaciones (2400 a 2500 mm/año) se presentan en el 1,99% del territorio; no obstante, las zonas que no registran mayores precipitaciones (zonas bajas), son las más susceptibles a inundarse cuando se presentan precipitaciones intensas, específicamente las áreas cercanas a los ríos Zamora y Chicaña y a la Quebrada Tundayme. El riesgo se deriva de que estas zonas bajas poseen poca pendiente, por lo cual se pronostica la acumulación de agua durante las precipitaciones (ver figura 11).

Tabla 15. *Precipitación en la parroquia Chicaña*

PRECIPITACIÓN (mm/año)	ÁREA (ha)	%	BARRIOS
1900-2000	8826,05	32,97	Muchime, La Yona, Guayacanes, El Oso, San Luis, Chuchumbleta, Chanzas, La Orquídea, San Andres.
2000-2100	6154,00	22,99	San Juan, Chicaña, El Salado, Guambime
2100-2200	4802,00	17,94	San Vicente
2200-2300	3898,09	14,56	San Vicente, Ankuash, El Plateado
2300-2400	2497,00	9,33	La Unión, Ankuash y El Plateado
2400-2500	591,02	2,21	La Unión
Totales	26768,16	100	

Fuente: (GADPR Chicaña, 2019)

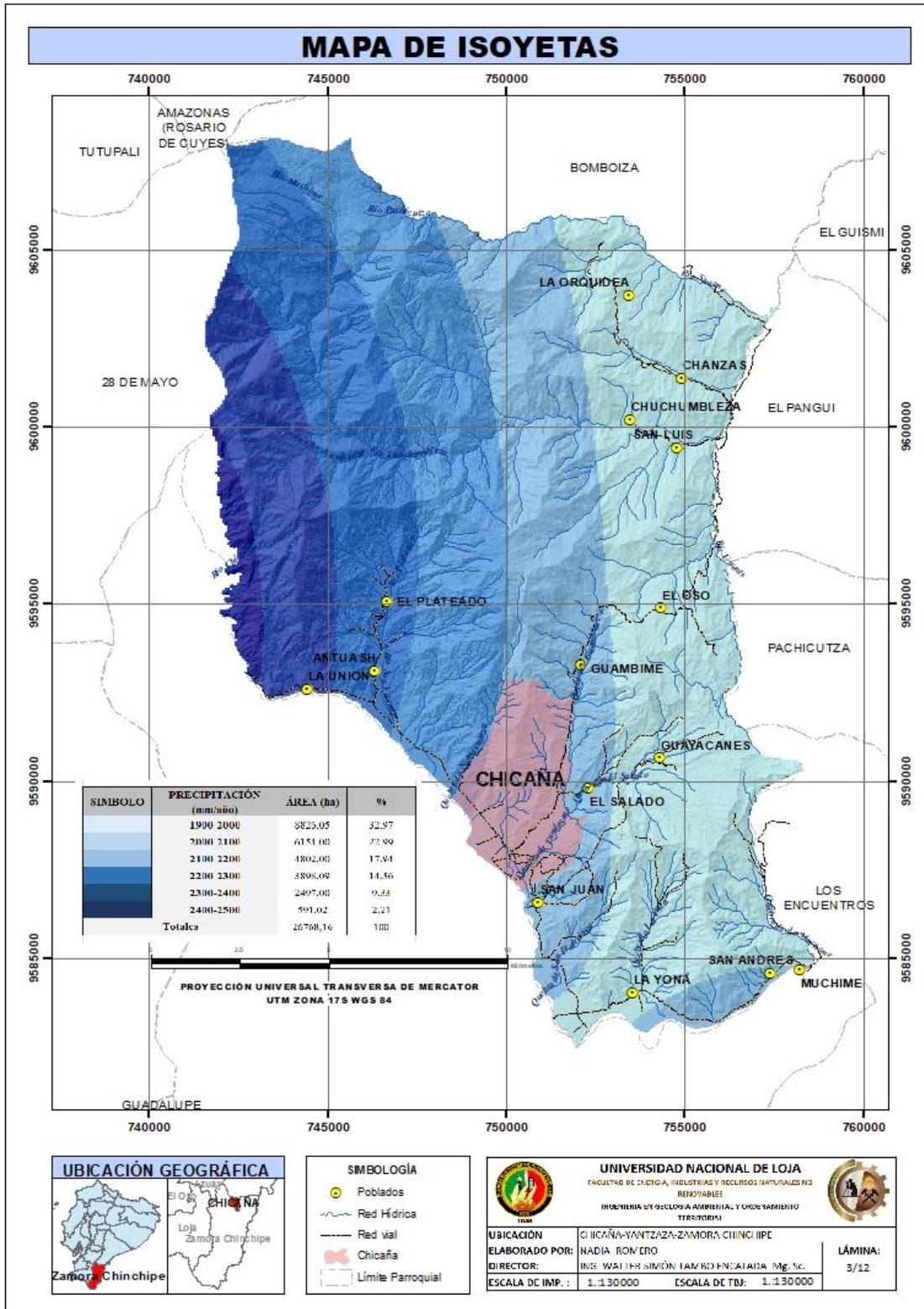


Figura 11 Mapa de isoyetas, parroquia Chicahua

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022), basada en información de (GADPR Chicahua, 2019)



Sobre la franja de vía se determina que abarca precipitaciones de 1900 a 2000 mm/año en el sector El Oso, que conforma la parte alta de la vía en estudio; y de 2000 a 2100 mm/año en los sectores de Chicaña, El Salado y Guambime conformando la parte baja de la vía.

6.1.1.2 Temperatura.

La temperatura de la parroquia Chicaña presenta variaciones de 9°C en las partes más altas, hasta 22 °C en las partes más bajas, predominando en un 21,60% del territorio, temperaturas de 19 a 20° C, en tanto que, las mayores temperaturas (21 a 22° C) se presentan en un 4,37% de la parroquia (ver tabla 16 y figura 12).

El mes más caluroso del año es noviembre, en tanto que, el mes más frío es julio. La época calurosa (comúnmente conocida como verano), se presenta en los meses de agosto a noviembre y es de gran importancia en el campo productivo.

Tabla 16 *Temperatura de la parroquia Chicaña*

TEMPERATURA (°C)	ÁREA (ha)	%
10-11	127,00	0,47
11-12	328,00	1,23
12-13	237,16	0,89
13-14	114,00	0,43
14-15	670,00	2,50
15-16	803,00	3,00
16-17	256,00	0,96
17-18	2347,00	8,77
18-19	2720,00	10,16
19-20	3797,00	14,18
20-21	4721,00	17,64
21-22	6951,00	25,97
22-23	3697,00	13,81

Fuente: (GADPR Chicaña, 2019)

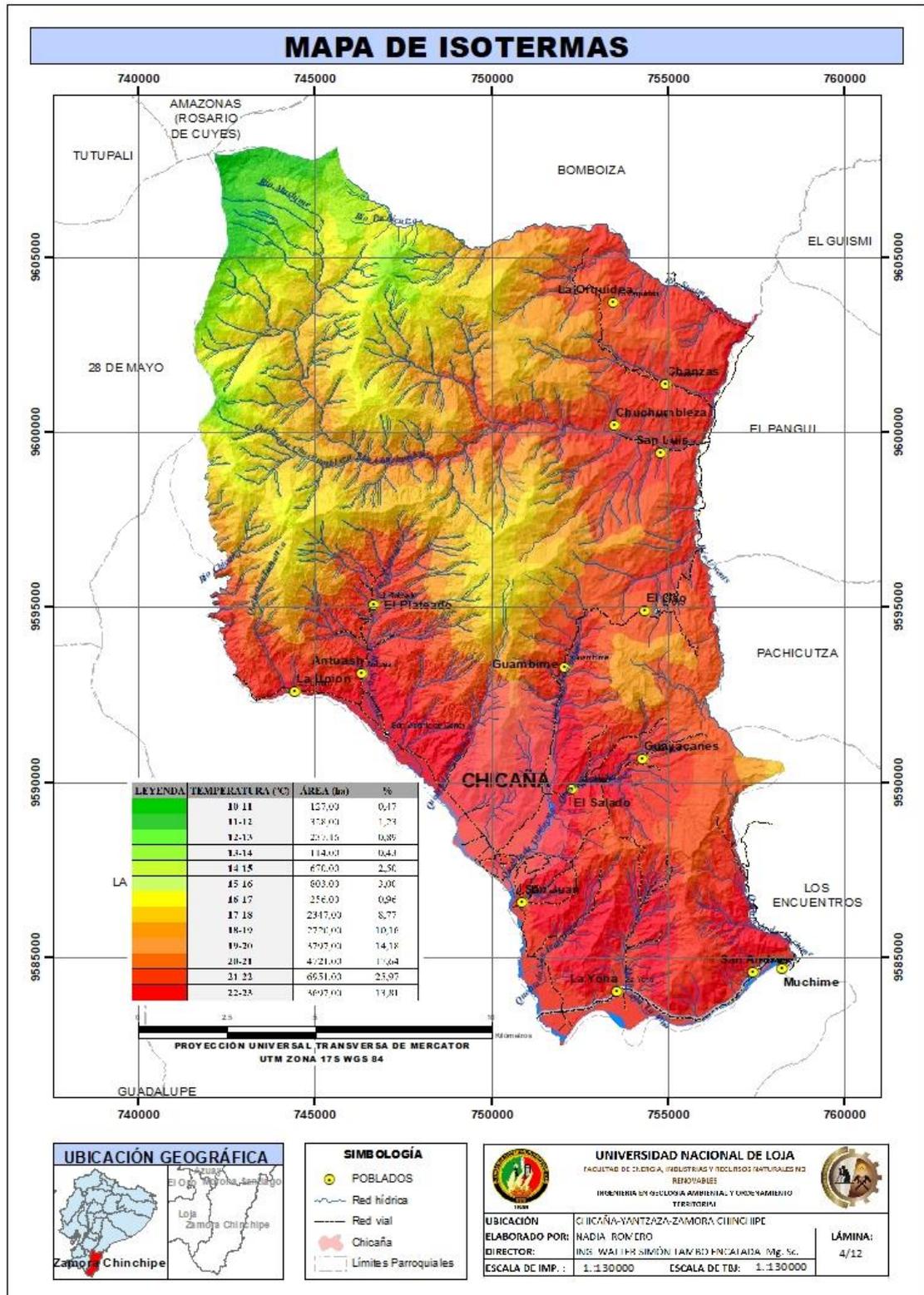


Figura 12 Mapa de isotermas, parroquia Chicaña
 Nota: Elaborado por la (Autora, 2022), basada en información de (GADPR Chicaña, 2019)



6.1.2 Hidrografía

Según el GADP Chicaña (2019), la parroquia Chicaña posee dos ríos principales: el Zamora, al sur de la parroquia y Chicaña, al suroeste. Posee además siete ríos secundarios o microcuencas: Chuchumbletza, Shaime, Pachicutza, Muchime, Uwents, San Vicente y Plateado, además de varias Quebradas: de Muchime, La Yona, San Francisco, Tundayme, El Salado, Guambime, Namacuntza, Tunatza, entre otras.

Siendo la quebrada Guambime (ver figura 13) y sus aportantes de carácter dendrítico, los de mayor influencia sobre la vía Chicaña- El Oso, especialmente para el análisis de movimientos en masa sobre ella.



Figura 13 Delimitación de la Quebrada Guambime al costado derecho de la Vía Chicaña-El Oso
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.1.3 Cobertura del Suelo

El uso y cobertura del suelo de la parroquia Chicaña, se detalla mediante el análisis de dos años: 2014 y 2018, con el fin de evidenciar cuáles han sido los principales cambios que se han dado en un período de tiempo, en este caso 4 años.



En el año 2014, el territorio estaba ocupado por el bosque natural (conservación y protección), cuerpo de agua, industrial, pastizal, área poblada, cultivo y erial, siendo el bosque natural, el más representativo, pues en ese año ocupaba el 64,22% de la superficie parroquial. El área poblada ocupaba un 0,13% y el cultivo 0,21%, mientras que el área erial ocupaba el 0,05% y el pastizal con el 34,75% del territorio.

En el año 2018, el bosque natural (conservación y protección) sigue ocupando la mayor extensión (72,30%), se evidencia un aumento del 11%. El cultivo tiene una crecida en un 9%, mientras que el pastizal disminuye en un 23%. El área poblada se incrementa en un 58%, así mismo el área erial presenta una variación positiva del 56%.

Tabla 17. Análisis comparativo de los usos del suelo 2000 – 2015, parroquia Chicaña

COBERTURA Y USO	AÑO 2014		AÑO 2018		DIFERENCIA	
	AREA (ha)	%	AREA (ha)	%	(ha)	%
Área poblada	35,28	0,13	84,34	0,32	49,06	58
Bosque natural	17191,38	75,08	19353,1 1	72,30	2161,73	11
Cuerpo de agua	167,36	0,63	106,94	0,40	60,42	36
Industrial	2,44	3,85	6,16	0,02	3,72	60
Pastizal	9301,70	0,05	7123,16	26,61	2178,54	23
Cultivo	55,58	0,01	61,35	0,23	5,77	9
Erial	14,42	0,05	33,10	0,12	18,68	56
Total	26768,16	100,00	26768,1 6	100,00		

Fuente: (GADPR Chicaña, 2019)

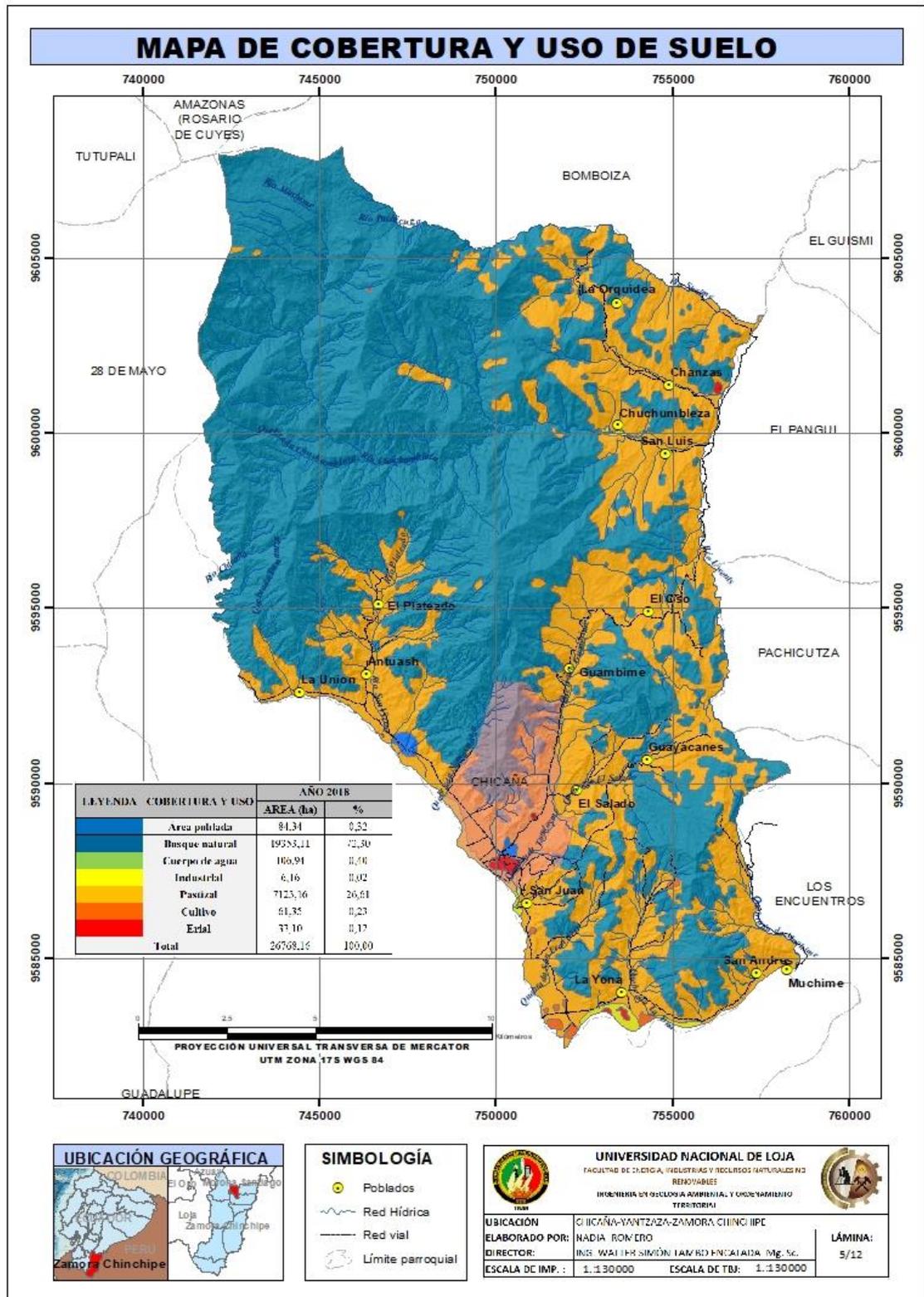


Figura 14 Mapa de uso y cobertura del suelo, parroquia Chicaña
 Nota: Elaborado por la (Autora, 2022), basada en información de (GADPR Chicaña, 2019)



En cuanto al uso de suelo se puede evidenciar que sobre el área de estudio, casi en su totalidad corresponde a uso de Pastizal (ver figura 15), así mismo esto se pudo corroborar en campo.



Figura 15 Uso de suelo en el área de estudio, predominantemente destinado a Pastizales
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.2 Fotointerpretación

La fotointerpretación se la realizó en base a la Ortofotografía y Modelo Digital del Terreno (MDT) con una resolución espectral de 5m por 5 m, que fueron facilitadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería a través de su programa SIGTIERRAS.

En gabinete se preparó un mapa exclusivamente producto de la fotointerpretación, enmarcando las obras humanas como caminos, vías, poblaciones, etc., en segundo lugar, la red hidrográfica y en tercer lugar los rasgos geológicos y geomorfológicos. Estos pueden ser reconocidos directamente, como contactos entre distintas litologías, zonas con afloramientos de rocas de basamento y aquellas cubiertas con sedimentos modernos, líneas de estratificación, estructuras como pliegues, fallas o sistemas de diaclasas y lineamientos en general o interpretados sobre la base de cambios de tono y textura.

Los datos obtenidos sirvieron como referencia para el recorrido en campo en donde se verifica la fotointerpretación realizada en gabinete y se completó el levantamiento.



6.3 Relieve

De acuerdo con información del PDOT (2019-2023) del Gobierno Parroquial, Chicaña se ubica en una zona donde predomina el relieve montañoso, cubriendo el 75% del territorio parroquial. Dichas formaciones se caracterizan por poseer pendientes que van desde 25 a 40%.

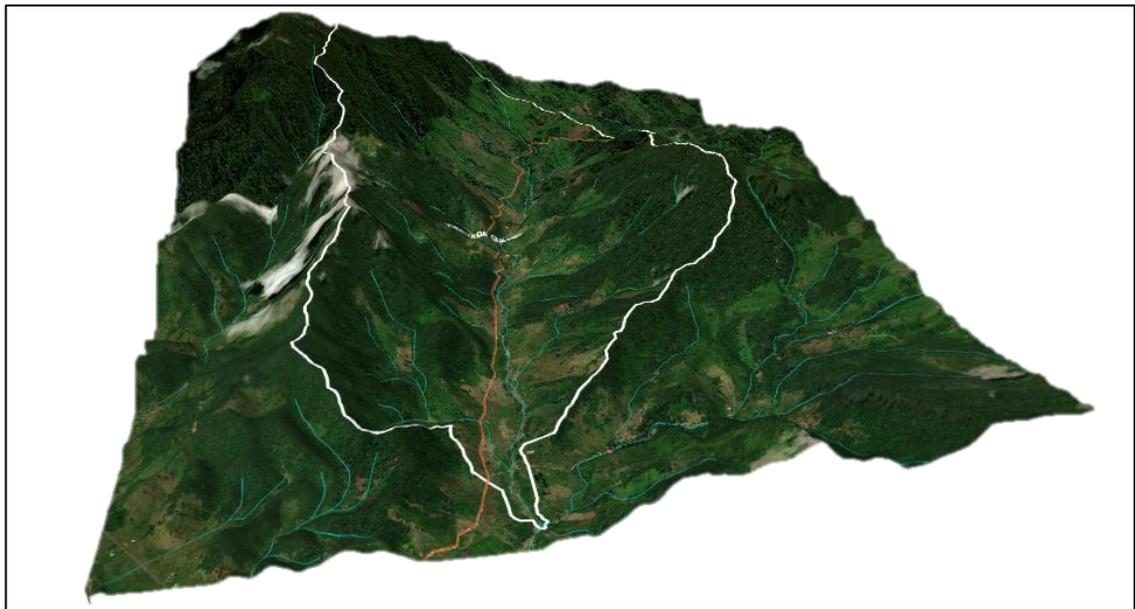


Figura 16 Vista en 3D del área de estudio
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

En la figura 16 se muestra una vista 3D del área de estudio en donde se evidencia el relieve montañoso presente, que constituye una fuente de los cuerpos hídricos de la parroquia, al captar la humedad del aire y almacenar el agua de las precipitaciones, asegurando la disponibilidad de agua, incluso en los meses de verano. También son áreas de diversidad biológica, pues en las montañas se desarrollan un sinnúmero de especies florísticas vasculares y se constituyen a su vez en fuente de alimentos para animales silvestres e inclusive para la población.

Las montañas poseen además belleza paisajística, que las convierte en sitios con potencial turístico para la población que habita dentro y fuera de la parroquia.



6.3.1 Topografía de la vía Chicaña- El Oso

El mapa topográfico se lo realizó con la ayuda de información del GEOPORTAL del programa SIGTIERRAS, esta información fue tratada en el Software ArcGis; una vez insertados los datos en el programa se obtuvieron las curvas de nivel cada 5 metros las secundarias, y cada 25 m las principales, sobre una franja de vía de 500 m. A una escala 1:10000. (Ver anexo 1)

6.3.1 Perfiles Topográficos

Sobre la base topográfica se definió las líneas transversales y longitudinales para la construcción de perfiles, de manera que permita tener una idea más detallada de la topografía sobre la vía, y así mismo más adelante adicionar información geológica. (Ver anexo 2)

6.3.2 Mapa de pendientes

Sobre la vía en estudio y a partir de las curvas de nivel del Mapa Topográfico a escala 1: 10 000 se obtuvo el mapa de pendientes, utilizando la clasificación de DEMEK (1972). (Ver tabla 18 y anexo 3)

Tabla 18 Clasificación de las pendientes del área de estudio

COLOR	RANGO	CLASIFICACIÓN	ÁREA (Km)	PORCENTAJE (%)
	0°-5°	Ligeramente inclinado	0,982607	18,558717
	5°-15°	Fuertemente Inclinado	1,537572	29,040455
	15°-35°	Muy inclinado	2,393429	45,205219
	35°-55°	Empinado	0,378047	7,140258
	>55°	Vertical	0,00293	0,055343

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

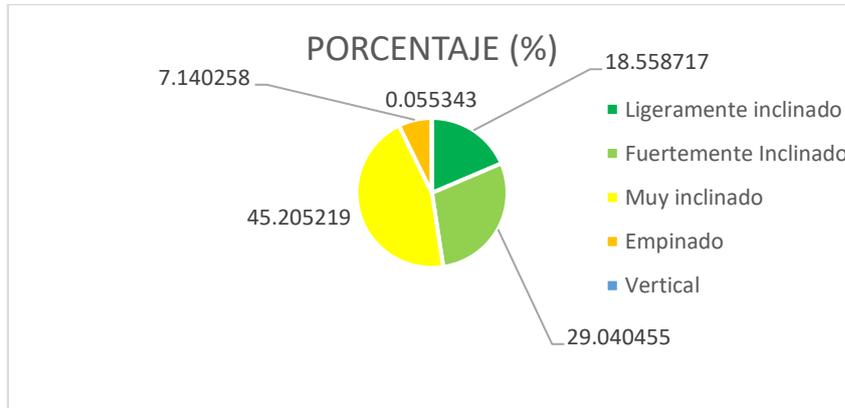


Figura 17 Porcentaje de las pendientes sobre la vía Chicaña-El Oso
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

Según el mapa obtenido se observan cinco categorías diferentes de pendientes, la zona de estudio destaca con un 45.2 % por tener pendientes muy inclinadas (15° - 35°) que influye predominantemente al margen izquierdo de la vía; el 29% de pendientes fuertemente inclinadas (5 - 15°) se encuentran sobre el margen derecho de la vía, el 18% del área corresponde a pendientes ligeramente inclinadas (0 - 5°) que se relacionan directamente con las zonas bajas y ambientes de depositación de aluviales en donde fluye la Quebrada Guambime y sus aportantes, el 7.1 % de la franja de vía corresponde a pendientes empinadas, y con un porcentaje menor de 0.05 %, se presentan las pendientes verticales cercanas al Barrio Guambime.

6.4 Geomorfología

(Becerra, 2004) A nivel general la provincia de Zamora Chinchipe se asienta sobre la Cuenca sedimentaria del Oriente, que está en posición antepaís comprendida entre los Andes Ecuatorianos y el escudo Brasilerio-Guayanés, forma parte del conjunto de cuencas subandinas de tras arco, el mismo que se extiende desde Venezuela hasta Argentina. A su vez la influencia de las estribaciones montañosas de la cordillera Central y Oriental, dan lugar a la formación de valles, lo que da como resultado una disposición en forma de V de la superficie

El área de estudio se ubica dentro de la zona de transición entre la cordillera Real y Oriental, dentro de lo que constituye la zona subandina, que es parte de la Cuenca Oriente.



6.4.1 Dominios fisiográficos

La parroquia Chicaña se encuentra incluida en la región Sierra y en la región Amazonía y en la primera región se identifica un dominio fisiográfico y en la segunda se diferencian dos dominios fisiográficos (ver tabla 19). Su distribución geográfica se presenta en la Figura 18.

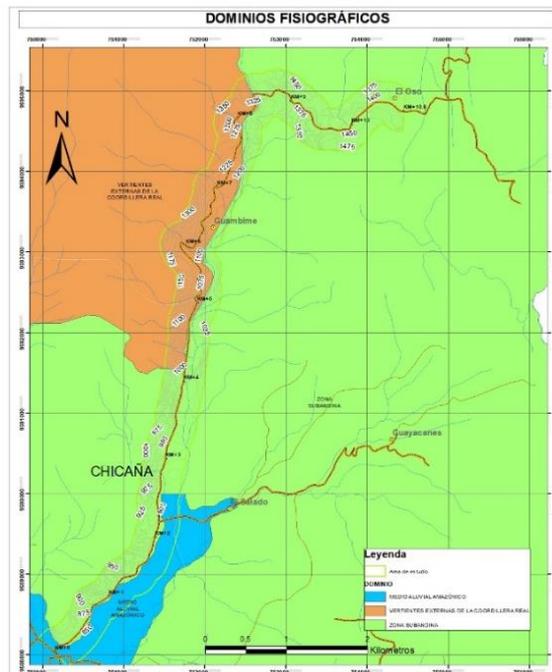


Figura 18 Dominios Fisiográficos sobre el área de Estudio.

Nota. Elaborado por la (Autora, 2022) basada en información bibliográfica de (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca, 2015)

Tabla 19 Regiones, dominios fisiográficos y contextos morfológicos presentes en la franja de vía Chicaña-El Oso

DOMINIO FISIOGRAFICO	CONTEXTOS MORFOLÓGICOS
REGIÓN: SIERRA	
Vertientes externas de la Cordillera Real	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real)
REGION: AMAZONÍA	
Zona Subandina	Cordillera del Cóndor: relieves accidentados principalmente sobre granitos y modelado estructural sobre areniscas. Sin cobertura de cenizas volcánicas
Medio aluvial amazónico	

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022) basada en información bibliográfica de (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca, 2015)



6.4.2 Grupo genético y geoformas

A continuación, se describen las geoformas presentes en el área de estudio, de acuerdo a su génesis, señalando las diferencias existentes en cada una dependiendo de su contexto morfológico. (ver tabla 20 y anexo 8)

Tabla 20. Unidades geomorfológicas existentes sobre la franja de vía Chicaña- El Oso

FORMAS DEL RELIEVE	ÁREA (Km ²)	PORCENTAJE (%)
Coluvio aluvial antiguo	0.643373	12.148646
Relieve colinado muy alto	0.332169	6.272262
Relieve colinado alto	1.603467	30.277829
Relieve colinado bajo	0.377658	7.131211
Relieve colinado medio	1.618605	30.563682
Terraza baja y cauce actual	0.085292	1.610543
Terraza media	0.157988	2.983237
Valle en V	0.097701	1.844866
Valle fluvial, llanura de Inundación	0.379591	7.167718

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022), basada en información bibliográfica de (Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca, 2015)

6.4.2.1 Fluvial.

✓ Valle fluvial, llanura de inundación (LL.I)

Presenta un eje fluvial permanente y está ligados a sistemas y tramos fluviales de tamaño variado. Dentro de este depósito, se puede diferenciar una geoforma denominada Terraza baja y cauce actual. Esta geoforma se presenta, sobre el cauce de la quebrada Guambime y Tundayme con mayor desarrollo, asociada a los ríos más importantes de la parroquia (ríos Zamora, Chicaña). Se caracteriza por la presencia de depósitos aluviales transportados y depositados por los canales fluviales, de granulometría muy diversa y con marcadas variaciones laterales y verticales de facies, dispuestos en franjas adyacentes al canal fluvial. Los terrenos a los que dan lugar se inundan, parcial o totalmente, durante épocas de crecidas. Presentan pendientes ligeramente inclinadas (de 0 a 5%) y formas de valle igualmente planas, recorridos por canales de marcado carácter meandriforme. Esta geoforma aparece exclusivamente en el contexto morfológico Medio aluvial amazónico.



Figura 19 Valle fluvial, llanura de inundación del río
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

✓ **Terraza baja y cauce actual (Tb/Ca)**

Las franjas que rodean e incluyen al canal o canales fluviales, a menudo separados por islas pedregosas y que constituyen los lechos móviles de los ríos, cuando son mapeables se identifican mediante esta geofoma. Son parte de la propia llanura de inundación y están formadas por los acarrees de mayor grosor del río, con numerosos cantos y bloques de considerable tamaño y una baja proporción de elementos texturales más finos (arenas y limos, especialmente). En el río Chicaña y quebrada Tundayme se puede observar esta dinámica fluvial, en el contexto morfológico Medio aluvial amazónico.



Figura 20 Terraza baja y cauce actual del río Tundayme
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



✓ *Terraza media (Tm)*

Son superficies subhorizontales, aunque su pendiente (de 5 a 15%) se acentúa ligeramente por la presencia de incisiones que irregularizan el terreno. Se trata del primer nivel de terrazas por encima de los depósitos fluviales actuales y que representan, por tanto, la última llanura de inundación abandonada por la excavación vertical del río Tundayme. Se observa en los primeros kilómetros al costado derecho de la vía Chicaña-El Oso, está asociada al contexto morfológico Medio aluvial amazónico y litológicamente están constituidas por bloques y gravas, de redondeados a subredondeados, empastados en una matriz areno-limosa, tal como se ha podido constatar en algunos puntos



Figura 21 Terraza media (Tm)
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

✓ *Valle en V (E1)*

Esta geoforma se sitúa en el extremo noroccidental, formando parte de los cauces en cuencas altas de las quebradas Guambime y Tundayme. Los valles con un perfil transversal en forma de V son típicos de los cursos altos de los ríos, producto de su erosión vertical. Las dos vertientes laterales presentan generalmente pendientes fuertes y muy fuertemente inclinadas. En las vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real) estos encajamientos fluviales se producen sobre las rocas metamórficas y la Unidad Misahuallí.



Figura 22 Valle en V

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.4.2.2 Tectónico erosivo

✓ *Relieve colinado bajo (Rt3)*

Se localiza en el margen izquierdo de la vía Chicaña el Oso, concretamente a unos kilómetros de la entrada al barrio el Salado. Estos relieves presentan un desnivel relativo de 15 a 25 metros, pendientes de muy inclinadas (de 15 a 35%) y cimas agudas y redondeadas con vertientes mixtas y convexas.



Figura 23 Relieve colinado bajo

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



✓ **Relieve colinado medio (Rt4)**

Estos relieves se sitúan repartidos por el sector occidental, en ambos márgenes de la vía. Su desnivel relativo fluctúa entre 25 y 100 metros, presentan cimas redondeadas y agudas con vertientes mayoritariamente mixtas e irregulares. Las pendientes son de muy inclinadas a verticales. En el contexto morfológico Cordillera del Cóndor y Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real) está relacionado con el Batolito de Zamora. En los relieves escarpados sobre rocas metamórficas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real), se desarrolla sobre rocas metamórficas.



Figura 24 Relieve Colinado Medio
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

✓ **Relieve colinado alto (Rt5)**

Este tipo de relieve se distribuye de forma puntual en sectores nororientales, al final de la vía. Presenta un desnivel relativo de 100 a 200 metros, formas de cima en su mayoría redondeadas y vertientes mixtas e irregulares. Aparece sobre el Batolito de Zamora y la Formación Napo, con pendientes de muy inclinadas hasta verticales.



Figura 25 Relieve colinado alto
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

✓ **Relieve colinado muy alto (Rt6)**

Este tipo de relieve se distribuye en el Filo de Tundayme. Se caracteriza por presentar un desnivel relativo comprendido entre 200 y 300 metros, pendientes inclinadas a verticales, cimas con formas redondeadas y laderas de formas irregulares y mixtas.

El sustrato sobre el que se desarrolla esta unidad geomorfológica corresponde a los granitoides del Batolito de Zamora y también está relacionado con las rocas metamórficas.



Figura 26 Relieve colinado alto
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



6.4.2.3 Poligénicas

✓ *Coluvio-aluvial antiguo (Coa2)*

Esta geoforma se sitúa en el sobre la quebrada Guambime. Se localiza en todos los contextos morfológicos, donde presentan características muy similares a los coluvio-aluvial recientes, se les considera antiguos a los que presentan un cierto grado de disección y sobre ellos aparece una vegetación pionera bien desarrollada. Presentan pendientes con una alta variabilidad y formas de valle plano y en V.



Figura 27 Coluvio Aluvial antiguo
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.5 Geología

La mayor parte de trabajos que han incluido la zona en estudio se los ha realizado con un enfoque regional, por lo que la información petrográfica y geoquímica detallada de las rocas objeto de estudio es limitada. Así se ha recopilado información de varios trabajos geológicos regionales en sectores cercanos a la zona, siendo estos compilados para la realización del presente trabajo

(Christian, 2018) La Amazonía se encuentra limitada al oeste por el levantamiento subandino. El levantamiento subandino es parte de la cuenca Oriente y constituye el wedgetop (cuña), es decir corresponde a un cinturón deformado y levantado que se convierte en el límite



occidental del sistema de cuenca de tras-arco regional constituido en gran parte de la gran Cuenca Putumayo, la Cuenca Oriente, la Cuenca Santiago y la Cuenca Marañón. Registra la taza de levantamiento de la cordillera Real y a su vez proporciona información de las diversas secuencias sedimentarias de la cuenca Oriente. Se encuentra compuesto del alto estructural Napo al Norte, separado por la depresión Pastaza, del alto estructural Cutucú y la Cordillera del Cóndor al sur del Ecuador (ver figura 28)

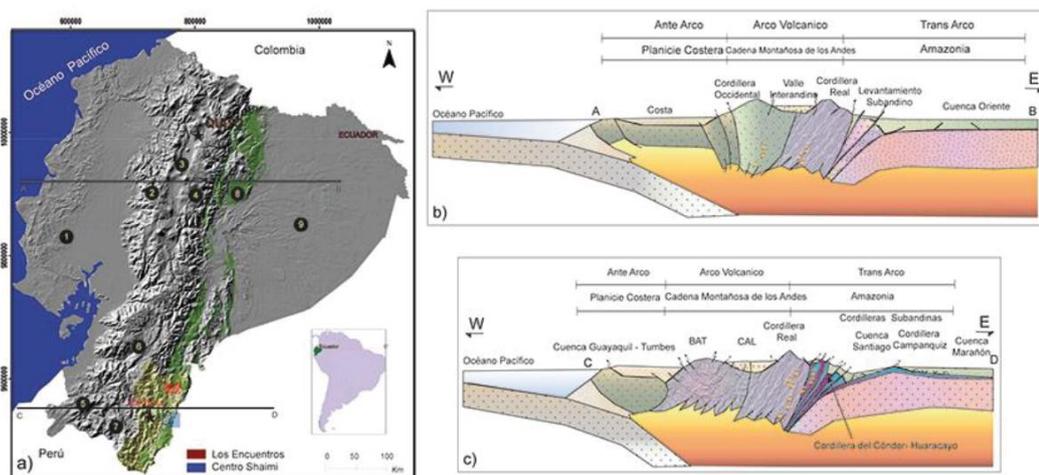


Figura 28 Perfiles geológicos del Ecuador
Fuente: (Christian, 2018)

La cuenca oriente constituye al presente una cuenca foreland (antepaís) de trasarco en los Andes ecuatorianos (Baby et al., 2014), guarda el registro de varios ciclos tectónicos-sedimentarios, los cuales descansan sobre un sustrato precámbrico, el cual estaría constituido por rocas ígneas (granito) y metamórficas. (Rivadeneira & Baby, 1999) El sustrato precámbrico de la Cuenca Oriente está constituido por rocas ígneas y metamórficas, relacionadas con el escudo Guayano-Brasileño (teixeira et al., 1989). Constituyen las rocas más antiguas encontradas en la cuenca oriente.

(Winckell, y otros, 1992) La zona subandina constituye el piedemonte oriental de los Andes ecuatorianos, que une la zona andina con el Escudo Guayano-Brasileño. Es una región de baja altitud constituida por una corteza continental recubierta por terrenos sedimentarios de edad paleozoica, mesozoica y cenozoica. Desde el principio del Mesozoico, y quizás desde el Paleozoico, la zona subandina constituye el antepaís oriental de las diferentes orogénesis que se sucedieron para edificar la Cordillera de los Andes ecuatorianos. La mayor parte de las



deformaciones compresivas sufridas por la zona subandina se produjeron durante el Cenozoico. El conjunto corteza-sedimentos no sobrepasa los 30 a 35 km de espesor, lo que explica la baja altitud de la zona subandina (Ver figura 29).

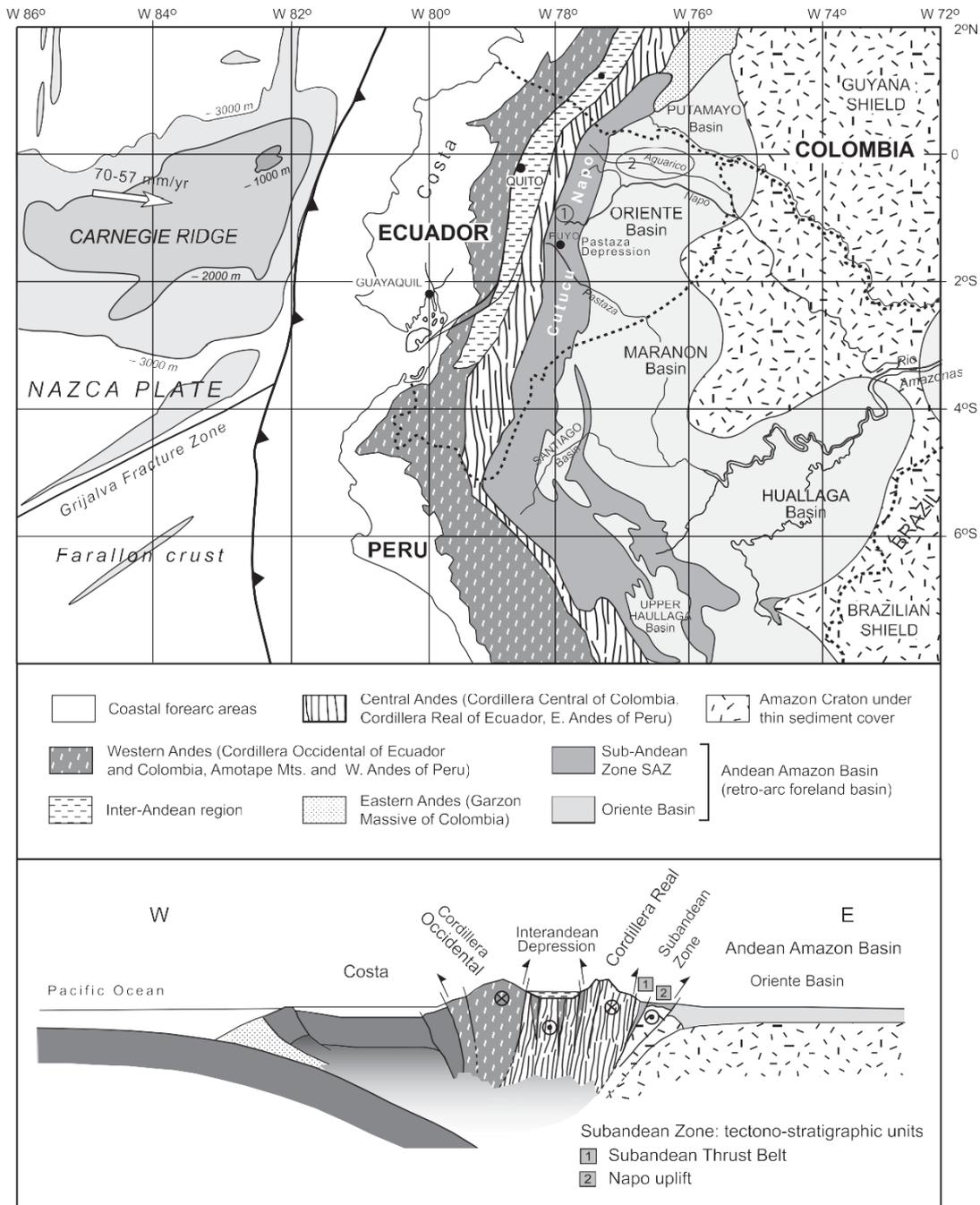


Figura 29 Mapa esquemático tectónico (a) y sección (b) para ilustrar el entorno geológico de la Cuenca Amazónica Andina en Ecuador y regiones adyacentes. El complejo de cuencas comprende la cuenca exterior de Oriente y la zona subandina próxima. Compilado de Campbell (1970), Spikingset al. (2001), Ruiz (2002) y Winkler et al. (2005)..

Fuente: (Winkler, Büttler, & Guillong, 2008)



6.5.1 Geología Regional

Para el análisis de la geología regional se consideró información de la hoja geológica de Paquisha a escala 1: 100000, desarrollada por el INIGEMM en el año 2017, en donde se tomó información que se configura sobre el límite parroquial de Chicaña (ver figura 30).

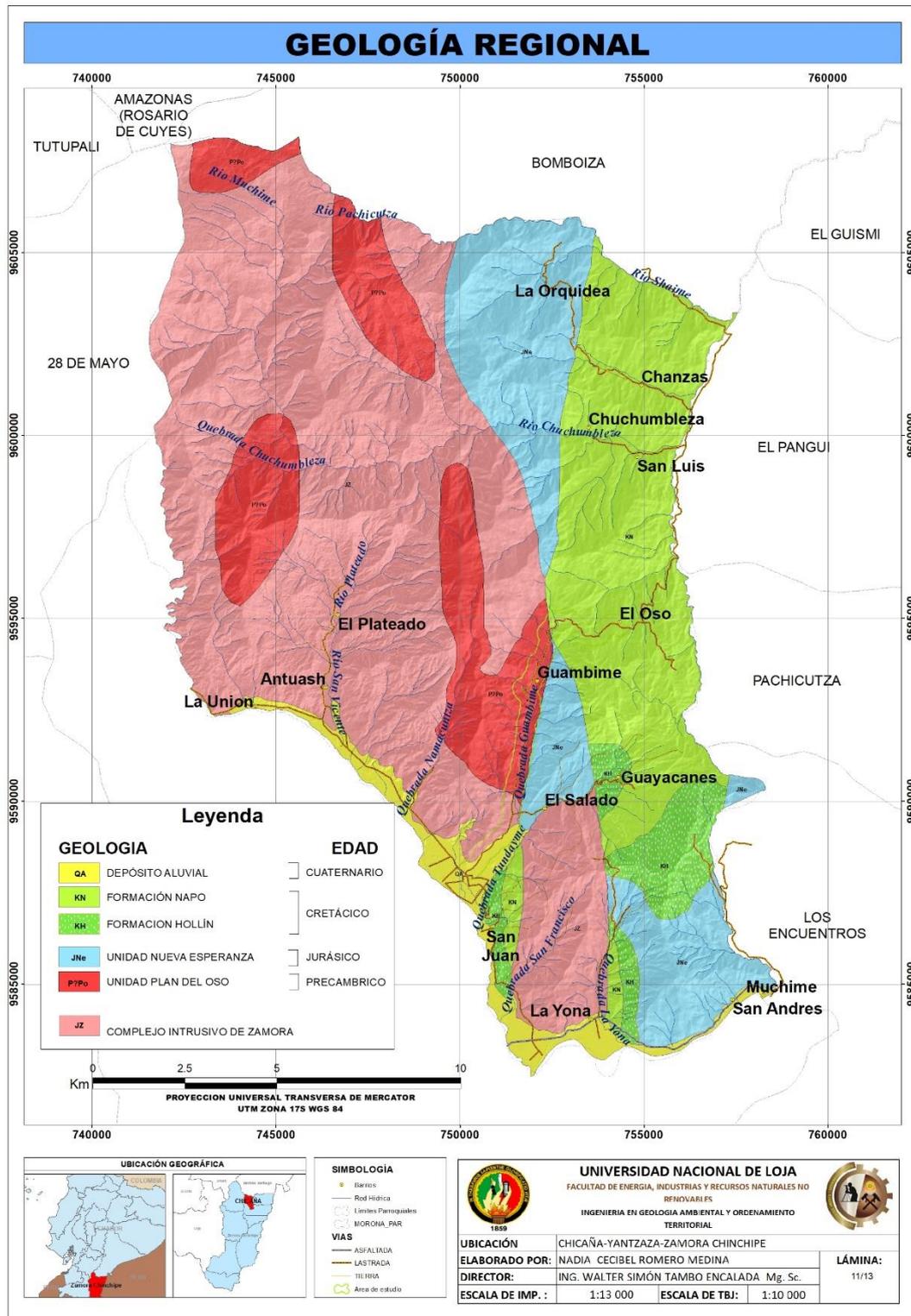


Figura 30 Mapa de la Geología Regional de la Parroquia Chicaña
 Nota: Elaborado por la (Autora, 2022), basado en información de la carta geológica de Paquisha a escala 1:100000



La zona de estudio se encuentra en el dominio geológico de las estribaciones orientales de la Cordillera Real conocida como zona Subandina. En esta zona se han definido unidades de las divisiones litotectónicas de los terrenos Loja, Salado y Amazónico (Aspden y Litherland, 1992). La Cordillera Real está conformada por varios cinturones paralelos de rocas metamórficas pre-cretácicas, caracterizadas como divisiones compuestas de unidades litotectónicas de orientación NNE-SSW, controlados por fallas o suturas regionales (Aspden y Litherland, 1992). En estas unidades litotectónicas metamorfizadas están involucrados además granitoides tipo “S” y tipo “I” (Aspden et al, 1992).

6.5.1.1 Unidad Plan Del Oso (P?Po).

Estos cuerpos de rocas metamórficas afloran como “roof pendant” alineados con rumbo Noreste en la parte central de la hoja geológica de Paquisha 1:100 000, específicamente en los sectores de Namirez, Valle Hermoso, quebrada Wambuscaro y Guambime. Afloramientos tipo se observan desde el poblado de Chicaña hasta El Oso (UTM: 752 088E/9 593 636N). Se trata de rocas tipo gneis, ocasionalmente aparecen intercalaciones de esquistos y filitas en menor proporción. Estos “roof pendant” metamórficos se encuentran levantados por el Complejo Intrusivo Zamora, esto causa silicificación en la roca. En el sector de Guambime son afectados por pequeños diques que provocan alteración hidrotermal. Estas rocas pueden ser interpretadas como una parte levantada del Cratón Brasileño-Guayanés.

La Formación Misahuallí ha sido diferenciada en dos unidades (Unidad Nueva Esperanza y Unidad La Saquea):

6.5.1.2 Unidad Nueva Esperanza (J Ne).

Aflora hacia la parte nororiental de la zona de estudio, los afloramientos tipo se encuentran en la margen izquierda de la quebrada Nueva Esperanza (UTM: 754 384E/9 573 566N) y en el sector de La Tapaza (UTM: 756 714E/ 9 577 156N), Correntada Larga (UTM: 758 850E/9 584 253N), Muchime, Mercadillo y San Ignacio. Constituye tobas, ignimbritas y volcánosedimentos de varios tamaños y polilíticos, en la mineralogía se observan plagioclasas alteradas y cristales rotos de hornblenda. Se la encuentra como un paquete de rocas no estratificadas; al norte de Chicaña, en el sector de la quebrada El Salado se las observan sobreyacidas por la secuencia sedimentaria Cretácica correspondiente a las Formaciones Hollín



y Napo. En el sector al norte de Los Encuentros está afectada por el Batolito de Zamora y por otros cuerpos intrusivos más jóvenes. Esta unidad puede ser interpretada como una fase volcánico-clástica del arco volcánico Jurásico.

6.5.1.3 Unidad La Saquea (JSa).

Se ubica en la parte central de la zona de estudio, este tipo de roca también fue cartografiado en el extremo SE del mapa de Paquisha. El afloramiento tipo se encuentra en el sector de La Saquea (UTM: 739 092E/9 566 313N), además se observan afloramientos a lo largo de la vía Zumbi-La Saquea-Piuntza, en la vía La Saquea-Cumbaratza y en la vía La Saquea-Guaguayme. Litológicamente comprende andesitas, andesitas basálticas y brechas volcánicas de la misma composición intermedia-básica.

Mineralógicamente las andesitas están compuestas de plagioclasa, anfíbol y piroxeno. En varios de los sectores indicados, las andesitas presentan alto magnetismo y alteración, se encuentran cloritizadas o silicificadas, con sulfuros diseminados y con la presencia de vesículas rellenas de carbonatos. Estas rocas son afectadas por la intrusión del Complejo Intrusivo Zamora, por lo que se observan xenolitos de andesitas dentro del intrusivo. En el sector del Contrafuerte de Los Hachos se interpreta que estas lavas están sobreyaciendo de manera concordante a los volcanosedimentos de la Unidad Nueva Esperanza. En un corte desde Yantzaza a La Saquea, se observa que están sobreyacidas en contacto discordante por la secuencia sedimentaria cretácica. Esta unidad es interpretada como una fase lávica del arco volcánico calco-alcálido Jurásico.

6.5.1.4 Formación Hollín (KH).

(Watson y Sinclair, 1927) a esta unidad se la evidencia a 3 k m al sur de Yantzaza en la vía Yantzaza-Zumbi, quebrada Cuji (UTM: 748 491E/9 572 979N) y en el sector de Nanguipa Bajo. La litología en la zona de estudio comprende areniscas de colores blanquecinos, estratificados, compuestos de cuarzo, con buen sorteo de granos, cementados con sílice producto de alteración hidrotermal y poco material ferruginoso. Las areniscas cuarzosas se presentan con intercalaciones de lutitas muy finas menores a 1 cm de espesor. La estratificación es sub-horizontal buzando ligeramente hacia el este. En la zona de la quebrada El Salado al norte de Chicaña, se logra evidenciar un contacto transicional (on-lap) entre Hollín y Napo,



mientras que en la vía Yantzaza-Zumbi se observó el contacto discordante de Hollín sobreyaciendo a los volcánicos de La Saquea. Tschopp (1953) asigna a las rocas de esta Formación una edad Aptiense, Jaillard (1997) menciona que la Formación Hollín va del Aptiense Medio al Albiense Tardío.

6.5.1.5 Formación Napo (KN)

(Watson y Sinclair, 1927) se la encuentra al oeste de Yantzaza, con claros afloramientos en la vía perimetral de la población de Yantzaza y en las quebradas de Pita y Yantzaza. Litológicamente se encuentran lutitas calcáreas de color negro, de textura filítica a pizarrosa, se presentan físilas y ocasionalmente se evidencia la estratificación. En el sector de Yantzaza, en la quebrada de Pita Alto, estas rocas fueron afectadas por un pórfido cuarífero, que las está deformando especialmente en sus contactos y como resultado se tienen plegamientos locales y un leve metamorfismo de contacto. La Formación Napo sobreyace en concordancia a la Formación Hollín. “En el sector de Yantzaza se encuentra en contacto tectónico con el Complejo Intrusivo Zamora e intruida por un pórfido de cuarzo. Debido a la rica fauna de foraminíferos y ostrácodos se ha podido determinar una edad que va del Albiense al Santoniense” (Duque, 2000)

6.5.1.6 Depósitos Aluviales (QA).

Los depósitos aluviales más importantes se encuentran en las riberas de los ríos Zamora, Yacuambi, Chicaña y en las quebradas principales. Consisten de cantos, gravas redondeadas y arenas subredondeadas, es material transportado por los ríos y su composición depende de las unidades litológicas por donde atraviesa. Cabe mencionar que en algunos sitios de estos aluviales se ejecutan labores de extracción de oro.

6.5.1.7 Rocas intrusivas

✓ Granito (GG).

Son cuerpos que afloran en la quebrada de Cumbaratza (UTM: 732 431E/9 558 262N), La Hueca (UTM: 743 206E/9 567 411N), sector El Carmelo (UTM: 738 256E/ 9 575 087N) y al norte de la quebrada de Wintza (UTM: 747 856E/ 9 586 040N). Mineralógicamente están compuestos de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, hornblenda, poca biotita y a veces



clorita como mineral de alteración, en algunos sectores se encuentran con oxidaciones de color café claro y con moderado magnetismo. En el sector de Cumbaratza el granito se encuentra afectado por diques oscuros de composición andesítica y silicificación, como también vetas de cuarzo lechoso. En el sector del Contrafuerte de Chicaña está mineralizado con presencia de sulfuros diseminados. Debido a que están afectando a los cuerpos plutónicos y a secuencias volcánicas del Jurásico, se interpreta que se trata de rocas más jóvenes, posiblemente cretácicas.

✓ ***Granodiorita-Diorita (GGd/D).***

Se encuentran entre la zona de Zumbi- Panguintza y a lo largo del río Yacuambi en los sectores de Piuntza-Guadalupe (UTM: 730 917E/9 579 346N), en el sector de Napurca (UTM: 734 271E/9 583 357N). Son rocas intrusivas jóvenes que están afectando a secuencias plutónicas y volcánicas del Jurásico.

Litológicamente va de granodioritas a dioritas. Las granodioritas presentan minerales de plagioclasa, anfíboles y cuarzo, las cuarzodioritas tienen una composición similar, pero con menor porcentaje de cuarzo. Al encontrarse afectando al volcanismo jurásico, se les atribuye al post-Jurásico.

✓ ***Metagranito (GM-G).***

Se trata de un cuerpo intrusivo ubicado en la parte noroccidental de la hoja, afloramientos tipo se encuentran en las márgenes del río Quimi (UTM: 728 682E/9 584 165N) y al norte en la quebrada Namacuntza (UTM: 729 485E/9 590 619N). Su composición está entre granítica y granodiorítica de tamaño de grano variable, hacia el centro del cuerpo intrusivo el grano es grueso disminuyendo hacia los bordes. Mineralógicamente está compuesto de muscovita, cordierita, biotita, cuarzo, feldespato de K y plagioclasa. Debido a la existencia de cordierita podría ser un indicativo de metamorfismo de contacto. En un inicio se pensó que este cuerpo correspondería a un intrusivo tipo "S", sin embargo, en los análisis de geoquímica de roca total los resultados fueron de un intrusivo tipo "I". Litherland et al. (1994) definen a la Unidad como Granitoides Azafrán, que consta de granitos metamorfizados, posiblemente relacionados con este intrusivo, de ser así, la edad de este cuerpo sería de 142.7 ± 2.9 Ma por U/Pb en zircones de granitos (Litherland et al., 1994).



✓ ***Complejo Intrusivo Zamora (JZ).***

(Litherland et al, 1994) Un gran porcentaje aflora en la hoja geológica. Importantes afloramientos se encuentran en el río Ungumiatza (UTM: 743 404E/ 9 588 346N), al oeste del sector de Guaguayme Alto, Contrafuerte de Cutuntza (UTM: 739 308E/9 560 828N), sector de San Francisco (UTM: 731 931E/ 9 563 060N) y a lo largo de la vía Guadalupe-La Paz. Comprende granodioritas, su composición mineralógica característica es plagioclasa, anfíbol, piroxeno y cuarzo. Este batolito se encuentra meteorizado, deleznable. En algunos lugares se presenta cortado por un gran número de diques volcánicos de andesitas-basálticas y por intrusivos más jóvenes de diferente composición. Este batolito se encuentra afectando al volcanismo Jurásico, en algunos sectores se observa que está sobreyacido por la secuencia sedimentaria del cretácico de la cuenca Oriente. Su edad está entre 150 y 165 Ma. Y también se reporta una edad de 210 Ma. (Litherland et al., 1994).



6.5.2 Geología Local

El levantamiento geológico de la zona de estudio se realizó con la finalidad de evaluar la estratigrafía local, geometría y orientación espacial, a partir de la descripción de 30 afloramientos representativos (ver anexo 5, 9 y 10), descritos en las fichas de afloramiento propuestas en la metodología, que han permitido caracterizar la secuencia litoestratigráfica de la zona.

6.5.2.1 Unidad Plan Del Oso (P?Po).

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:752063/Y:9593620, se presenta un contacto tectónico de rocas metamórficas de la Unidad Plan del Oso con rocas del Complejo Intrusivo de Zamora. En la parte inferior del afloramiento se observa parte del intrusivo con inclusiones de andesita, sobre él, esquistos de la unidad Plan de Oso (ver figura 31).

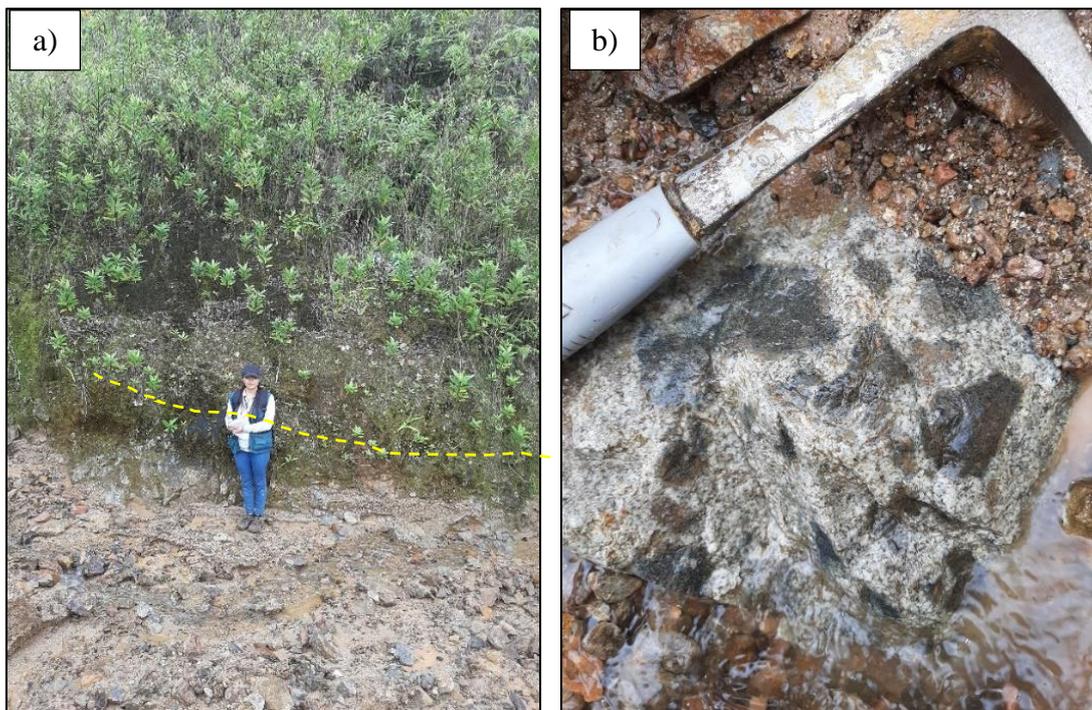


Figura 31 a) Contacto tectónico. b) Granodiorita con xenolitos de andesita
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

Este fenómeno tectónico conjuntamente con las condiciones litológicas y climáticas del área de estudio ha desencadenado un movimiento en masa, considerándose el de mayor



extensión en todo el tramo de vía. Interpretadas como una parte levantada del Cratón Brasileño-Guayanés.

✓ Gneis

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751942/Y:9593207 se ubica un afloramiento de gneis con un rumbo N40E buzando 64° hacia el NW; fuertemente diaclasados por familias de discontinuidades horizontales como verticales, que disminuyen la calidad del macizo rocoso, a pesar de su alta meteorización se logró identificar la formación de vetillas centimétricas de cuarzo (ver figura 32)



Figura 32 a) Afloramiento de gneis. b) Vetillas de cuarzo
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751850/Y:9592279 se presenta un afloramiento de Gneis, con un rumbo S29W, buzando 66° hacia el NW, afectados por un pequeño dique de andesita de 0.50 m, fuertemente meteorizado, limitado por vetas de tamaño centimétricas de cuarzo. (ver figura 33)

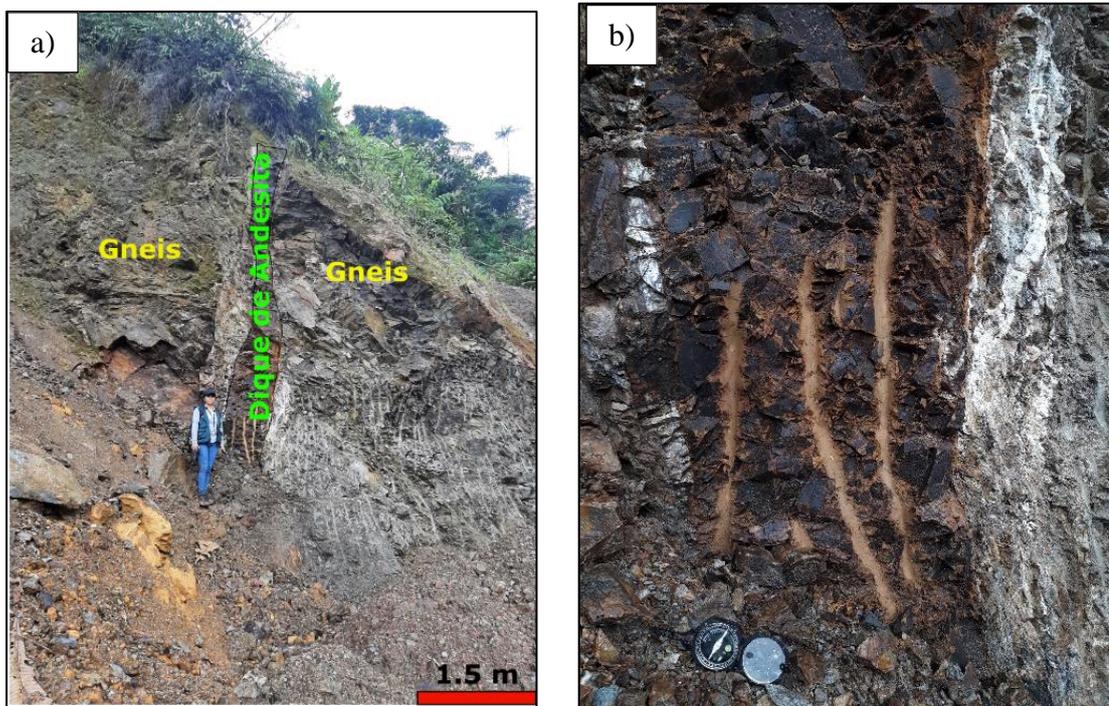


Figura 33 a) Afloramiento de Gneis b) Dique meteorizado de andesita
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



✓ **Corneana**

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751874/Y:9592410 se trata de un cuerpo de rocas metamórficas corneana, de estructura masivas, que afloran como “roof pendant” alineados con rumbo N50W, y buzando hacia el SW, sobre la muestra de mano se evidencio mineralización (pirita/calcopirita), además de vetillas de silificación (ver figura 34).

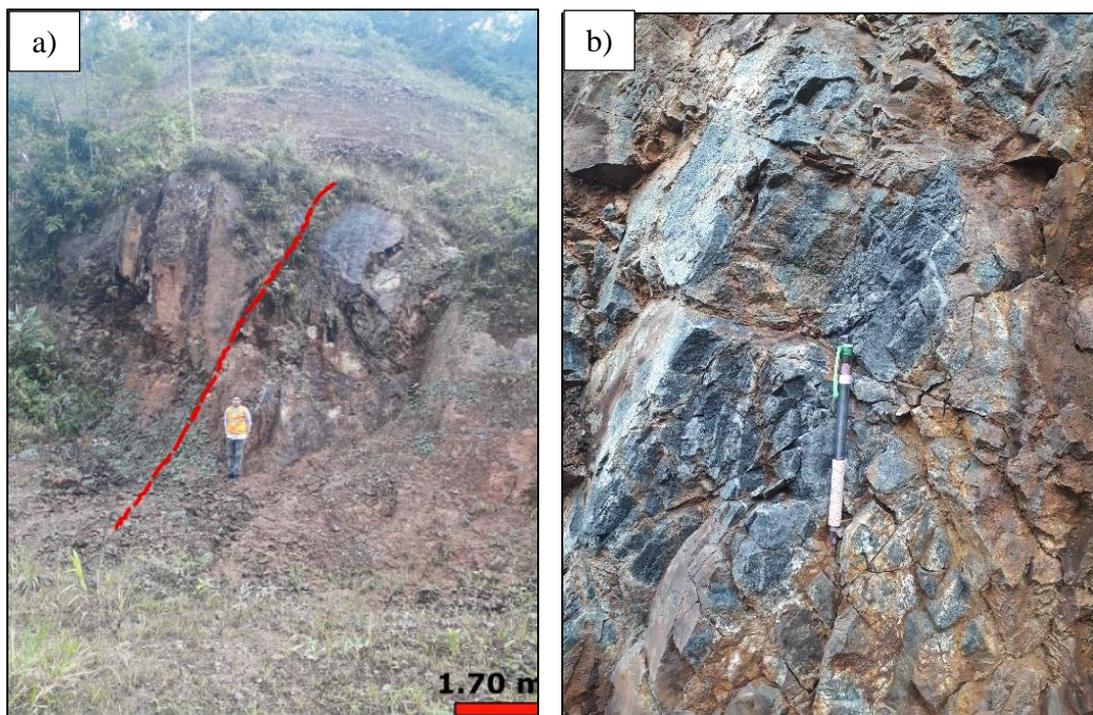


Figura 34 a) Afloramiento de roca corneana. b) Roca corneana meteorizada con vetillas de cuarzo

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

✓ **Esquisto**

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751846/Y:9592038, sobre el cauce de la Quebrada Guambime, se presenta un afloramiento de rocas metamórficas con esquistosidad bien desarrolladas, color verde; capas de rocas metamórficas de esquistos de 1.6 m, sobre las cuales se han depositado material aluvial con una potencia de 1m, que consiste de cantos rodados esquistos y granitos de tamaños considerables de hasta 63 cm en una matriz limo arcillosa (ver figura 35)

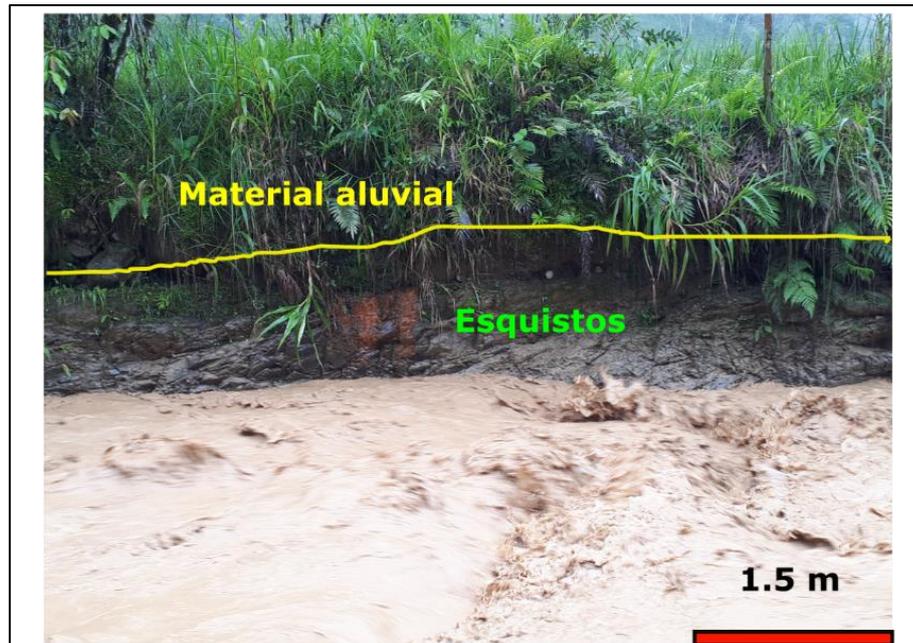


Figura 35 Afloramiento de esquistos sobre la Q. Guambime
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.5.2.2 Formación Napo (KN)

A lo largo del área de estudio se levantaron varios afloramientos, en su mayoría correspondientes geográficamente, de acuerdo a la hoja geológica de Paquisha, sobre la formación Napo que corresponde a Lutitas calcáreas. A continuación, se mencionan los afloramientos más representativos encontrados en esta formación.

✓ Lutitas.

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:754327/Y:9594818 se presenta un afloramiento cuya litología corresponde a lutitas, color marrón-amarillento, que evidencia un alto grado de meteorización; corresponden a un proceso sedimentario de compactación en ambientes oxidantes, presenta planos de estratificación con dirección NE y buzamiento casi vertical de 82°NW, además el afloramiento se encuentra altamente fragmentado por diaclasamientos horizontales de hasta 17° e inclinados de 45° (ver figura 36)



Figura 36 Afloramiento de lutitas marrones
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:753700/Y:9594531 se presenta un afloramiento de lutitas, con un rumbo S25°W, buzando 42° hacia el NW, se configura como una roca detrítica compuesta por sedimentos finos, no podemos definir ni su composición mineral ni sus elementos texturales en muestra de mano. Por tal motivo, su característica dominante será el color, en este caso el color que se ha determinado es el gris-oscuro, presenta gran contenido de materia orgánica y carbonatos, en un ambiente de formación deposicional deficiente de oxígeno, además se evidencia fisilidad en las muestras de mano, es decir la propiedad de dividirse en láminas. Además, se presentan con un alto grado de meteorización (ver figura 37).



Figura 37 Afloramiento de lutitas grises
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

Otros afloramientos similares, se pueden encontrar en los lechos de las quebradas, con orientaciones de sus estructuras similares a los descritos

✓ **Calizas**

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:753500/Y:9594529, se trata de un afloramiento de roca de color gris oscuro verdosa, caliza, de textura fina. El afloramiento presenta un alto grado de meteorización, gran contenido de humedad y densidad de vegetación. En sus planos de separación (asociados a una dinámica extensional) han sido rellenados por vetillas de calcita. Además, se observa en la topografía el relieve brusco que conforma el afloramiento, definiendo una falla con dirección S45°E, buzando al SW (ver figura 38).



Figura 38 Afloramiento de Caliza
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

Sobre el afloramiento de las calizas y en las muestras de mano, se pueden evidenciar vetillas rellenas de calcita (ver figura 39).

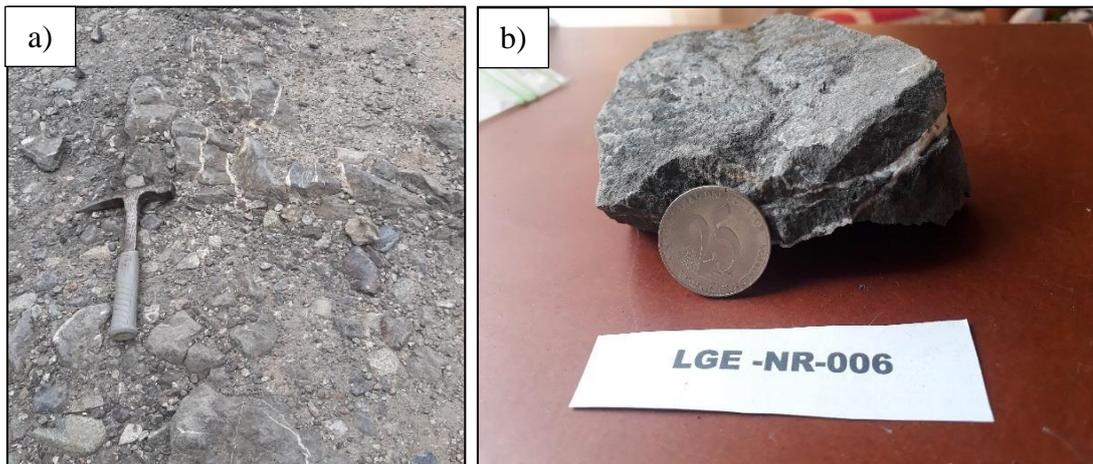


Figura 39 a) Afloramiento de calizas. b) Muestra de roca caliza
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:753176/Y:9594843, se trata de una secuencia de rocas duras competentes (calizas oscuras) e incompetentes (lutitas). Conformando un pliegue tipo chevron que se caracteriza por su punto de charnela muy aguda, casi sin curvatura. Sobre sus estratos atraviesan venas de calcita perpendiculares a la superficie de estratificación. Esta deformación se asocia a fuerzas tectónicas compresivas (ver figura 40).



Figura 40 Afloramiento 9. Pliegue Chevron
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.5.2.3 Depósitos Aluviales (QA).

Los depósitos aluviales se evidenciaron a lo largo de la quebrada Guambime, con potencias desde 1 m hasta 12 metros en las cotas más altas del área de estudio

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751719/Y:9593168 se presenta una terraza aluvial, sobre ambos lados de la Quebrada Guambime compuesta por material clástico anguloso de naturaleza ígnea y metamórfica, poco clasificado en la mayoría de los casos, en una matriz limo arcillosa, depositadas sobre esquistos de la formación Plan del Oso (ver figura 41)



Figura 41 Afloramiento de depósitos aluviales
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.5.3 Geología estructural

Se utilizaron ortofotografías y un MDT (Modelo digital del terreno) del área de estudio, con estas herramientas se construyeron lineamientos en la red hídrica, monturas y cambios bruscos en la topografía, lo cual permitió deducir la presencia de estructuras que fueron mejor definidas con los trabajos de campo.

La geología estructural de la zona, presenta cuerpos de rocas que se presentan a manera de franjas paralelas, así mismo se presentan distintos grupos de fallas con orientaciones NW y NE y de extensión en relación desde metros a kilómetros, además los cuerpos de rocas metamórficas que afloran se presentan fuertemente fracturados. (ver anexo 9)

Algunas de estas características estructurales se desarrollan en los contactos formacionales por los que atraviesa la zona de estudio.

6.5.3.1 Fallas

Tabla 21 Fallas observadas en el área de estudio

N°	Rumbo	Buzamiento	Denominación
1	N45°W	45° SW	NORMAL
2	N33°E	49° NW	INVERSA
3	N13°E	50° NW	NORMAL
4	S4°E	73° NE	NORMAL
5	N56W	54° NE	INVERSA

Nota: Elaborado por la (Autora,2022)

Entre el kilómetro 9 y 10 de la vía, en las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:753500/Y:9594529, se observa una falla normal de rumbo N45W, buzando 45° al SW, con una extensión aproximada de 1 kilómetro, que pone en contacto un afloramiento de calizas oscuras con lutitas en la formación Napo (ver figura 42).

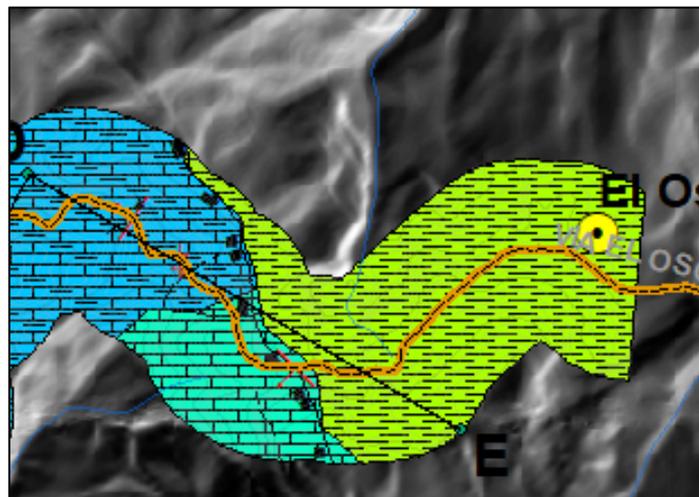


Figura 42 Falla normal

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

Así mismo en el afloramiento 11 cerca al kilómetro 9, en las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:753035/Y:9594953 se evidenció una falla cuya cinemática es a manera de una falla inversa (ver la figura 43), hablando de una zona de cizalla compresional, de rumbo N33E, buzando 49 ° al NW, con una extensión observable de 100 m aproximadamente, se puede observar una superficie de discontinuidad, en medio forma unas líneas semicurvas (refracción del clivaje), en la parte superior se observan líneas de partición del clivaje con regularidad espacial, e intercalaciones de una roca, competente (calizas oscuras) con una menos competente (lutitas). Además, sobre la superficie de falla se observan pátinas de carbonato, producto de la recristalización sobre los saltos de falla.

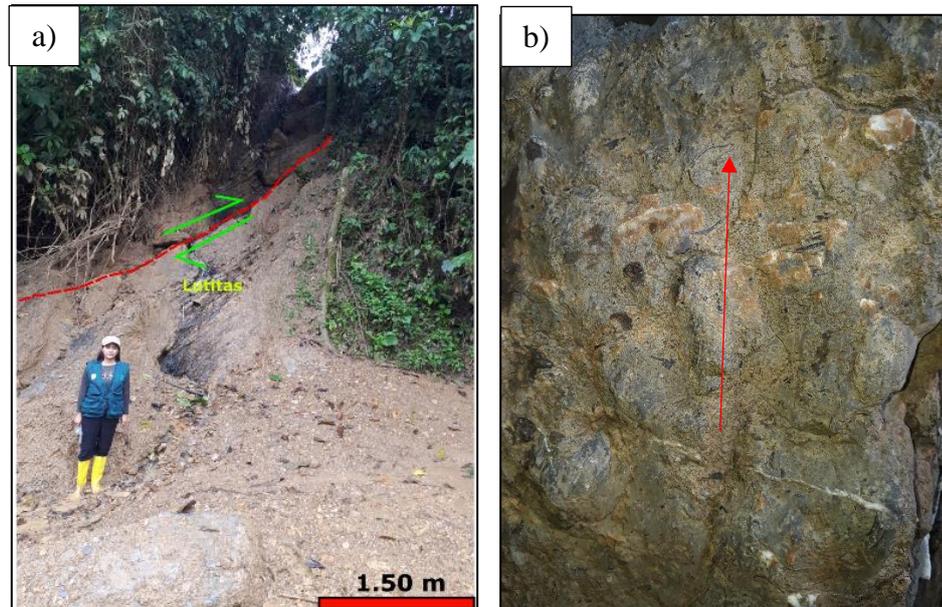


Figura 43 a) Falla inversa. b) Superficie de falla con fibras recristalizadas.
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751969/Y:9593666, se observa una falla normal sobre granitos masivos en contacto cizallado con diques de andesitas-basálticas, de rumbo N13E, buzando 50° hacia el NW. EL granito se encuentra afectado por la meteorización presentándose deleznable (Ver figura 44)

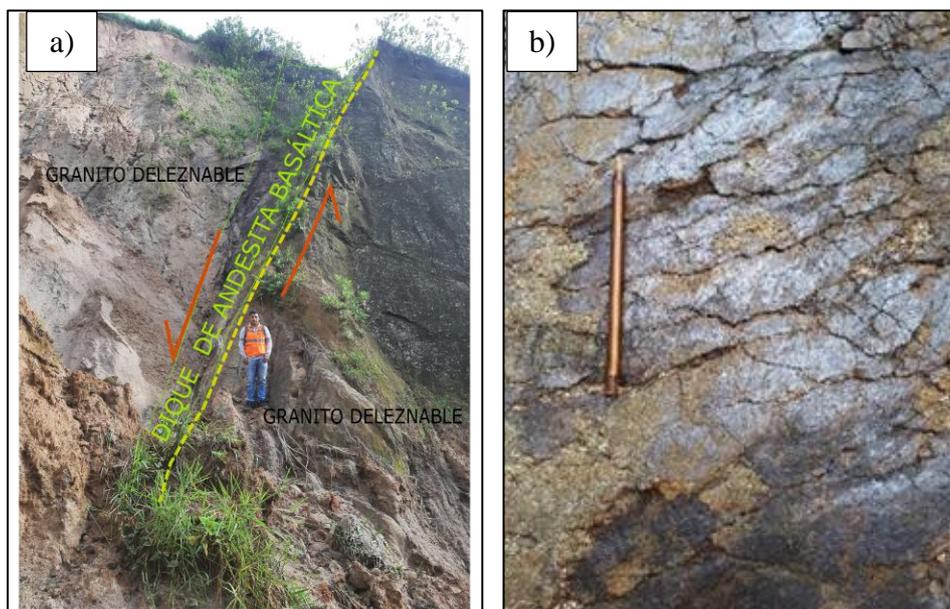


Figura 44 a) Falla normal b) Estrías de falla
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751733/Y:9593125 se presenta una falla normal con un rumbo S4°E buzando 73 ° al NE, de extensión de 350 m visibles aproximadamente, entre la zona de falla se ha originado un tipo de roca, compuesta por fragmentos angulares mayores a 2 mm desprendidos de las paredes de la zona de falla soportadas entre sí por materiales finos (matriz 50%), denominándose, así como una brecha de falla, con un espesor de 25 cm. (ver figura 45)

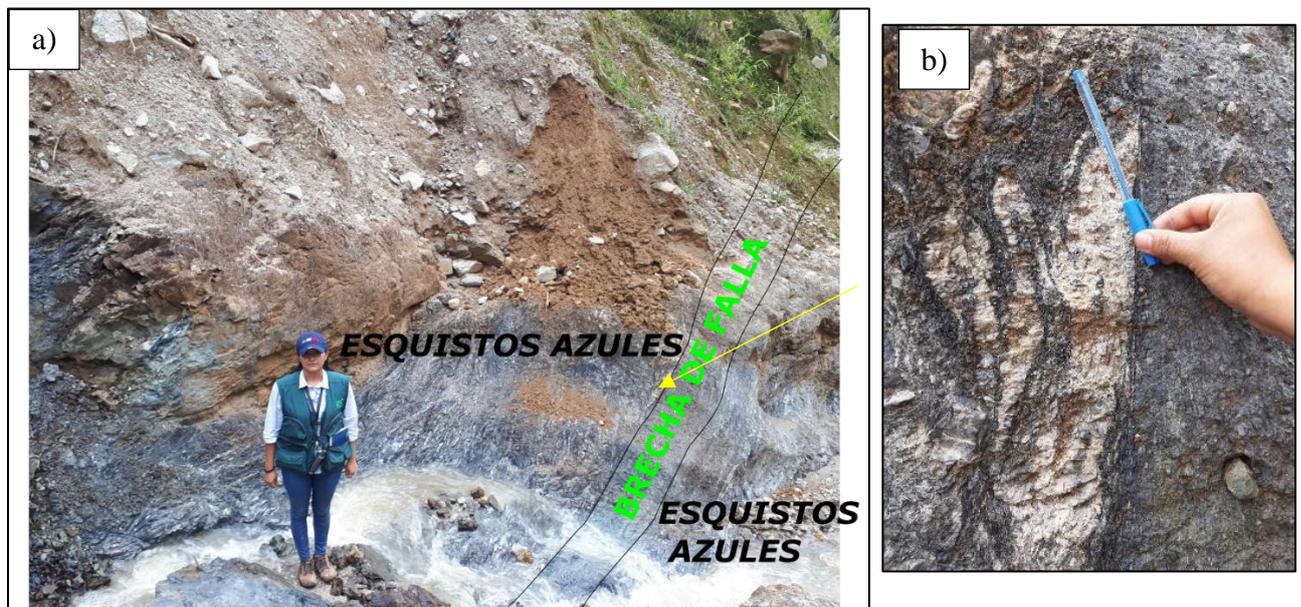


Figura 45 a) Falla normal sobre esquistos azules de la Unidad Plan del Oso. b) Deformaciones sufridas en la zona de falla
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

En las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751661/Y:9593109 se presenta una falla inversa de rumbo N56W buzando 54 ° al NE, con una extensión de 300 m aproximadamente, sobre esquistos verdes (ver figura 46)



Figura 46 Falla inversa

Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

6.5.3.2 Diaclasas

Como ya es conocido una falla es una cizalla con desplazamiento, sin embargo, las zonas de cizalla no siempre llegan a ser fallas ya que no han vencido su límite de rotura, en estos casos denominadas diaclasas. Sobre la franja de vía en estudio se presentan fracturas locales entre bloques y puntuales dentro de los afloramientos rocosos con diferentes longitudes y orientaciones; a continuación, se describen algunos.

Las formaciones que presentan con mayor claridad diaclasas son las de tipo metamórfico como es el caso del afloramiento 16 en las coordenadas UTM/WGS84 ZONA 17S X:751942/Y:9593207, este afloramiento está conformado por rocas metamórficas con diaclasamientos bien desarrollados tanto verticales como sub-horizontales, dichas aperturas han sido rellenadas por cuarcita. (ver figura 47)

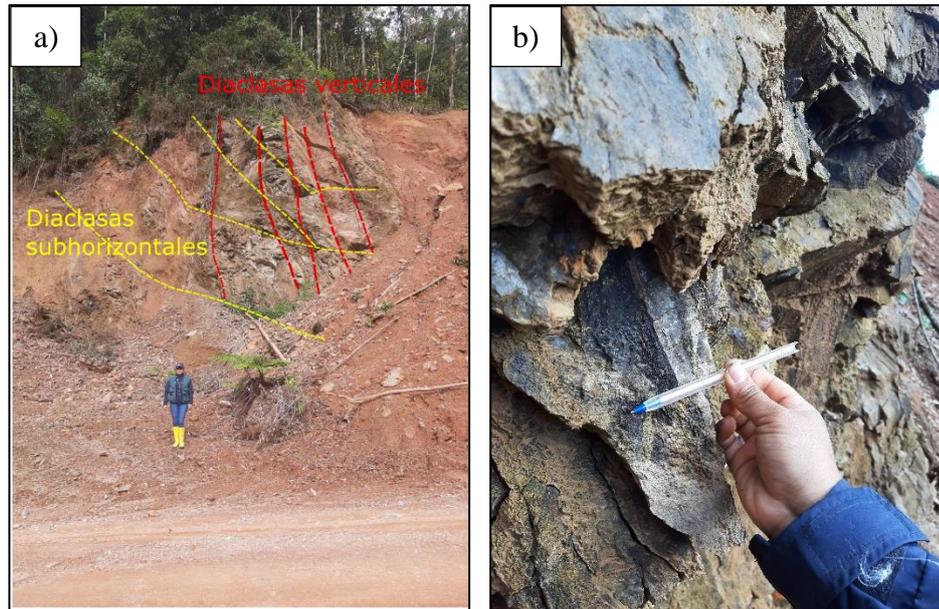


Figura 47 a) Diaclasas b) Vetillas de cuarzo
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)

De igual forma el afloramiento 18 se presentan rocas metamórficas corneana, se encuentra diaclasado sub-verticalmente buzando 67° hacia el SW (ver figura 48)

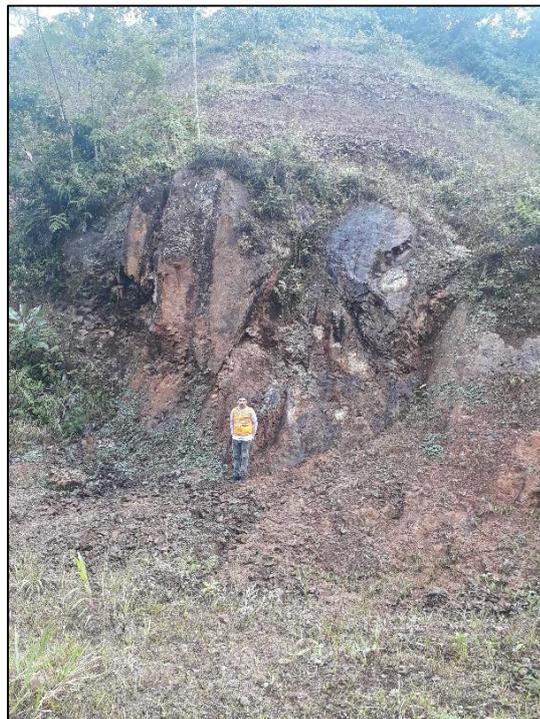


Figura 48 Diaclasas
Nota: Elaborado por la (Autora, 2022)



7 Discusión de resultados

Del Levantamiento Geológico-Estructural de la Vía Chicaña-El Oso, parroquia Chicaña, cantón Yantzaza, provincia De Zamora Chinchipe, en relación con los estudios topográficos, geomorfológicos y geológicos realizados previamente por diferentes instituciones, se puede establecer lo siguiente

Para la ubicación y toponimia general del área en estudio, se emplearon las hojas topográficas desarrolladas por el Instituto Geográfico Militar a escala 1:50.000 de los Encuentros (1981), y el Pangui (1997) , sin embargo la elaboración en sí de la topografía del área en estudio se desarrolló a partir de modelos digitales de terreno con una resolución de pixel de 5x5 m, con la que se puede corregir ciertos parámetros que a una escala de menor detalle no se pueden diferenciar, como pendientes, desnivel relativo o longitudes de las vertientes, dando como resultado la topografía de la vía realizada con una extensión de 10.8 km y un espesor de 250 m a cada lado del eje, la cual presenta diferencias de altura que van desde 845 hasta 1 510 m.s.n.m; se caracteriza también por poseer pendientes: Ligeramente inclinadas (0-5 °) en un 18.5 %; Fuertemente Inclinadas (5-15 °) en un 29.0 %; Muy Inclinadas (15-35 °) en un 45.2 %; el 7.14% corresponde a pendientes Empinadas, y un 0.055 % correspondiente a superficies verticales que superan los 55° de inclinación;

La región oriental incluye el relleno de la Cuenca Amazónica que está constituida por sedimentos marinos y continentales de edad cretácica a holocénica, depositadas sobre un basamento formado por secuencias paleozoicas, jurásicas y rocas precámbricas pertenecientes al cratón Guayanés (Tschopp, 1953; Vallejo et al., 2009); y una zona de transición denominada levantamiento subandino, comprendida por batolitos y secuencias volcánicas de edad jurásica, unidades volcánicas triásicas y rocas metamórficas del paleozoico (Litherland et al., 1994). La litología en base a la Hoja Geológica de Paquisha a esc 1: 100000 desarrollada por el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM, 2017), determina que la parroquia Chicaña está constituida por: Rocas metamórficas de la Unidad Plan del Oso, los volcánosedimentos de la Unidad Nueva Esperanza, las andesitas de la Unidad la Saquea (afectadas por la intrusión del complejo intrusivo de Zamora), continuando con las areniscas de la formación Hollín , las lutitas calcáreas de color negro de la formación Napo, y los Depósitos consisten de cantos, gravas redondeadas y arenas subredondeadas.



En contraste a lo establecido por el INIGEMM, en este estudio el levantamiento geológico-estructural se ha realizado a escala 1: 10000 comprende un área de 5.3 Km², incluye los barrios Chicaña, Guambime y el Oso, en el cual conjuntamente con el trabajo de campo, en ciertas formaciones y por la diferencia de escala en la que se trabaja, se puede discriminar ciertas características geológicas que no considera el estudio de una escala menor como el tipo de roca, dirección, rumbo y buzamiento de los estratos, fallas, fracturas, diaclasas, estratificación y plegamientos presentes en la zona.

En el área de estudio la Unidad Plan del Oso del precámbrico está representada por rocas metamórficas con una intensa recristalización de los minerales bajo compresión, que se registra con una orientación preferente, que produce fibras planares y lineales en las rocas metamórficas gneis y esquistos alineados con rumbo noreste que afloran en el barrio y en la quebrada Guambime a manera de “roof pendant” como un mecanismo de alzamiento producido por el Complejo Intrusivo de Zamora, en algunos afloramientos se han observado diques andesíticos, estos afloramientos se encuentran intensamente alterados.

En niveles más superficiales se presenta la formación Napo, constituida por lutitas y calizas, en algunos sectores interestratificadas entre sí y formando pliegues tipo Chevron, se presenta entre los kilómetros 8 y 10.8 en el barrio El Oso, todos sus afloramientos están fuertemente meteorizados debido a la densa vegetación y condiciones climáticas de la zona. Los depósitos Aluviales afloran a lo largo del río Tundayme, quebrada Guambime y sus afluentes, en las partes más altas los bloques de roca son angulares de gran tamaño provenientes de formaciones ígneas y metamórficas, a diferencia de las terrazas en las partes bajas del área de estudios que son de menor tamaño y subredondeados.

La bibliografía sobre estructuras geológica y petrología de detalle en el área están pobremente estudiados; sin embargo en los trabajos de campo realizados en este proyecto, se identificaron fallas que van de pocos a cientos de metros de extensión, que afectan tanto a la formación Napo, al Complejo Intrusivo de Zamora, y a la Unidad Plan del Oso, en este último presentando un ambiente dúctil con formación de esquistosidades, por la retransmisión de esfuerzos de la incompetencia de granos finos (arcillas) generan deformaciones suficientes para producir desplazamientos, además estas formaciones están afectadas por diaclasas verticales y sub-horizontales, algunas de estas zonas de apertura han sido rellenadas por los minerales cuarzo y calcita.



8 Conclusiones

- El tramo de la vía en estudio, comprende cotas que van desde 845 hasta 1 510 m.s.n.m, su relieve es irregular, se caracteriza por estar localizada en una zona de transición entre la Cordillera Real y la Zona Subandina, los tramos positivos más incidentes son característicos en el Barrio El Oso y Guambime, predominando pendientes muy inclinadas (15-35 °) en un 45.2 %; y los desniveles negativos están relacionados a las quebradas Guambime y Tundayme, que han modelado un patrón dendrítico, con pendientes de 0 a 5 ° en un 18.5 % del área total de estudio en los primeros 5 kilómetros de la vía.
- Del levantamiento geológico realizado a escala 1: 10000 se concluye que el área de estudio está compuesta por la Unidad Plan del Oso del precámbrico, aflora en el barrio Guambime, representada por rocas metamórficas gneis, esquistos y corneana alineados con rumbo Noreste; la formación Napo aflora en el barrio el Oso, está constituida por lutitas y calizas, en algunos sectores interestratificadas entre sí y formando pliegues tipo Chevron, y los depósitos Aluviales afloran a lo largo del río Tundayme, quebrada Guambime y sus afluentes, en las partes más altas los bloques de roca son angulares de gran tamaño provenientes de formaciones ígneas y metamórficas, a diferencia de las terrazas en las partes bajas del área de estudios que son de menor tamaño y subredondeados.
- A nivel estructural se definieron 7 fallas, normales e inversas, de pocos a cientos de metros de extensión, 5 de ellas corroboradas en campo; en la formación Napo al final del tramo de vía se presenta una falla normal N45°W/45°SW, que pone en contacto tectónico calizas y lutitas, así mismo sobre esta formación se presenta una falla inversa de N33E/49NW, también se observó cerca al barrio Guambime una falla normal N13E/50°NW sobre granitos masivos en contacto cizallado con diques de andesitas-basálticas, La unidad Plan del Oso está afectada por una falla normal S4E/73NE, y una falla inversa N56W/54°NE producto de zonas de cizalla compresionales; además estas formaciones están afectadas por diaclasas verticales y sub-horizontales, algunas de estas zonas de apertura han sido rellenadas o recrystalizadas por los minerales cuarzo y calcita



- El mapa geológico-estructural a escala 1:10000 del área de estudio, se ejecutó a consecuencia de aplicar el método mapeo de contactos y caracterización de afloramientos o de exposiciones, con la herramienta SIG se realizó la cartografía de los elementos estructurales e información geológica levantada y analizada; litología, fallas, contactos y puntos críticos; con una leyenda estructural y 4 cortes geológicos longitudinales que abarcan toda la vía en estudio



9 Recomendaciones

- ✚ Utilizar la información de los resultados obtenidos como base para la decisión o ejecutar de cualquier obra dentro de la parroquia o estudios posteriores sean de susceptibilidad a deslizamientos o implementación de infraestructura vial
- ✚ Para determinar las potencias de las distintas unidades litológicas, se recomienda realizar campañas de resistividad eléctrica.
- ✚ Se puede discutir diversas interpretaciones en aquellas zonas donde coexisten deformaciones metamórficas de carácter regional con grandes zonas de cizalla, por ello se recomienda además del estudio de superficies a nivel macroscópico, realizar estudios a nivel microscópico, que revelen los mecanismos que provocan las deformaciones en los minerales y que ocurren a escala de grano.
- ✚ Con la finalidad de contribuir con la gestión territorial, es recomendable realizar un estudio geológico-estructural a detalle, de toda la Parroquia Chicaña



10 Bibliografía

- Alcantara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. Compañía Editorial Continental.
- AYALA, A. (2003). *Mapas de susceptibilidad a movimientos de ladera con técnicas SIG*.
- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo* (Vol. I). IFEA, IRD, PETROECUADOR.
- Becerra, T. (2004). *Zonificación y cálculo de reservas de arcillas en el sector San Antonio – la Delicia del cantón Yantzaza de la provincia de Zamora Chinchipe*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Loja], Repositorio institucional-UNL.
- Belandria, N., & Bongiorno, F. (2012). *Geotecnia Aplicada. Clasificación Geomecánica de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana*. Técnico, Universidad de los Andes.
- Belouso, V. (1979). *Geología Estructural*. MIR.
- Billings, M. (1954). *Structural Geology*. Prentice-Hall.
- Christian, R. (2018). *Identificación y caracterización de facies de la Formación Hollín en Centro Shaima: El registro de una transición fluvio-marina en la región sur oriental del Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Nacional], Repositorio Digital - EPN. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19278?mode=full>
- Coque, R. (1987). *Geomorfología*. Alianza.
- Corrales, I., Rosell, J., Sanchez, L., Vera, J., & Villas, L. (1977). *Estratigrafía*. Rueda.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). *Landslide types and processes*, en Turner, K., y Schuster, R.L., Ed., *Landslide investigation and mitigation*. National Academic Press.
- Davis, G., Reynolds, S., & Kluth, C. (2012). *Structural Geology of Rocks and Regions* (Cuarta ed.). WILEY.
- Demek, J. (1972). *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*. Praga.
- Echeveste, H. (2017). *Manual de Levantamiento Geológico*. Edulp.
- Explorock. (2019). *Geología Estructural*. Cajamarca.
- GADPR Chicaña, G. A. (2019). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chicaña (Actualización 2019-2023)*. Informe técnico, GADPR CHICAÑA.
- García, A., Rosique, M., & Segado, F. (1994). *Topografía básica para ingenieros*. Universidad de Murcia.



- Gorshkov, G., & Yakushova, A. (1970). *Geología General*. MIR.
- Grabau, A. (1913). *Principles of Stratigraphy*. Seiler.
- Greenly, R., & Williams, H. (1930). *Methods of Geological Surveying*. Thomas Murby.
- Grupo de Estándares para Movimientos en Masa. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas*. PMA: GCA.
- Hugget, R. J. (2003). *Fundamentals of Geomorphology*. Routledge.
- INIGEMM, I. N. (2017). *PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y DISPONIBILIDAD EN EL TERRITORIO ECUATORIANO HOJA GEOLÓGICA PAQUISHA A ESCALA 1:100000*. GEOMÁTICA.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO Y ENERGÉTICO. (2019). *Estandares de Nomenclaturas Estratigráficas, simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica, version 2.0*. Técnico.
- Instituto Geográfico Militar. (1981). *Los Encuentros*.
- Instituto Geográfico Militar. (1997). *El Pangui*.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO. (2017). *Hoja Geológica de Paquisha*.
- Lisle, R., Brabham, P., & Barnes, J. (2011). *Basic Geological Mapping* (Fifth ed.). WILEY-BLACKWELL.
- Litherland, M., Aspend, J., & Jemielita, R. (1994). *The Metamorphic Belts of Ecuador* (Vol. 11). Overseas Memoir of the British Geological Survey.
- Martinez, J. (1981). *Mapas Geológicos*. PARANINFO.
- McClay, K. (2010). *The Mapping of Geological Structures*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuicultura y Pesca. (2015). *Cantón Yantzaza levantamiento de la cartografía temática escala 1:25.000, Lote 2*. Técnico, MAGAP-PRAT, SIGTIERRAS.
- MTOP, Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP. Procedimientos para proyectos viales*.
- Neimeyer, H. (2008). *Geología Estructural*. Ril Editores.
- Paladines, A. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. UTPL, Universidad Técnica Particular de Loja.



- Ragan, D. M. (2009). *Structural Geology. An introduction to Geometrical Techniques* (Cuarta ed.). Cambridge University Press.
- Rivadeneira, M., & Baby, P. (1999). *La Cuenca Oriente: Estilo tectónico, Etapas de Deformación y Características Geológicas de los principales Campos de Petroproducción*. Informe técnico, PETROPRODUCCIÓN-IRD.
- Schumm, S. (1991). *To Interpret the Earth: Ten Ways to be Wrong*. University Press.
- SIGTIERRAS. (2016). Modelo Digital del terreno.
- Tarback, E., & Lutgen, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la geología física*. Pearson.
- Tschopp, H. (1953). Exploraciones petroleras en el Oriente del Ecuador. *Asociación Estadounidense de Geólogos del petróleo*, 37(10), 2303-2347.
- Twidale, C. R. (1971). *Structural Landforms*. The MIT Press.
- Varela, R. (2014). *Manual de Geología*. INSUGEO.
- Varnes, D. (1978). *Landslides: Analysis and control*. D.C.
- Vera, J. A. (1994). *ESTRATIGRAFÍA. PRINCIPIOS Y MÉTODOS*. Rueda.
- Weller, J. (1960). *Stratigraphic principles and practice*. Harper & Brothers.
- Winckell, A. (1997). *Los paisajes naturales del Ecuador: las regiones y paisajes del Ecuador* (Vol. 2). CEDIG, IPGH, ORSTOM, IGM.
- Winckell, A., Marocco, R., Winter, T., Hunttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1992). *Los Paisajes Naturales del Ecuador* (Vol. I). CEDING.
- Winkler, W., Büttler, E., & Guillong, M. (2008). Recycling of Proterozoic crust in the Andean Amazon foreland of Ecuador: implications for orogenic development of the Northern Andes. *Researchgate*(11), 1365-3121. doi:0.1111/j.1365-3121.2007.00782.x



11 Anexos

Anexo 1. Topografía

Anexo 2. Perfiles topográficos del área de estudio

Anexo 3. Mapa de pendientes

Anexo 4. Fotointerpretación

Anexo 5. Fichas descriptivas de Afloramientos sobre la Vía Chicaña-El Oso

Anexo 6. Fichas de descripción macroscópica de rocas

Anexo 7. Fichas de inventario de deslizamientos

Anexo 8. Mapa de Geomorfología

Anexo 9. Mapa de Geología Estructural y perfiles geológicos

Anexo 10. Mapa de Geología Local

Ubicados en el CD-R No.1



Anexo 11. Certificación de traducción del resumen

María Eduarda Ludeña Piedra

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLES

Certifico. -

Que la traducción del documento adjunto por la señorita **Nadia Cecibel Romero Medina** con número de cédula de ciudadanía **1950058634**, cuyo tema de investigación se titula **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA VÍA CHICAÑA-EL OSO, PARROQUIA CHICAÑA, CANTÓN YANTZAZA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”**, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciada en pedagogía del idioma inglés.

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

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

María Eduarda Ludeña Piedra

Licenciada De Inglés

C.I: 1105333825

Número de registro: 1031-2020-2199488