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

Portada

Levantamiento geológico – estructural a escala 1:10000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja

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

AUTOR:
Fabricio Xavier Ojeda Carrión.

DIRECTOR:
Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022

Certificación del Trabajo de Titulación

Ingeniero.

Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, realizado por el señor egresado: **FABRICIO XAVIER OJEDA CARRIÓN** con C.I.; 1105146888, en su proceso de investigación denominado: **"LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO - ESTRUCTURAL, A ESCALA 1:10000 DE LA ZONA NORTE DE LA PARROQUIA LA TINGUE PERTENECIENTE AL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA"** previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que ha cumplido con el cien por ciento (100%) del trabajo de titulación, por lo que autorizó su presentación para la evaluación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 21 de febrero de 2022

Firmado electrónicamente por:
FERMIN ALEXANDER GONZALEZ SISALIMA

Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Fabricio Xavier Ojeda Carrión**, declaro ser autor 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 Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma: Firmado electrónicamente por: **FABRICIO XAVIER OJEDA CARRION**

Cedula de Identidad: 1105146888

Fecha: 2022/05/20

Correo electrónico: fabricioojedacarrion@unl.edu.ec

Teléfono o Celular: 0939291580

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

Yo, **Fabricio Xavier Ojeda Carrión**, declaro ser autor del trabajo de titulación: **"Levantamiento geológico – estructural a escala 1:10000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja",** como requisito para optar el título de: **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el 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 veinte días del mes de mayo del dos mil veintidós.

Firma: Firmado electrónicamente por: **FABRICIO XAVIER OJEDA CARRION**

Autor: Fabricio Xavier Ojeda Carrión

Cédula: 1105146888

Dirección: Loja, Cdla. Colinas del Pucará

Correo electrónico: fabricio.ojeda@unl.edu.ec

Celular: 0939291580

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación lo dedico con gran cariño:

A Dios, por su inmensa bondad al brindarme las fuerzas para seguir adelante y convertir todas las crisis en oportunidades, enseñanzas o experiencias.

A mis padres: Fabricio e Inés, por ser ejemplos de superación y fortaleza, constituirse en pilares fundamental en cada etapa de mi vida y por educarme en un ambiente lleno de valores y principios. Mi gratitud incondicional por cada uno de sus consejos, amor, esfuerzo, sacrificios y apoyo en el cumplimientos de mis sueños y metas propuestas.

A mis hermanas: Vanessa y Karla, por cada momento y experiencias que hemos vivido juntos. Gracias por ser mis mejores compañeras y amigas para celebrar triunfos y enfrentar todo tipo de dificultad o problema.

A mi mamita, Martha Elvira, por otorgarme todo el cariño durante mi niñez; por enseñarme a tener fuerza de carácter para buscar solución a cualquier problema, por inculcarme con su ejemplo la importancia de los valores que debe tener una persona, por las largas pláticas, por los consejos otorgados y por cada una de las experiencias vividas a diario.

A mis abuelitos, Manuel Adán y Rosa Herminia, por ser ejemplos de arduo trabajo para alcanzar metas y sueños. Gracias por su afecto, enseñanzas, consejos y cuidados.

Fabricio Xavier Ojeda Carrión

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja que me ha otorgado a través de la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial una adecuada formación académica.

Al Ing. Alexander González, Mg. Sc, director del presente trabajo de titulación, gracias por brindarme su asesoramiento, confianza y conocimientos durante el desarrollo de la presente investigación.

Al los miembros del tribunal grado, integrado por los docentes: Ing. Julio Romero, Mg. Sc, Ing. Walter Tambo, Mg. Sc e Ing. Iván Puglla, Mg. Sc; mi agradecimiento por las revisiones y acertadas observaciones en el trabajo de titulación.

Al Dr. Luis Angamarca e Ing. Jonathan Córdova, mi gratitud por su colaboración y valiosas sugerencias en las diferentes etapas del proyecto.

A los moradores de la parroquia La Tingue, por la apertura y las facilidades otorgadas durante la fase de campo del trabajo investigativo.

A mis padres, Fabricio e Inés, gracias su cariño, preocupación, consejos, enseñanzas, esfuerzos, sacrificios y apoyo incondicional que me han concedido siempre.

A mis hermanas, Vanessa y Karla, gracias estar presente en los buenos y malos momentos y por transmitirme la motivación necesaria para seguir adelante.

A mi grupo de amigos de la Universidad, mi gratitud por consolidarse como un gran equipo de estudio; donde primó siempre el compañerismo, intercambio de ideas y el apoyo muto en salidas de campo y en la elaboración de informes. Gracias por la excelente amistad durante toda la etapa universitaria.

Fabricio Xavier Ojeda Carrión

Índice de Contenidos

Portada ..... **i**
Certificación del Trabajo de Titulación ..... **ii**
Autoría ..... **iii**
Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo. ..... **iv**
Dedicatoria ..... **v**
Agradecimiento ..... **vi**
Índice de Contenidos ..... **vii**
Índice de Tablas ..... **x**
Índice de Figuras ..... **xi**
Índice de Anexos ..... **xiii**
1. Título. **1**
2. Resumen. **2**
2.1 Abstract. 3
3. Introducción. **4**
4. Marco Teórico. **6**
4.1 Geología 6
4.1.1 Rocas 6
4.1.1.1 Clasificación general de las rocas 7
4.1.1.2 Ciclo de las rocas. 15
4.2 Estratigrafía 16
4.2.1 Correlación estratigráfica. 17
4.2.1.1 Litocorrelación. 17
4.2.1.2 Biocorrelación. 18
4.2.1.3 Cronocorrelación 18
4.3 Geología estructural 18
4.3.1 Tipos de esfuerzos. 19
4.3.1.1 Compresión 19
4.3.1.2 Tensión. 19
4.3.1.3 Cizalla. 19
4.3.2 Estructura geológica. 19
4.3.2.1 Estructura primaria. 20
4.3.2.2 Estructura secundaria 20
4.3.3 Cartografía de las estructuras geológicas. 25
4.3.3.1 Dirección. 25
4.3.3.2 Buzamiento. 25
4.3.4 Proyección estereográfica 26
4.3.4.1 Elementos de la red estereográfica 26
4.3.4.2 Representación estereográfica de planos 27

4.4 Levantamiento geológico - estructural 28
4.4.1 Delimitación del área de interés. 29
4.4.2 Fotointerpretación. 29
4.4.2.1 Fases del proceso de fotointerpretación. 29
4.4.3 Mapa base 30
4.4.4 Mapeo geológico por afloramientos. 31
4.4.4.1 Mapa de campo (Primero borrador). 31
4.4.5 Trabajo gabinete. 32
4.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG) 35
4.5.1 Modelos de representación. 35
4.5.1.1 Modelo ráster. 35
4.5.1.2 Modelo vectorial 36
4.5.2 Modelo digital de terreno. 36
4.5.3 Mapas geológicos en SIG. 37
5. Metodología. 39
5.1 Materiales 39
5.2 Método 39
5.3 Metodología 39
5.3.1 Fase de preparación 40
5.3.2 Metodologías para el primer objetivo 41
5.3.3 Metodología para el segundo objetivo 43
5.3.4 Metodologías para el tercer objetivo 44
6. Resultados. 45
6.1 Descripción general del área de estudio 45
6.1.1 Ubicación 45
6.1.2 Acceso 46
6.2 Delimitación del área de estudio 46
6.3 Descripción biofísica del sector 47
6.3.1 Hidrografía 47
6.3.2 Geomorfología 48
6.3.3 Vegetación 49
6.3.4 Pendientes 50
6.3.5 Clima 51
6.4 Geología Regional 52
6.4.1 Estudios previos 52
6.4.2 Cuenca Alamor – Punta de Piedra 53
6.4.2.1 Arco Volcánico Oceánico 54

6.4.2.2 Cuenca Sedimentaria continental 55
6.4.3 Unidades geológicas 56
6.5 Geología Local 58
6.5.1 Unidad Celica (KCe) 59
6.5.2 Unidad Chaguarpamba (KCh) 63
6.5.3 Unidad Ciano (KCn) 66
6.5.4 Unidad Zambi (KZ) 69
6.5.5 Granodioritas (G^{Gd}) 72
6.6 Estratigrafía 74
6.7 Geología Estructural 75
6.7.1 Fallas 75
6.7.2 Diaclasas 79
6.7.3 Pliegues 81
6.7.4 Klippe 82
6.8 Cortes de secciones geológicas locales 85
7. Discusión. 87
8. Conclusiones. 91
9. Recomendaciones. 93
10. Bibliografía. 94
11. Anexos. 99

Índice de Tablas

Tabla 1. Grupo de rocas según el tamaño de grano. 9
Tabla 2. Texturas de rocas ígneas según el grado de cristalización. 9
Tabla 3. Texturas de rocas ígneas según sus relaciones mutuas. 9
Tabla 4. Clasificación de rocas ígneas según el contenido de SiO_2. 10
Tabla 5. Clasificación de las rocas sedimentarias según su composición química. 14
Tabla 6. Principales estructuras primarias y secundarias. 20
Tabla 7. Clasificación de los principales tipos de pliegues. 22
Tabla 8. Principales tipos de fallas. 24
Tabla 9. Clasificación de diaclasas. 24
Tabla 10. Materiales para el desarrollo del trabajo de titulación. 39
Tabla 11. Codificación de muestras de rocas. 42
Tabla 12. Ubicación del área de estudio. 47
Tabla 13. Microcuencas de la Zona Norte de la Parroquia La Tingue. 47
Tabla 14. Unidades Geomorfológicas de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 48
Tabla 15. Vegetación de la zona Norte de parroquia La Tingue. 49
Tabla 16. Categorías utilizadas en el mapa de pendientes. 50
Tabla 17. Pendientes de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 51
Tabla 18. Tipo de clima de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 52
Tabla 19. Fallas cartografiadas. 76
Tabla 20. Diaclasas en la zona de estudio. 80

Índice de Figuras

Figura 1. Serie de reacción de Bowen. 8
Figura 2. Mineralogía de las rocas ígneas comunes y de los magmas a partir de los que se forman. 10
Figura 3. Clasificación de los principales grupos de rocas ígneas según su composición mineral y su textura. 11
Figura 4. Diagrama de Streckeisen para: a) rocas ígneas plutónicas y b) rocas volcánicas. 12
Figura 5. Tipos de rocas sedimentarias. 13
Figura 6. Clasificación de las rocas metamórficas comunes. 15
Figura 7. Ciclo de las rocas. 16
Figura 8. Litocorrelación. 17
Figura 9. Biocorrelación 18
Figura 10. Tipos de esfuerzos. 19
Figura 11. Partes de un pliegue. 21
Figura 12. Clasificación de pliegues según su forma. 22
Figura 13. Clasificación de pliegues según el buzamiento del plano axial. 22
Figura 14. Partes de una falla. 23
Figura 15. Dirección y buzamiento de un estrato rocoso. 25
Figura 16. Representación de rumbo y buzamiento en un mapa. 26
Figura 17. Elementos de la red estereográfica. 27
Figura 18. Metodologías para representación de planos inclinados con rumbo diferente a N-S y E-W. 27
Figura 19. (a) Mapa cronoestratigráfico, (b) Mapa lito estratigráfico, (c) Mapa tectono – estructural. 28
Figura 20. Interpretación de fotografías aéreas. 30
Figura 21. Mapeo geológico por afloramientos. 31
Figura 22. Mapa de campo para registrar información litológico y estructural. 32
Figura 23. (A) Patrones para carbonatos; (B) Patrones de rocas clásticas; (C) Patrones para rocas ígneas; (D) Patrones para rocas metamórficas. 33
Figura 24. Símbolos estructurales. 33
Figura 25. Colores litológicos. 34
Figura 26. Mapa geológico simplificado y corte geológico. 34
Figura 27. Modelo raster. 35
Figura 28. MDT vectorial TIN. 36
Figura 29. a) Modelo de elevación digital. b) Mapas derivados a partir de un modelo de elevación digital. 36
Figura 30. Diferencia entre un MDS y un MDT. 37
Figura 31. Mapas geológicos en SIG. 38
Figura 32. Metodología para el levantamiento geológico – estructural. 40
Figura 33. Ubicación del área de estudio. 45
Figura 34. Acceso terrestre a la zona de estudio. 46
Figura 35. Hidrografía de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 48
Figura 36. Geomorfología de la zona de Norte de la parroquia La Tingue. 49
Figura 37. Vegetación de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 50
Figura 38. Mapa de pendientes de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 51
Figura 39. Climas de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 52
Figura 40. Esquema de los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador. 54
Figura 41. Columna estratigráfica de la zona volcánica oceánica. 54
Figura 42. Columna estratigráfica de la región sedimentaria continental. 55

Figura 43. Mapa de geología regional de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 58
Figura 44. Afloramiento de andesita porfirítica.....60
Figura 45. Afloramiento de andesita basáltica.....60
Figura 46. Afloramiento de andesita basáltica en los tributarios de la quebrada Carrizal.....61
Figura 47. Afloramiento de tobas volcánicas. 63
Figura 48. Afloramiento de tobas arenosas.....64
Figura 49. Afloramiento de aglomerado volcánico. 65
Figura 50. Afloramiento de limolitas tobáceas. 66
Figura 51. Afloramiento de lutitas. 67
Figura 52. Afloramiento de areniscas. 68
Figura 53 Afloramiento de areniscas con líticos volcánicos 69
Figura 54. Afloramiento de metalutitas grisáceas. Barrio Santa Rosa. 71
Figura 55 Afloramientos de metalutitas grisáceas – amarillentas. Barrio Lobongo.....71
Figura 56. Afloramiento de limolitas.....72
Figura 57. Afloramiento de granodioritas.....73
Figura 58 Estratigrafía de las unidades geológicas de la zona de estudio. 74
Figura 59. Análisis estructural de fallas y diaclasas de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 76
Figura 60. Falla 8 de tipo inversa con diaclasas ubicado en el barrio Zapallar. 78
Figura 61. Falla 9 de tipo sinestral con sistema de diaclasas ubicada en el barrio Granadillo. 79
Figura 62. Diaclasas.....80
Figura 63. Fotointerpretación del pliegue sinclinal del área de estudio 81
Figura 64 Afloramiento AF-145 de metalutitas con estratificación (flanco) al centro de la estructura de un pliegue sinclinal.....82
Figura 65 Afloramiento AF-149 con estratificación al centro de la estructura de un pliegue sinclinal.....82
Figura 66. Fotointerpretación del Klippe.....83
Figura 67 Registro fotográfico de andesitas basálticas.....83
Figura 68. Perfil geológico A-A'.....86
Figura 69. Perfil geológico B - B'. 86

Índice de Anexos

Anexo 1. Fichas de descripción y etiquetas. 99
Anexo 2. Mapa topográfico a escala 1:10 000 de la Zona Norte de la parroquia La Tingue. . 99
Anexo 3. Mapa hidrográfico. 99
Anexo 4. Mapa de pendientes. 99
Anexo 5. Mapa geomorfológico. 99
Anexo 6. Puntos de muestreo y control. 99
Anexo 7. Listado de afloramientos. 99
Anexo 8. Descripción de principales afloramientos. 99
Anexo 9. Descripción petrográfica macroscópica. 99
Anexo 10. Fotointerpretación (análisis geológico - estructural) de la Zona Norte de la parroquia La Tingue. 99
Anexo 11. Mapa geológico – estructural a escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue. 99
Anexo 12. Corte geológicos locales. 99
Anexo 13. Gráficas utilizadas para la descripción de rocas. 99
Anexo 14. Certificación de traducción del abstract. 99

1. Título.

Levantamiento geológico – estructural a escala 1:10000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja.

2. Resumen.

El levantamiento geológico estructural a escala 1:10 000, efectuado en la zona Norte de la parroquia La Tingue, comprende una superficie de 25.74km^2, geográficamente se ubica en la Región Sur del Ecuador, provincia de Loja, cantón Olmedo y presenta las siguientes características biofísicas: predominio de relieves montañosos y colinados muy altos mayoritariamente con pendientes en un rango de 15° - 35° y de 35° - 55°; es decir, muy inclinadas y empinadas respectivamente, presenta una red hidrográfica detrítica - subparalela y un predominio de vegetación herbácea con climas de carácter megatérmico.

La caracterización de la geología local del área de trabajo se efectuó por medio del método de mapeo por afloramientos, en el cual se determinó 5 unidades litológicas con las siguientes particularidades: la Unidad Celica comprende una superficie de 2.28km^2, se constituye como el basamento del área de estudio y se conforma por materiales volcánicos y volcanoclásticos: andesitas porfiríticas, tobas volcánicas y andesitas basálticas. La Unidad Chaguarpamba presenta una superficie de 5.73km^2 y se compone por una secuencia de materiales volcanoclásticos: tobas arenosas, aglomerados volcánicos y limolitas tobáceas que suprayacen las tobas arenosas mencionadas anteriormente. La Unidad Ciano presenta una superficie de 1.01km^2 y se constituye por los siguientes materiales sedimentarios clásticos: lutitas, areniscas y areniscas con líticos volcánicos que subyacen las lutitas. La Unidad Zambi se caracteriza por representar una mayor superficie de territorio, abarca una superficie de 16.30km^2 y se compone por limolitas y metalutitas. Por otra parte, las secuencias volcánicas y volcanoclásticos se encuentran intruidas por rocas granodioríticas medianamente meteorizadas.

La geología estructural de la zona Norte de la parroquia La Tingue presenta un sistema de fallas localizadas principalmente al Sur y al Nor-Este, con una dirección preferencial NW - SE y NE – SW, aflorando principalmente en quebradas y contactos litológicos; está constituida por cinco fallas inferidas, dos fallas dextrales inferidas, una falla inversa observada y una falla sinestral observada. Además, se visualizó macizos rocosos con fracturas sin desplazamiento de bloques: diaclasas tectónicas e inclinadas con dirección de buzamiento preferencial al NW; finalmente, se evidenció deformaciones plásticas, dando origen a un pliegue sinclinal.

Palabras claves: levantamiento geológico, geología estructural, mapeo por afloramientos, La Tingue Norte, mapa geológico – estructural.

2.1 Abstract.

The structural geological survey at a scale of 1:10 000, carried out in the Northern area of the La Tingue parish, covers an area of 25.74 km^2, it is geographically located in the Southern Region of Ecuador, Loja province, Olmedo canton and has the following biophysical characteristics: predominance of very high mountainous and hilly reliefs, mostly with slopes in a range of 15° - 35° and 35° - 55°; that is to say, very inclined and steep respectively, it presents a detrital hydrographic network - subparallel and a predominance of herbaceous vegetation with climates of megathermal character.

The characterization of the local geology of the work area was carried out through the outcrop mapping method, in which 5 lithological units were determined with the following particularities: the Celica Unit comprises an area of 2.28 km^2, it is constituted as the basement of the study area and is made up of volcanic and volcanoclastic materials: porphyritic andesites, volcanic tuffs and basaltic andesites. The Chaguarpamba Unit has an area of 5.73 km^2 and is made up of a sequence of volcanoclastic materials: sandy tuffs, volcanic agglomerates and tuffaceous siltstones that overlie the sandy tuffs mentioned above. The Ciano Unit has an area of 1.01 km^2 and is made up of the following clastic sedimentary materials: shale, sandstone, and sandstone with volcanic lithics underlying the shale. The Zambi Unit is characterized by representing a larger area of territory, covers an area of 16.30 km^2 and is made up of siltstones and metalutites. On the other hand, the volcanic and volcanoclastic sequences are intruded by moderately weathered granodioritic rocks.

The geological structure of the Northern zone of La Tingue parish presents a system of faults mainly located to the South and North-East, in a preferential direction NW - SE and NE - SW, outcropping mainly in ravines and lithological contacts; it is made up of five inferred faults, two inferred dextral faults, one observed reverse fault, and one observed sinistral fault. In addition, rock masses with fractures and without block displacement were visualized: tectonic and inclined joints with a preferential dip direction to the NW; finally, plastic deformations were evidenced, giving rise to a syncline fold.

Keywords: geological survey, structural geology, outcrop mapping, La Tingue Norte, geological-structural map.

3. Introducción.

Un estudio geológico – estructural caracteriza litologías y rasgos estructurales a escala general o a detalle de un determinado sector, cumpliendo con el propósito de otorgar información previa para ejecutar los siguientes proyectos: obras de infraestructura, asentamientos humanos, análisis de riesgos geológicos, estabilidad de macizos rocosos y exploración de recursos minerales que fomenten el desarrollo económico de la nación.

En la Región Sur del Ecuador la cartografía geológica – estructural a detalle es escasa y limitada; debido a que únicamente existe información a nivel regional por parte del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) que en los últimos años ha realizado actualizaciones de las cartas geológicas del Ecuador a escala 1: 100 000. Una ejemplificación de lo descrito, es la parroquia La Tingue, perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja; este atractivo sector no cuenta con este tipo información a detalle y sumando su relieve montañoso, la presencia de posibles fallas y suelos arcillosos, lo convierten en un sector vulnerable desde el punto de vista geológico.

Bajo este contexto, la presente investigación se enfocó en desarrollar un levantamiento geológico – estructural a escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue, caracterizando en campo por medio del método de mapeo por afloramientos la mayor cantidad de representaciones litológicas y rasgos estructurales posibles del sector; aportando una base geológica con información actualizada, pormenorizada y complementaria de los estudios previos.

El desarrollo del levantamiento en el sector de estudio, inició con la elaboración de la cartografía base y con un análisis fotointerpretativo del área de estudio, posteriormente se efectuó en campo el levantamiento geológico – estructural: recopilando datos, corroborando información de gabinete y realizando análisis macroscópicos de muestras de rocas. El resultado final fue un mapa geológico – estructural a escala 1:10 000, constituyéndose como un nuevo avance científico con información veraz y a detalle de litologías y estructuras geológicas de la parroquia. De igual manera, servirá como un aporte técnico para la actualización de Planes de Ordenamiento Territorial cantonal o parroquial, con información geológica base para estudios de obras de ingeniería, zonificación de áreas susceptibles para asentamientos humanos y como base para exploración de áreas de interés mineralógico.

❖ Objetivos

- **Objetivo General**

  - Realizar el levantamiento geológico – estructural a escala 1:10000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja.

- **Objetivos Específicos**

  - Identificar y caracterizar las unidades litológicas con la respectiva relación estratigráfica.
  - Determinar y caracterizar las estructuras geológicas presentes en el área de estudio.
  - Elaborar el mapa geológico – estructural de la zona Norte de la parroquia La Tingue a escala 1:10000.

4. Marco Teórico.

4.1 Geología

El término geología es una ciencia extensa y diversa que se enfoca en estudiar el planeta tierra. A continuación, se mencionan varias definiciones de geología según algunos autores:

Gorshkov y Yakyshova (1970) afirman, "La Geología (del griego γη, Tierra, y λόγοσ, tratado) es 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 pétrea" (p. 7).

Iriondo (2006) señala, "La Geología es la rama de las Ciencias Naturales que estudia la historia, la composición, la estructura y los procesos de la Tierra, más específicamente de las rocas que constituyen nuestro planeta desde la superficie hasta 100 ó 200 kilómetros de profundidad" (p. 9).

Blyth y de Freitas (2000) definen, "La Geología es la ciencia que concierne a la Tierra y las rocas de las que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de sus superficie en el pasado y en el presente" (p. 11).

En este sentido, según Tarbuck y Lutgens (2005) mencionan que la geología tradicionalmente se divide en dos áreas: Por un lado, la geología física, que basa su estudio en los materiales que componen la tierra y en el análisis de procesos endógenos y exógenos del planeta tierra. Por otra parte, la geología histórica que estudia el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo.

4.1.1 Rocas

Según Castro Dorado (2015) a partir de la geología, se derivan dos ramas esenciales, "La Petrología (del latín *petrus* = roca; y del griego λόγος (logos) = estudio) es la ciencia que estudia el origen de las rocas y la Petrografía es la disciplina geológica dedicada a la descripción y clasificación de las rocas" (p. 2).

Por lo tanto, en base a este concepto previo y considerando el criterio de varios autores, el término roca se define de la siguientes maneras:

Dávila (2011) plantea, "Las roca son un conjunto de minerales consolidados, provenientes de la solidificación del magma, consolidación y diagénesis de los materiales producto de la erosión de las rocas pre-existentes y recristalización de las rocas pre-existentes" (p. 26).

González de Vallejo et al. (2002) afirman, "Las rocas son agregados naturales duros y

compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo" (p. 121).

4.1.1.1 Clasificación general de las rocas

Las rocas se clasifican en tres grupos básicos:

- **Rocas ígneas.**

Las rocas ígneas (*ignis= fuego*), son rocas primarias, formadas cuando la roca fundida (magma), se enfría y se solidifica. Estos materiales conforman un sistema físico – químico que en la mayoría de los casos presenta tres fases en equilibrio: una fase líquida compuesta por silicatos fundidos, una fase sólida de cristales de silicatos en suspensión y una tercer fase gaseosa de compuestos volátiles (Fraga et al., 2017, p. 4).

- **Composición mineralógica de las rocas ígneas**

Castro Dorado (2015) postula que los minerales formadores de las rocas ígneas comunes son los silicatos, agrupados de la siguiente manera:

- ***Grupo I: cuarzo, feldespato y feldespatoides***

Forman el grupo denominado minerales félsicos. Tienen en común que son transparentes y con bajo índice de refracción. De este grupo, los feldespatos calcosodicos (plagioclasas) son los que presentan mayor interés petrográfico, por estar presentes en gran variedad de rocas ígneas y por presentar zonaciones de crecimiento que permiten estudiar cambios en los procesos de cristalización de los magmas.

- ***Grupo II: piroxeno, anfíboles y micas***

Los piroxenos, anfiboles y biotita forman el grupo principal de los minerales máficos o ferromagnesianos más abundantes en rocas ígneas. La identificación de los minerales de este grupo es esencial para la clasificación de las rocas.

- ***Grupo III: olivino***

El olivino es el mineral máfico característico de las rocas ígneas basálticas y grabroicas, además de formar parte importante de rocas acumuladas. Es el mineral fundamental de las peridotitas que forman el manto terrestre.

- **Serie de reacción de Bowen**

Según Tarbuck y Lutgens (2005), la serie de reacción de Bowen proporciona una

representación visual del orden en el que los minerales cristalizan a partir de un magma de composición media y divide dicha representación en dos ramas: una serie continua y una serie discontinua:

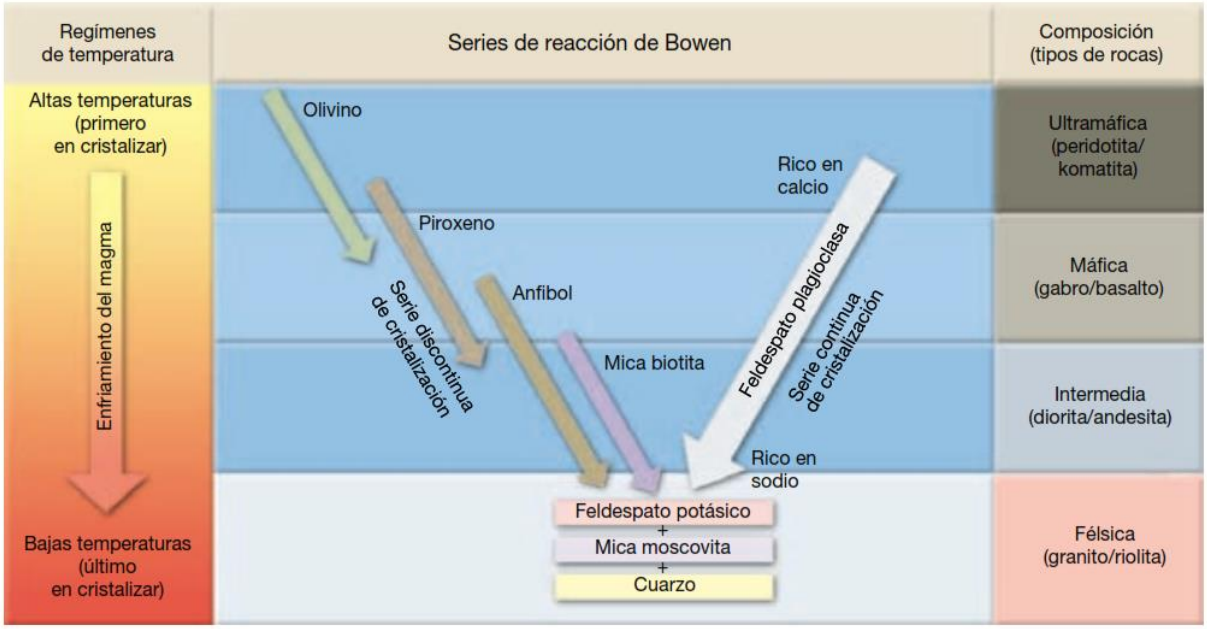
- ***Serie de reacción continua***

La rama derecha de la serie de reacción, denominada la serie de reacción continua, muestra que los cristales de plagioclasa rica en calcio reaccionan con los iones sodio en el fundido para enriquecerse progresivamente en ellos *(ver figura 1).*

- ***Serie de reacción discontinua:***

La rama superior izquierda de la serie de reacción de Bowen indica el orden de formación de minerales conforme un magma se enfría. Su denominación se debe porque en cada etapa se forma un silicato con distinta estructura. El olivino, el primer mineral de la secuencia en formarse, está compuesto por tetraedros aislados, mientras que el piroxeno está compuesto por cadenas sencillas, el anfíbol por cadenas dobles y la biotita por estructuras laminares *(ver figura 1).*

Figura 1. *Serie de reacción de Bowen.*



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

Durante la última etapa de la cristalización, después de que se haya solidificado gran parte del magma, se forma el feldespato potásico. (Se formará moscovita en las pegmatitas y otras rocas ígneas plutónicas que cristalizan a profundidades considerables.) Por último, si el magma remanente tiene exceso de sílice, se formará el cuarzo.

- **Texturas de rocas ígneas**

Tabla 1. *Grupo de rocas según el tamaño de grano.*

Categorías			Diámetro (mm)
Faneríticas	Grano muy grueso		>10
	Grano grueso		5-10
	Grano medio		1-5
	Grano fino		1-0.1
Afaníticas	Grano muy fino	Microcristalina (minerales identificables al microscopio)	<0.1
		Criptocristalina (minerales no identificables al microscopio)	

Nota: Obtenido de (Castro Dorado, 2015).

Tabla 2. *Texturas de rocas ígneas según el grado de cristalización.*

Textura	Características
Holocristalina	Cuando toda la roca está constituida por granos cristalinos
Merocristalina o hipocristalina	Cuando una parte de la roca está constituida por granos cristalinos y otra parte de vidrio
Holovítrea	Cuando la roca está constituida enteramente por vidrio

Nota: Obtenido de (Castillo et al., 2022).

Tabla 3. *Texturas de rocas ígneas según sus relaciones mutuas.*

Textura	Características
Equigranular	Cuando los granos tienen aproximadamente un mismo tamaño. A veces la textura equigranular puede ser muy uniforme, tomando nombres especiales como el de textura sacaroidal (para una granulometría media).
Porfídica, porfírica o porfirítica	Es todo lo contrario de la textura equigranular, ya que se desarrollan granos mayores sobre una masa de granos notablemente más finos. Textura porfídica, es aquella con matriz fanerítica y textura porfirítica, cuya matriz es afanítica.
Poiquilítica	Es también una textura de granos desiguales, pero la relación resulta opuesta a la de la textura porfirítica. En este caso, granos de gran desarrollo encierran granos menores a modo de inclusiones.

Nota: Obtenido de (Castillo et al., 2022).

- **Clasificación de rocas ígneas según el lugar de formación.**

  - ***Rocas intrusivas o plutónicas.***

Formadas por el enfriamiento lento del magma en el interior de la corteza terrestre a profundidades > 2 km. Se caracterizan por tener cristales grandes, textura cristalina gruesa o media, colores claros y livianas (Castillo et al., 2022).

  - ***Rocas extrusivas o volcánicas.***

Son rocas constituidas por una masa de cristales de pequeño tamaño o bien materia amorfa sin cristalizar (vidrio). En ocasiones se pueden distinguir algunos minerales rodeados de una masa microcristalina o amorfa. Se caracterizan por tener colores oscuros, ser pesadas y una textura de fina y cristalina, a veces hay presencia de fenocristales (Castillo et al., 2022; Ciudad Ciencia, s. f.).

- ***Rocas hipoabisales o filonianas.***

Se solidifica dentro de la corteza terrestre a profundidades menores a 2 Km, estas rocas se encuentran en los conductos y chimeneas que han logrado solidificarse; se caracterizan por su matriz fina con fenocristales. La denominación de estas rocas se efectúa de la misma manera que las rocas ígneas intrusivas, solamente adicionando el término porfídico o porfirítico, por ejemplo, granito porfirítico (Castillo et al., 2022, p.19).

- **Clasificación de rocas ígneas según el contenido de sílice.**

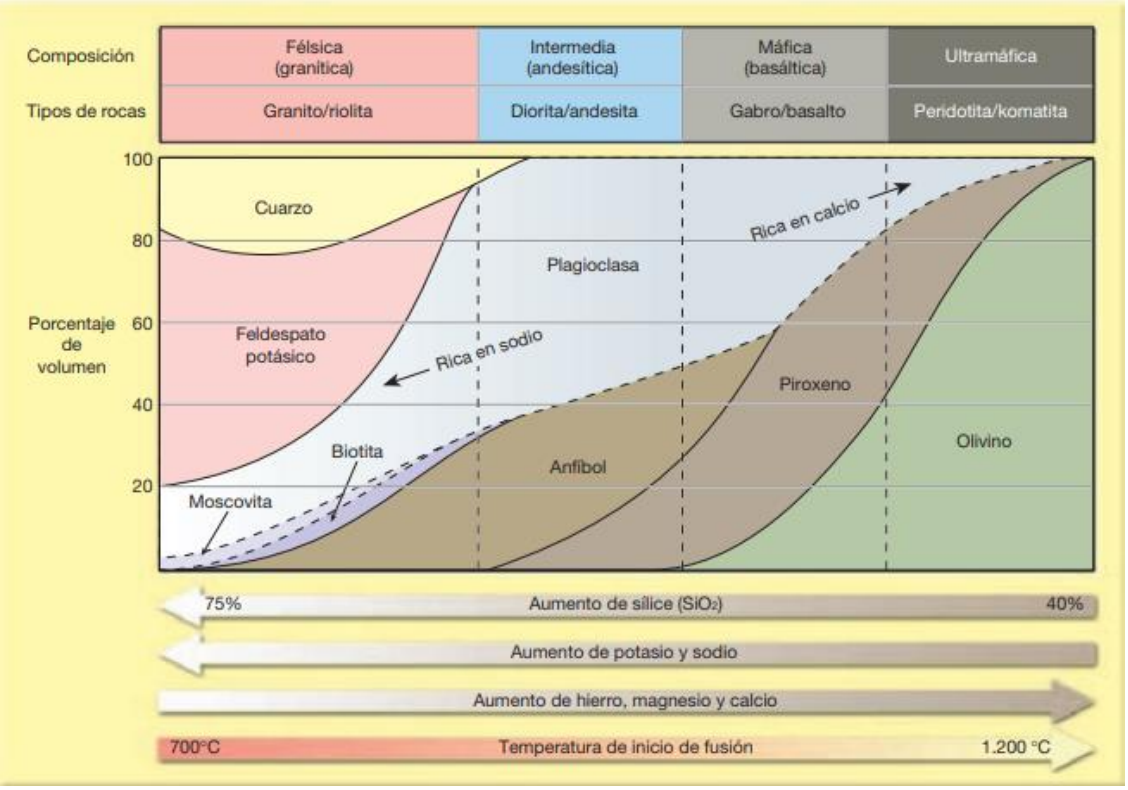
Tarbuck y Lutgens (2005) afirman, "El porcentaje de sílice de las rocas ígneas varía de una manera sistemática y es paralela a la abundancia de otros elementos" (p. 115) *(ver figura 2).* En este ámbito, se presenta a continuación la clasificación según el contenido de sílice:

Tabla 4. *Clasificación de rocas ígneas según el contenido de SiO_2.*

Ácida o Félsica	Intermedia	Básicas o Máficas	Ultra-básicas o Ultramáfica
>65% SiO_2	52%-65% SiO_2	45%-52% SiO_2	<45% SiO_2

Nota: Obtenido de (Castillo et al., 2022). Elaborado por: (El Autor, 2022).

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



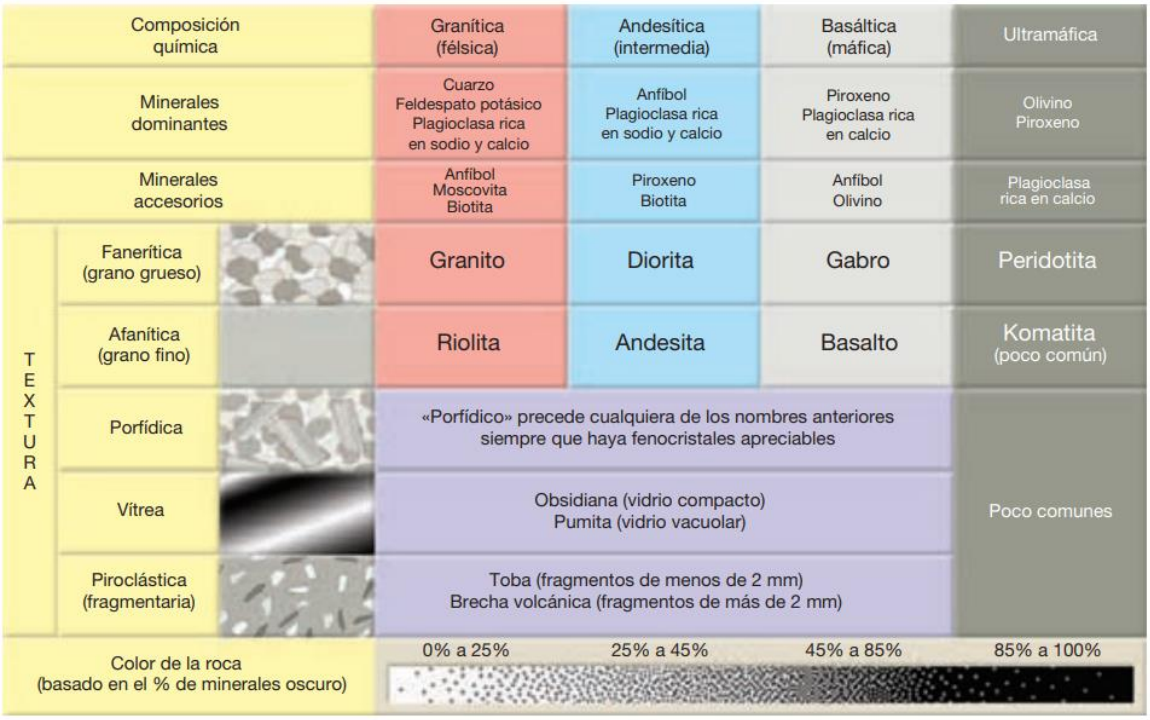
Nota: Obtenido de Dietrich, Daily y Larsen, citado en: (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Bajo este fundamento, en rocas ácidas, como el granito, la cantidad de SiO_2 que, a más de formar parte de los silicatos, queda una suficiente cantidad para formar cuarzo. En las rocas

medias, como la granodiorita, la cantidad de SiO_2 la mayor parte forma silicatos saturados, quedando una pequeña cantidad para formar cuarzo, como un componente accesorio. En las rocas básicas (gabros) y ultrabásicas (piroxenitas) la cantidad de SiO_2 sólo alcanza a formar silicatos no saturados, o sea en presencia de SiO_2 cambian de composición química y mineralógica pasando a ser silicatos saturados (Castillo et al., 2022, p. 26).

Por otra parte, considerando que las diferentes texturas ígneas son consecuencia fundamentalmente de distintas historias de enfriamiento, mientras que la composición mineralógica de una roca ígnea es consecuencia del contenido químico de su magma primario, las rocas ígneas son clasificadas, o agrupadas, en función de su textura y de su composición mineral (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 115) *(ver figura 3).*

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



Nota: Obtenido de (Tarbuck y Lutgens, 2005).

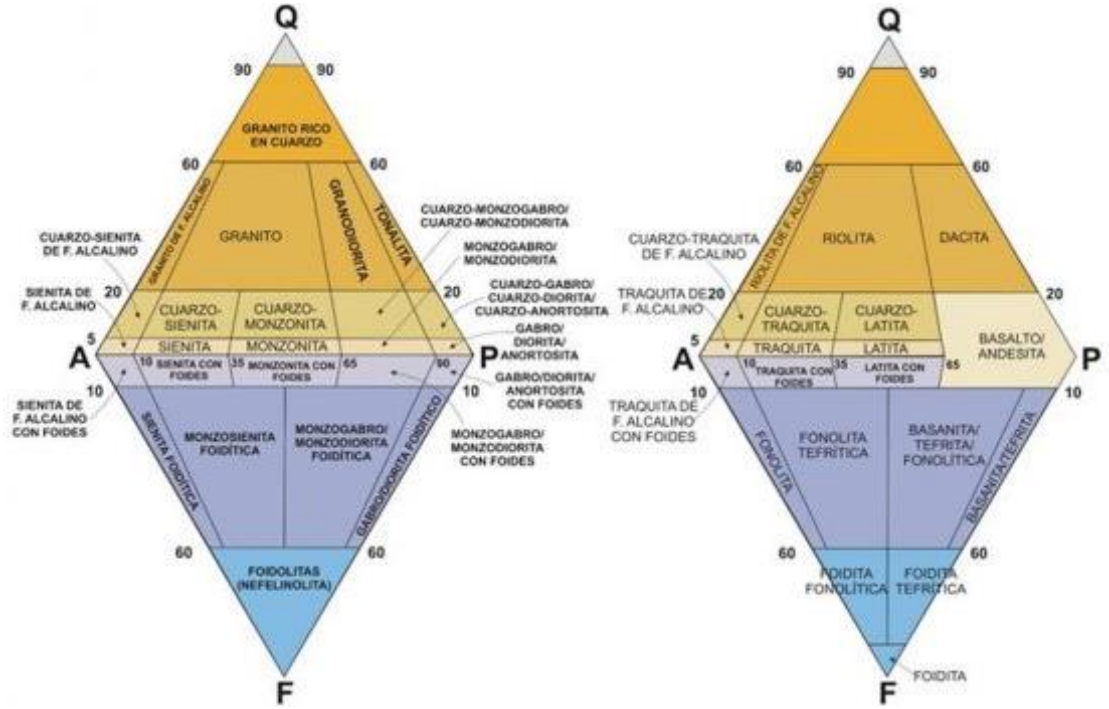
- **Clasificación de Streckeisen**

Según Castillo et al. (2022), "Para esta clasificación lo primero que se toma en cuenta es el aspecto textural y segundo, la composición mineralógica. Los componentes a utilizar para dar nombre a la roca se deben recalcular al 100% y los porcentajes así recalculados se plotean en el diagrama correspondiente (de Strekeisen). El nombre del campo del diagrama donde se ubica el punto ploteado será el nombre de la roca" (p.38).

El término QAFP hacer referencia:

- **Q:** cuarzo
- **A:** feldespato alcalino
- **P:** plagioclasa con componentes de Anortita >5%
- **F:** Minerales máficos (olivino, piroxenos, anfíboles, biotita)

Figura 4. *Diagrama de Streckeisen para: a) rocas ígneas plutónicas y b) rocas volcánicas.*



Nota: Obtenido de Rojas, 2017 (https://post.geoxnet.com/rocas-igneas-textura-descripcion-tipo/).

- **Rocas sedimentarias.**

Según Hernández (1986), "Las rocas sedimentarias son aquellas que se forma como resultado de la acumulación de los productos de la destrucción física, química y la actividad de los organismos, que sufren las diferentes rocas en la superficie terrestre. Ocupan un volumen del 5% en la corteza terrestre" (p. 1).

- **Ciclo Sedimentario**

Castillo et al. (2022), describen la siguiente cronología dentro de un ciclo sedimentario:

a) ***Intemperismo***: La historia de las rocas sedimentarias comienza con los procesos de intemperismo, porque el producto del intemperismo físico y químico constituye la materia prima de las rocas sedimentarias.

b) ***Transporte***: Las rocas que han sido destruidas por el intemperismo, tienden siempre a ser transportadas por: la gravedad, corrientes hídricas superficiales y subterráneas, olas y corrientes costaneras, vientos y organismos. En su tránsito los materiales están sujetos a desgaste, redondeo y por consiguiente, la disminución en tamaño, forma y densidad.

c) ***Depósito***: El proceso de depósito ocurre, cuando la velocidad del transporte se hace nula, o disminuye tanto, que la fuerza de la gravedad es mayor lo que hace que los materiales se detengan y sedimenten.

d) ***Litificación o Diagénesis***: Los procesos de litificación convierten a los materiales sin consolidar en rocas consolidadas y coherentes. Estos procesos son los siguientes: compactación, desecación, cementación y re-cristalización (pp. 107 - 110).

- **Clasificación de rocas sedimentarias**

El sedimento tiene dos orígenes principales:

1) El sedimento puede ser una acumulación de material que se origina y es transportado en forma de clastos sólidos derivados de la meteorización mecánica y química. Los depósitos de este tipo se denominan detríticos y las rocas sedimentarias que los forman son rocas sedimentarias detríticas.

2) La segunda fuente principal de sedimento es el material soluble producido en gran medida mediante meteorización química. Cuando estas sustancias disueltas son precipitadas mediante procesos orgánicos o inorgánicos, el material se conoce como sedimento químico y las rocas formadas a partir de él se denominan rocas sedimentarias químicas (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 203) *(ver figura 5).*

Figura 5. *Tipos de rocas sedimentarias.*

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

Rocas sedimentarias químicas			
Composición	Textura	Nombre de la roca	
Calcita, $CaCO_3$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Caliza cristalina	
		Travertino	
	Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón visibles, cementados débilmente	Coquina	Caliza bioquímica
	Clástica: caparazones y fragmentos de caparazón de diversos tamaños cementados con cemento de calcita	Caliza fosilífera	
	Clástica: caparazones y arcilla microscópicos	Creta	
Cuarzo, SiO_2	No clástica: cristalino muy fino	Rocas silíceas (sílex) (color claro) Pedernal (color oscuro)	
Yeso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	No clástica: cristalino de fino a grueso	Yeso	
Halita, NaCl	No clástica: cristalino de fino a grueso	Salgema	
Fragmentos vegetales alterados	No clástica: materia orgánica de grano fino	Hulla	

Nota: Obtenido de (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Por otra parte, Hernández (1986) agrupa a las rocas sedimentarias de acuerdo a su composición química global, de la siguiente manera:

Tabla 5. *Clasificación de las rocas sedimentarias según su composición química*.

Rocas arcillosas	Rocas silíceas	Rocas carbonatadas	Rocas evaporíticas
Indica un relativo enriquecimiento de alúmina (Al_2O_3)	Se caracterizan por un brusco enriquecimiento de sílice (SiO_2)	• Enriquecidas de CaO; MgO • Calizas y dolomitas	Enriquecidas en elementos, tales como: Na, K, Mg y otros

Nota: Adaptado de (Hernández, 1986). Elaborado por: (El Autor, 2022).

- **Rocas metamórficas.**

Orozco et al. (2014) plantean que las rocas metamórficas son aquellas que a grandes profundidades han sido sometidas a cambios de presión y temperatura, y que en estado sólido han tenido variaciones en la mineralogía y las estructuras (p. 6).

Adicionalmente Castillo et al. (2022) expresan, "Existen rocas intermedias entre rocas sedimentarias y rocas metamórficas, llamadas rocas meta-sedimentarias, por ejemplo, la meta-arenisca, la meta-lutita, etc. Así mismo existen otras rocas, llamadas de transición entre las rocas ígneas y rocas metamórficas, son las rocas meta-volcánicas, si son de origen efusivo" (p. 149).

- **Clasificación de rocas metamórficas según su estructura primaria**

Las rocas metamórficas, considerando su estructura primaria, se clasifican en dos grupos descriptivos:

- ***Rocas metamórficas foliadas.***

"Las rocas metamórficas foliadas presentan una estructura primaria, es decir una apariencia de bandas debido a las presiones diferenciales a la que estuvo sometida. Pueden presentar las siguientes características: crucero pizarroso, crucero filítico, esquistosidad y bandeamiento gnéisico" (Aguirre, 2007, p. 74).

- ***Rocas metamórficas no foliadas o en masa.***

No demuestran una apariencia primaria, en este tipo de rocas el metamorfismo se produce por una recristalización sin la acción de las presiones diferenciales. Presentan como característica una paragénesis mineral. El nombre de las rocas metamórficas se basa en textura y en la paragénesis mineral (Aguirre, 2007, p. 75).

Figura 6. *Clasificación de las rocas metamórficas comunes.*

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

Nota: Obtenido de (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.1.1.2 Ciclo de las rocas.

Según información recopilada de Tarbuck y Lutgens (2005) el ciclo de rocas propuesto por James Hutton a finales del siglo XVIII representa la transformación entre los tres tipos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas), en las siguientes etapas:

En la primera fase el magma contenido en el interior de la corteza terrestre al ascender se solidifica (cristalización) en forma de cristales entrelazados, dando origen a la rocas ígneas.

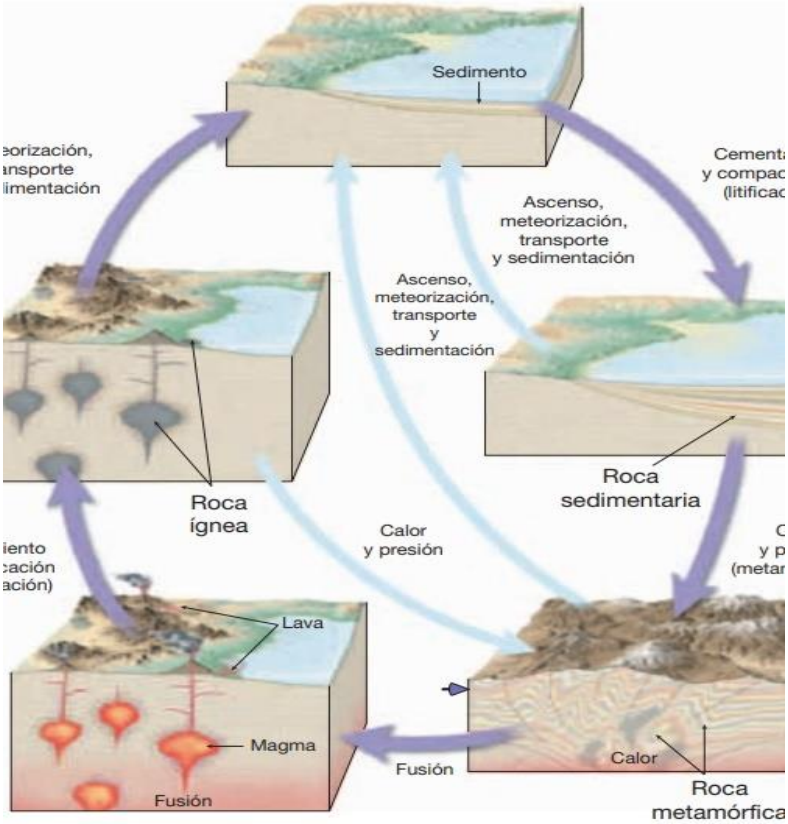
Posteriormente la segunda fase se da lugar cuando las rocas ígneas se ven afectadas por agentes externos de meteorización y erosión, los cuales ocasionan la fragmentación de las rocas, posteriormente estas partículas disgregadas se transportarán y se almacenarán en cuencas sedimentarias, que poco a poco se irán compactando (diagénesis) dando origen a las rocas sedimentarias.

En la tercer etapa estas rocas pueden descender por la corteza terrestre (orogénesis), las

cuales se pueden ver expuestas a grandes presiones y temperaturas, que a la vez pueden producir alteraciones de los minerales dando lugar a las rocas metamórficas.

Finalmente, el fin del ciclo se cierra cuando las rocas metamórficas por un lado vuelven a ascender a la superficie para convertirse en rocas sedimentarias nuevamente o bien sufrir cambios adiciones de presión y temperatura, creando un magma, que acabará cristalizando en rocas ígneas *(ver figura 7).*

Figura 7. *Ciclo de las rocas.*



Nota: Obtenido de (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.2 Estratigrafía

Según Navarrete (2017) "etimológicamente la palabra Estratigrafía, proviene de las dos voces latinas: Stratum = manto, capa. Graphos = descripción" (p. 7). Es decir, esta ciencia se encarga de estudiar o caracterizar estratos.

Bajo este fundamento previo, se presentan a continuación algunos conceptos de estratigrafía según varios autores:

Vera (1994) afirma, "La estratigrafía es una ciencia geológica que tiene dos enfoques diferentes y complementarios: el científico, cuyo objetivo es la ordenación temporal e interpretación genética de los materiales; y el aplicado, cuya finalidad es localizar recursos

naturales explotables y más recientemente contribuir a la planificación de la conservación del medio ambiente" (p. 12).

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

4.2.1 Correlación estratigráfica.

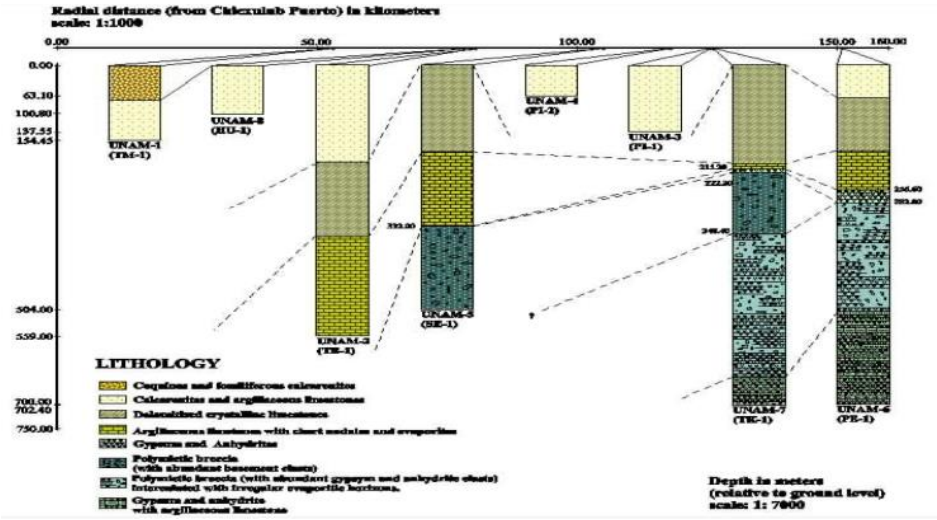
La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas (Vera, 1994, p. 491).

Por lo tanto, se pueden disponer de algunos tipos de correlaciones en función del aspecto o los rasgos que desean resaltar:

4.2.1.1 Litocorrelación.

Demuestra la correspondencia en cuanto al carácter litológico y la posición litoestratigráfica. En este caso se comparan las unidades litoestratigráficas presentes en cada una de las secciones estratigráficas y los niveles de litologías especiales dentro de las mismas (Vera, 1994, p. 493) *(ver figura 8).*

Figura 8. *Litocorrelación.*

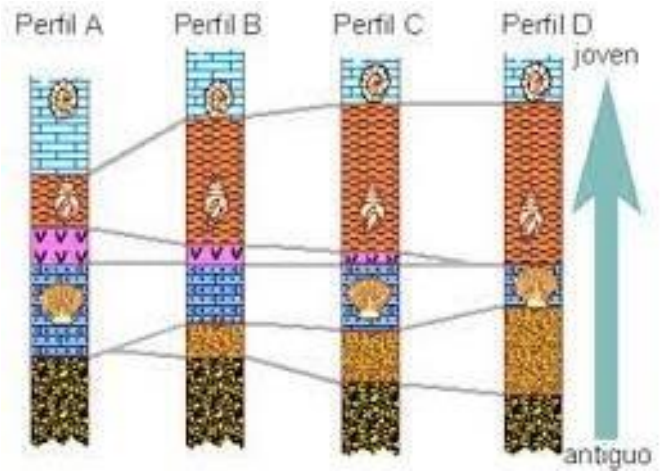


Nota: Obtenido de (Arellano, s. f.) (http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase%2020%20Correlacion%20estratigrafica.pdf).

4.2.1.2 Biocorrelación.

Establece una correspondencia entre dos niveles fosilíferos, basándose en la presencia de ciertos fósiles y en su posición bioestratigráfica. En la biocorrelación tiene un enorme interés el reconocimiento de los biohorizontes de primera aparición y los de última presencia de los fósiles característicos en diferentes secciones estratigráficas (Vera, 1994, p. 493) *(ver figura 9).*

Figura 9. *Biocorrelación*



Nota: Obtenido de Arellano, s.f. (http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase%2020%20Correlacion%20estratigrafica.pdf).

4.2.1.3 Cronocorrelación

Se basa en el establecimiento de la correspondencia de superficies isócronas y el reconocimiento de su posición cronoestratigráfica. Consiste en la comparación temporal de dos o más secciones estratigráficas, para lo cual, se seleccionan los rasgos estratigráficos que indiquen simultaneidad (inversiones magnéticas, biohorizontes, anomalías geoquímicas, etc.) y faciliten el establecimiento de la correspondencia de todas las unidades estratigráficas representadas (Vera, 1994, p. 493).

4.3 Geología estructural.

Según (Belousov, 1979), "La geología estructural es una parte de geotectónica que estudia las particularidades de la estructura y desarrollo de la corteza terrestre relacionadas con los procesos mecánicos, movimientos y deformaciones en que en ella tienen lugar" (p. 5).

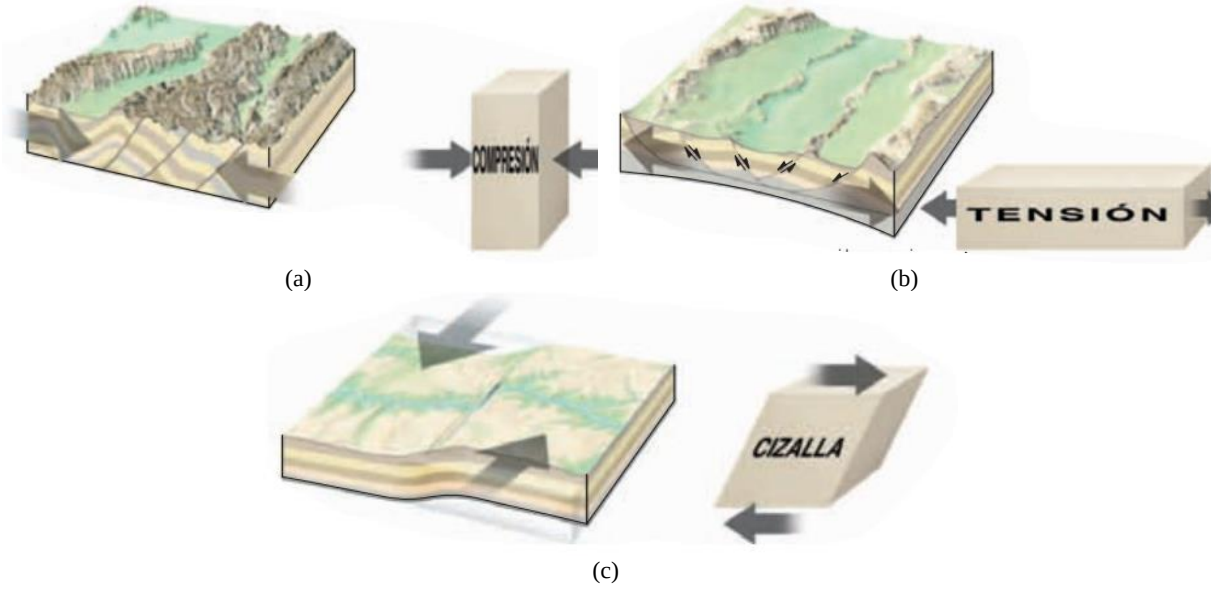
En cambio, Arellano et al. (2002) mencionan, "La geología estructura es la rama de la Geología que se encarga del estudio de las características estructurales de las masas rocosas que forman la corteza terrestre, de la distribución geográfica de tales características, del tiempo geológico y de las causas que las originaron; también es importante su identificación,

descripción y representación gráfica en mapas y secciones geológicas" (p. 5).

4.3.1 Tipos de esfuerzos.

De acuerdo con Tarbuck y Lutgens (2005), "El esfuerzo es la cantidad de fuerza aplicada sobre un área determinada y se puede presentar de tres formas diferentes":

Figura 10. *Tipos de esfuerzos.*



Nota: Obtenido de (Tarbuck y Lutgens, 2005).

4.3.1.1 Compresión.

"Un cuerpo está bajo compresión, cuando está sujeto a fuerzas externas que tienden a comprimirlo. Se representa por dos flechas (representan la fuerza) que están sobre la misma recta y que apuntan la una a la otra" (Billings, 1974, pp. 15-16) *(ver figura 10a).*

4.3.1.2 Tensión.

"Un cuerpo está bajo tensión cuando está sujeto a fuerzas externas que tienen a dividirlo. Se representa por dos flechas (representan la fuerza) que están sobre la misma recta y apuntan en dirección opuestas" (Billings, 1974, p. 15) *(ver figura 10b).*

4.3.1.3 Cizalla.

"Consiste en dos fuerzas iguales que actúan en direcciones opuestas sobre el mismo plano, pero no a lo largo de la misma recta" (Billings, 1974, p. 16) *(ver figura 10c).*

4.3.2 Estructura geológica.

Las estructuras geológicas son todos aquellos accidentes tectónicos de la masa rocosa que presentan distintas características en función de su origen, tiempo de formación y tipo de

material. La Geología Estructural se encarga de estudiar únicamente a las estructuras geológicas producto de la deformación (Aguirre, 2007; Arellano et al., 2002).

4.3.2.1 Estructura primaria.

Las estructuras primarias son aquéllas que se originan paralelamente a la formación de las rocas producto de su depósito o su emplazamiento. Sus características se encuentran presentes antes de la deformación. Pueden ocurrir en rocas ígneas y sedimentarias *(ver tabla 6)* (Arellano et al., 2002, p. 6).

4.3.2.2 Estructura secundaria.

Las estructuras secundarias son aquellas que adquieren las rocas, posteriormente a su litificación debido a un estado de esfuerzo y por cambios en la temperatura. Se pueden desarrollar tanto en rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas; sus características finales dependen de diversos factores, entre otros, la propia naturaleza de las rocas sujetas al proceso de deformación (Arellano et al., 2002, pp. 6 - 7) *(ver tabla 6).*

Tabla 6. *Principales estructuras primarias y secundarias.*

PRIMARIAS			SECUNDARIAS
ROCAS ÍGNEAS		ROCAS SEDIMENTARIAS	CUALQUIER TIPO DE ROCA
INTRUSIVAS	**EXTRUSIVAS**	**ESTRATIFICACIÓN**	**PLIEGUES**
- Dique - Manto - Lacolito - Batolito - Facolito - Lopolito - Tronco - Diaclasa	***DERRAMES O COLADAS:*** - Acordeada - AA - Pahoehoe - En bloque - Pillow lava	- Cruzada - Tabular - Convoluta - Gradada - Lenticular - Flaser	- Anticlinal - Sinclinal - Anticlinorio - Sinclinorio - Monoclinal - Homoclinal
	VOLCANES - Escudo - Estratovolcán - Cinerítico - Maa	***ESTRUCTURAS ORGÁNICAS***: - Estromatolitos - Galerías - Arrecifes	***FALLAS*** - Normas - Inversa
	DOMO	***IMBRICACIÓN***	***FRACTURAS***
	CALDERA	***LAMINACIÓN***	
	DIACLASA	***MARCAS DE CARGA***	
	VESÍCULA	***HUELLAS DE LLUVIA***	***FOLIACIÓN***
	PISOLITO	***GRIETAS DE DESECACIÓN***	
		RIZADURAS - Oscilación - Corriente	

Nota: Obtenido de (Arellano et al., 2002).

- **Pliegues.**

Según Arellano et al. (2002), "Un pliegue es una estructura secundaria producida cuando

una superficie originalmente plana es inclinada o curveada como resultado de deformación dúctil heterogénea, la cual se manifiesta como una o varias ondulaciones de sus elementos originales" (p. 89).

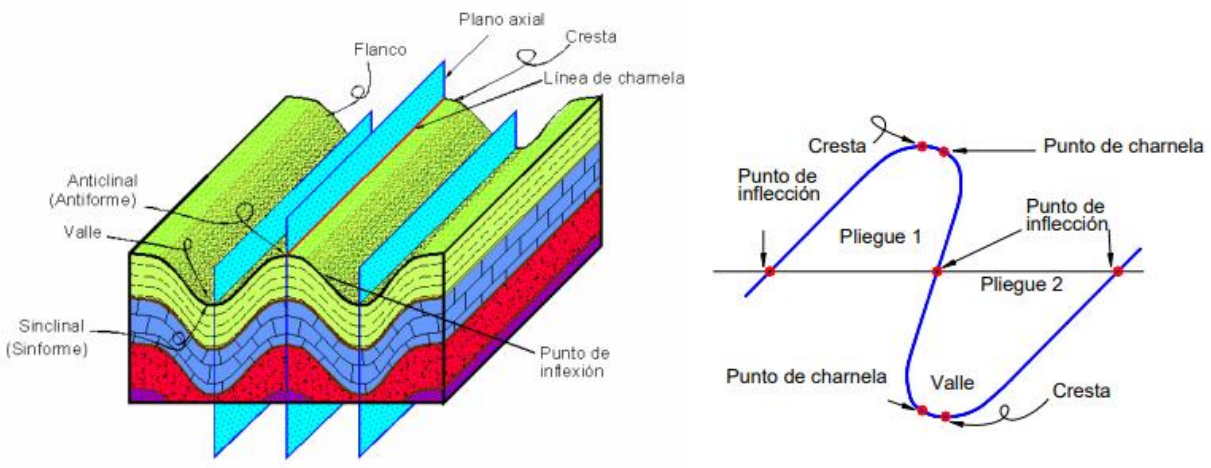
Se manifiesta de mejor manera en formaciones estratificadas, tales como rocas sedimentarias o volcánicas, o sus equivalentes metamorfizados (Billings, 1974, p. 37).

- **Partes de un pliegue**

Según información recopilada de Arellano et al. (2002); Billings (1974), las partes de un pliegue son las siguientes *(ver figura 11):*

- **Flanco:** Superficie de uno de los lados del pliegue. Cada pliegue tiene dos flancos.
- **Cresta:** Punto más alto en la superficie plegada.
- **Valle:** Punto más bajo en la superficie plegada.
- **Punto de charnela:** Es punto de máxima curvatura del pliegue, visto en sección transversal.
- **Plano axial:** Es el plano que divide de forma simétrica el pliegue.
- **Amplitud de onda:** Distancia entre el punto de inflexión y la cresta de un antiforme o el punto de inflexión y el valle de un sinforme.
- **Longitud de onda:** Distancia horizontal entre cresta y cresta en un antiforme o entre valle y valle en un sinforme, considerando siempre pliegues continuos. Es una medida del tamaño del pliegue.
- **Punto de inflexión:** Punto donde una superficie plegada pasa de un pliegue a otro o visto de otra manera de cóncava a convexa.

Figura 11. *Partes de un pliegue.*



Nota: Obtenido de (Arellano et al., 2002).

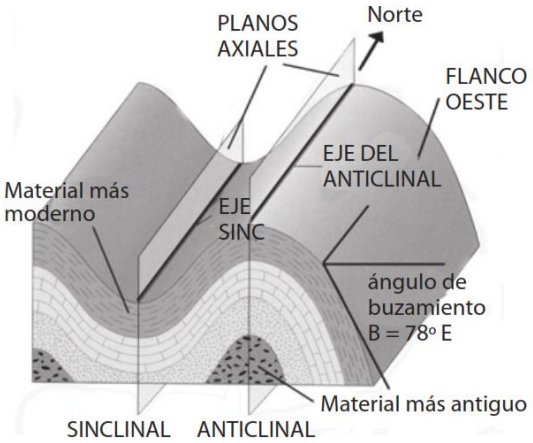
- **Tipos de pliegues**

Tabla 7. *Clasificación de los principales tipos de pliegues*.

CLASIFICACIÓN	SUBCLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Clasificación según su forma *(ver figura 12)*	*Anticlinal*	Convexo hacia la parte superior
	Sinclinal	Cóncavo hacia la parte superior
Clasificación según el buzamiento del plano axial *(ver figura 13)*	*Recto*	La superficie del plano axial es vertical
	Inclinado	La superficie axial está inclinada. En este caso los flancos no tienen necesariamente el mismo buzamiento, y si uno de ellos rebasa la verticalidad, entonces tenemos un flanco invertido
	Tumbado	La superficie del plano axial es horizontal
	Abanico	Tiene vergencias en dos direcciones opuestas, con dos planos axiales que se abren en forma de abanico
Clasificación según el eje del pliegue	*Cilíndricos*	El eje es horizontal, es decir que su inclinación es igual a 0°
	Cónicos	El eje se encuentra inclinado, por lo tanto, forma un ángulo con respecto a la horizontal.
Clasificación según el ángulo entre los limbos	Débilmente plegadas, ángulo interlimbal mayor a 120°	
	Pliegue abierto, ángulo interlimbal de 70° a 120°	
	Pliegue cerrado, ángulo interlimbal de 30° a 70°	
	Pliegue estrecho, ángulo interlimbal de 10° a 30°	
	Pliegue isoclinal, ángulo interlimbal = 0°	

Nota: Obtenido de (García, 2012; Maldonado, 2020).

Figura 12. *Clasificación de pliegues según su forma*.



Nota: Asociación de pliegues anticlinal y sinclinal con indicaciones de los planos axiales, ejes, flancos. Obtenido de (García, 2012).

Figura 13. *Clasificación de pliegues según el buzamiento del plano axial*.

Nota: Obtenido de (García, 2012).

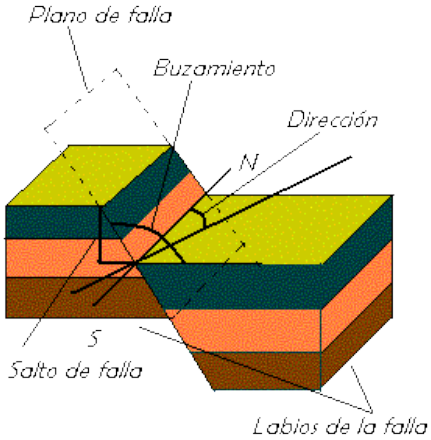
- **Fallas.**

Según (Billings, 1974), "Las fallas son rupturas a lo largo de las cuales las paredes opuestas se han movido la una con relación a la otra. La característica esencial es el movimiento diferencial paralelo a la superficie de la fractura" (p. 129).

- **Partes de una falla**

García (2012), señala que los elementos que definen una falla son los siguientes:

Figura 14. *Partes de una falla.*



Nota: Obtenido de (Acosta, s. f.) (http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena4/4q4_contenidos_5e.htm).

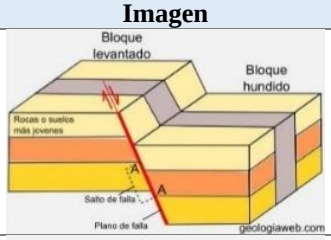
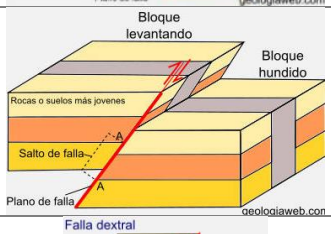
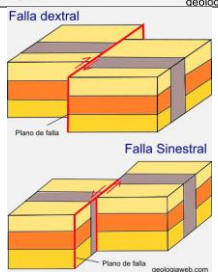
- **Plano de falla:** Es la superficie de rotura sobre la que se produce el movimiento de un bloque sobre el otro.
- **Labio levantado:** Porción del terreno o bloque con un movimiento de ascenso con respecto al labio hundido.
- **Labio hundido:** Bloque del terreno con un movimiento descendente con respecto al labio levantado.
- **Dirección de la fallas:** Ángulo que forma con el norte geográfico la línea que resulta de la intersección de un plano imaginario horizontal con el plano de falla.
- **Buzamiento de la falla:** Ángulo que forma el plano de falla con un plano horizontal imaginario, medido en la línea de máxima pendiente.
- **Espejo de falla:** Superficie pulida que se visualiza sobre el plano de falla como consecuencia de la fricción entre los dos bloques.
- **Estrías de falla:** Estrías o hendiduras sobre el plano de falla por presión y fricción entre los dos bloques.
- **Brecha de falla:** Material de aspecto caótico que se encuentra en el plano de falla debido

al desplazamiento y presión de los dos bloques.

- **Techo de falla:** Superficie rocosa que está inmediatamente por encima de la falla.
- **Muro de falla:** Superficie rocosa que está inmediatamente por debajo de la falla.
- **Salto de falla:** Desplazamiento de un bloque o labio con respecto al otro, medido en las componentes vertical y horizontal (p. 14).

▪ **Tipos de fallas**

Tabla 8. *Principales tipos de fallas.*

Tipos de fallas	Descripción	Imagen
Fallas normales	Si el movimiento ocurre conforme a la línea de máxima pendiente, la falla es normal; el desplazamiento es tal que el bloque de techo se desliza hacia abajo con relación al bloque de piso.	
Fallas inversas	Cuando el movimiento ocurre en dirección de la línea de máxima pendiente y el bloque de techo se desliza hacia arriba con relación al bloque de piso.	
Fallas transcurrentes	Las fallas de desgarre son aquellas que principalmente están relacionados con esfuerzos compresivos oblicuos que ocurren en la corteza terrestre y hacen que los bloques de rocas se desplacen lateralmente a lo largo de un plano de falla. Existen dos tipos: las dextrales y las sinestrales.	

Nota: Obtenido de (Arellano et al., 2002; Maldonado, 2020).

- **Diaclasas.**

Según Tarbuck y Lutgens (2005), "Las diaclasas son fracturas a lo largo de las cuales no se han producido desplazamiento apreciable. Aunque algunas diaclasas tienen una orientación aleatoria, la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos" (p. 301). Pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 9. *Clasificación de diaclasas.*

Según su forma	Sistemáticas	**Según su longitud**	Diaclasas principales
	No sistemáticas		Diaclasas mayores
			Diaclasas menores
Según su origen	Diaclasas de origen tectónico		Por tracción
			Por compresión
			Por cizalla
	Diaclasas de tensión por disminución de volumen		Por enfriamiento
			Desecación

Nota: Obtenido de (Pasotti, 2010).

4.3.3 Cartografía de las estructuras geológicas.

Para determinar la orientación de un estrato rocoso o de una superficie de falla se utilizan dos medidas denominadas: dirección (rumbo) y buzamiento (inclinación):

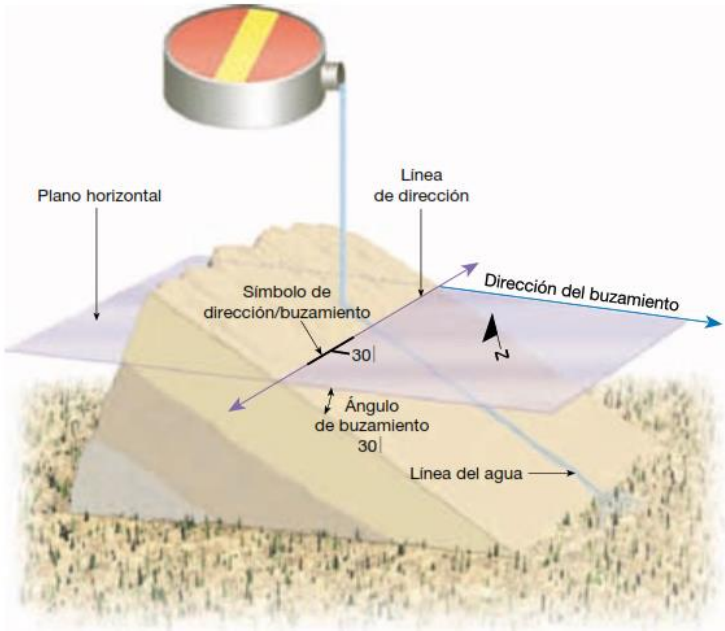
4.3.3.1 Dirección.

"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" *(ver figura 15)* (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 290).

4.3.3.2 Buzamiento.

"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" *(ver figura 15)* (Tarbuck y Lutgens, 2005, p. 290).

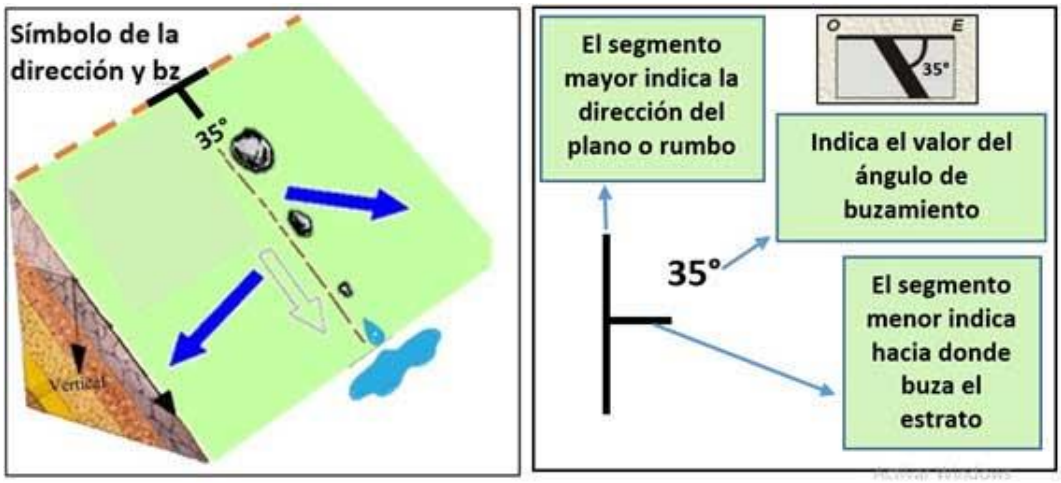
Figura 15. *Dirección y buzamiento de un estrato rocoso.*



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

Generalmente en los mapas geológicos para representar estas medidas se utiliza una simbología parecida a una T mayúscula, pero con la longitud relativa de las dos partes invertidas. La línea más larga es paralela al rumbo de las estratificaciones, y la más corta apunta en la dirección de la inclinación, cuyo valor está dado por una cifra (Billings, 1974, p. 37) *(ver figura 16)*.

Figura 16. *Representación de rumbo y buzamiento en un mapa.*



Nota: Obtenido de Jumbo, s. f.(https://geotecniafacil.com/buzamiento-real-y-aparente/).

4.3.4 Proyección estereográfica

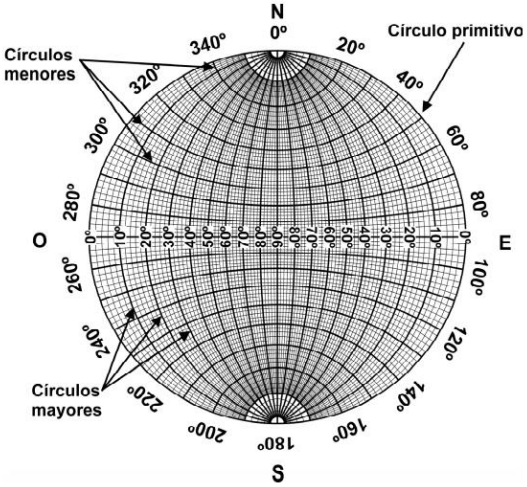
Tomás et al. (2002) define a la proyección estereográfica como, "Un tipo de proyección azimutal para establecer la relación angular existente entre las caras de los cristales o entre las estructuras geológicas. Todas las proyecciones permiten la representación de objetos tridimensionales en una superficie de dos dimensiones. Cualquiera que sea el sistema de proyección elegido, la representación plana presenta deformaciones que pueden ser lineales, angulares y superficiales" (p. 2).

4.3.4.1 Elementos de la red estereográfica

Babín y Gómez (2010), afirma que la proyección estereográfica de líneas y planos se compone por los siguientes elementos:

- **Círculos mayores**: Representan una familia de planos con dirección Norte-Sur, cuyos buzamientos varían desde 0º a 90º en ambos sentidos. Estos planos se cortan según una línea horizontal representada por el Norte o el Sur de la falsilla *(ver figura 17).*
- **Círculos menores**: Permite medir las direcciones de los distintos planos y líneas en la proyección. También se utilizan para hacer rotaciones de distintos elementos estructurales alrededor de ejes horizontales, verticales o inclinados *(ver figura 17).*
- **Falsilla o estereoneta:** Existen dos tipos distintos de estereoneta. La primera es la falsilla de Wulff que conserva ángulos, mientras que la segunda es la falsilla de Schmid que conserva áreas y por tanto, se utiliza para realizar contajes estadísticos de elementos (planos de falla, ejes de cuarzo, lineaciones, etc). La forma de proyectar planos y líneas en cualquiera de estas falsillas, es exactamente la misma (p. 7).

Figura 17. *Elementos de la red estereográfica.*

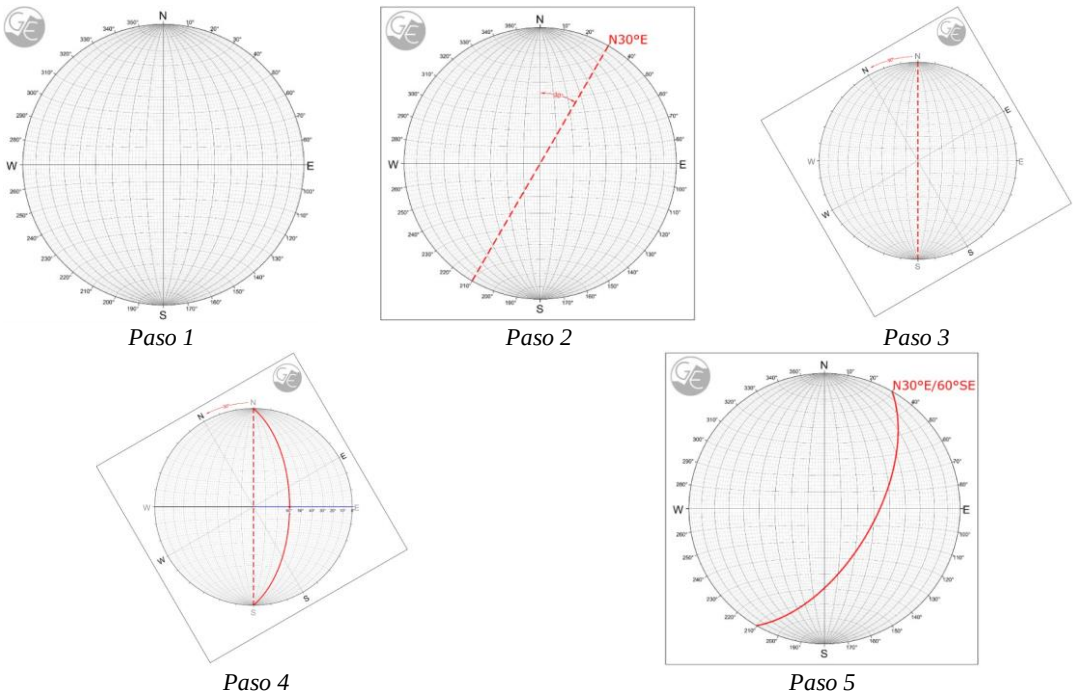


Nota: Obtenido de (Babín & Gómez, 2010).

4.3.4.2 Representación estereográfica de planos

Según Abad (2020), considera que para representar un plano en la red estereográfica se siguen los siguientes pasos:

Figura 18. *Metodologías para representación de planos inclinados con rumbo diferente a N-S y E-W.*



Nota: Obtenido de (Abad A. , 2020).

En este contexto, lo representado en la figura 18 Abad (2020), lo interpreta de la siguiente manera:

- **Paso 1:** Colocar un papel calcante sobre la red estereográfica y dibujar en éste los ejes

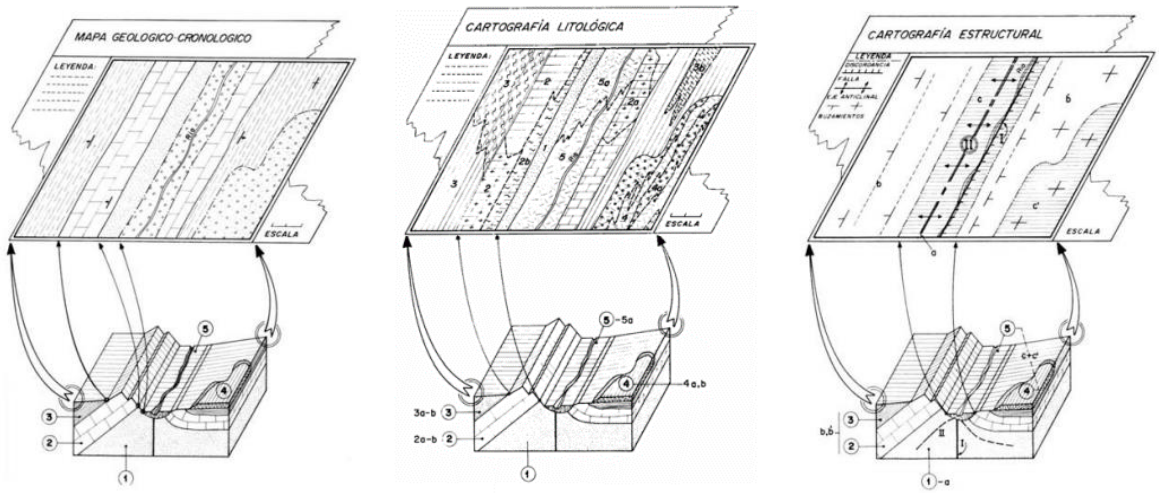
coordenados.

- **Paso 2:** Dibujar la línea de rumbo del plano geológico en el papel calcante.
- **Paso 3:** Con el menor giro posible, hacer coincidir la línea de rumbo dibujada en el papel calcante con la línea Norte- Sur de la red.
- **Paso 4:** Contar en la línea E-W de la red el ángulo de buzamiento del plano (de afuera hacia adentro) y dibujar el arco meridional que pasa por ese punto.
- **Paso 5:** Girar de nuevo el papel calcante hasta hacer coincidir su eje N-S con el eje N-S de la red estereográfica y borrar la línea de rumbo, pues el plano solo es representado por su arco meridional.

4.4 Levantamiento geológico - estructural

Un mapeo geológico es el proceso de transferir las observaciones de la geología realizadas en el campo a un mapa geológico, este último se caracteriza por representar, sobre un mapa topográfico, los diferentes tipos de unidades geológicas que afloran en la superficie terrestre, así como de sus respectivos contactos. En un mapa geológico se reflejan también las estructuras tectónicas (pliegues, fallas, etc.), los yacimientos de fósiles, aspectos hidrogeológicos (fuentes, red de drenaje, etc.), recursos minerales, etc. (Delgado et al., 2010; Echeveste, 2018).

Figura 19. *(a) Mapa cronoestratigráfico, (b) Mapa lito estratigráfico, (c) Mapa tectono – estructural.*



(a) **(b)** **(c)**

Nota: Obtenido de (Martínez Álvarez J.A, 1989), citado en (Delgado et al., 2010).

Los mapas geológicos, de acuerdo con la finalidad de la investigación, pueden ser elaborados con muy diferentes criterios: mejorar el conocimiento geológico general de una región, distinguir tipos litológicos (mapas litoestratigráficos) *(ver figura 19b)*, agrupar formaciones geológicas por edades (mapas cronoestratigráficos) *(ver figura 19a)*, poner en evidencia zonas

con un elevado riesgo geológico (mapas de riesgo), racionalizar el uso y explotación de los suelos (mapas de ordenación del territorio), etc (Delgado et al., 2010, p. 10).

Por lo tanto, de forma general se puede aplicar el siguiente procedimiento para efectuar un levantamiento geológico – estructura; con el objetivo es plasmar la información en un mapa a una escala determinada:

4.4.1 Delimitación del área de interés.

Según Camargo (2004), "El primer paso en la elaboración del mapa geológico, consiste en delimitar el área de interés y recopilar toda la información geológica disponible, incluyendo artículos y mapas publicados por empresas estatales y privadas, más información inédita contenida en bases de datos" (p. 22).

4.4.2 Fotointerpretación.

Reuter (2022) definen a la fotointerpretación como, "La técnica o arte de examinar la imagen fotográfica del terreno (u otros elementos) con el propósito de identificar los diferentes componentes del paisaje y suministrar información de interés para ingenieros civiles, forestales, geólogos, agrónomos, etc" (p. 1).

En este sentido, la observación de imágenes aéreas y satelitales (fotointerpretación) es un proceso provechoso al momento de establecer lugares específicos donde realizar un estudio especializado y/o trabajos de exploración, debido a que brinda una concepción geológica rápida y confiable de sitios no recorridos o de poca accesibilidad. Es decir, juega un rol importante en la elaboración de cartografía geológica preliminar y sirve como base para estudios donde se planee enfatizar los aspectos tectónicos-morfológicos regionales, mineros-ingenieriles de escala local y otros (Explorock, 2020).

4.4.2.1 Fases del proceso de fotointerpretación.

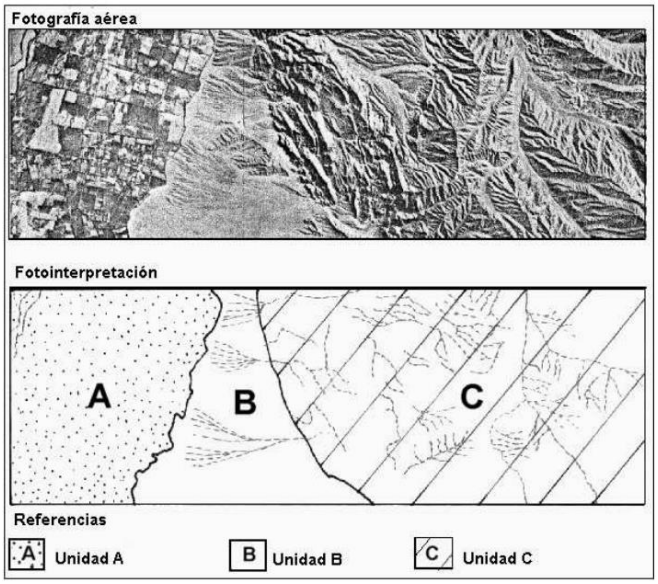
De acuerdo a los recursos didácticos publicados en la página web de la Universidad Nacional de San Luis (2022) se menciona que para interpretar fotografías aéreas se debe llevar a cabo el siguiente proceso sucesivo:

1. **Lectura o reconocimiento:** En esta fase se debe identificar individualmente en la fotografía áreas rasgos y objetos, tales como: ríos, sierras, llanuras, caminos, etc.El propósito principal es localizarnos en el contexto geográfico de la zona de estudio.
2. **Identificación de unidades homogéneas:** Como segunda fase se identifica áreas con

características similares en cuanto a: tonos, texturas, patrones, etc. Por ejemplo, se podrán identificar áreas con tonos de gris claro y otras con tonos de gris oscuro.

3. **Delimitación de las áreas mediante líneas de contacto:** Posteriormente se procede a delimitar las áreas homogéneas trazando sus límites con líneas de contacto.
4. **Agrupamiento de áreas en unidades significativas**: Esta fase consiste en agrupar las áreas delimitadas con rasgos comunes y asignar una letra mayúscula para su identificación.
5. **Descripción de las unidades:** Estas descripciones deberán acompañar al bosquejo de unidades obtenido mediante la fotointerpretación como una leyenda.
6. **Control de campo:** Para asegurar la veracidad se procede a comprobar en campo los límites de las unidades fotointerpretadas y sus características.
7. **Producción del mapa definitivo e informe de campo:** Una vez realizados todos los pasos descritos anteriormente, se debe confeccionar un mapa definitivo y un informe que acompañe al mismo. (p. 5) *(ver figura 20)*

Figura 20. *Interpretación de fotografías aéreas.*



Nota: Obtenido de Universidad Nacional de San Luis, 2011 (http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Fotointerpret.pdf).

4.4.3 Mapa base

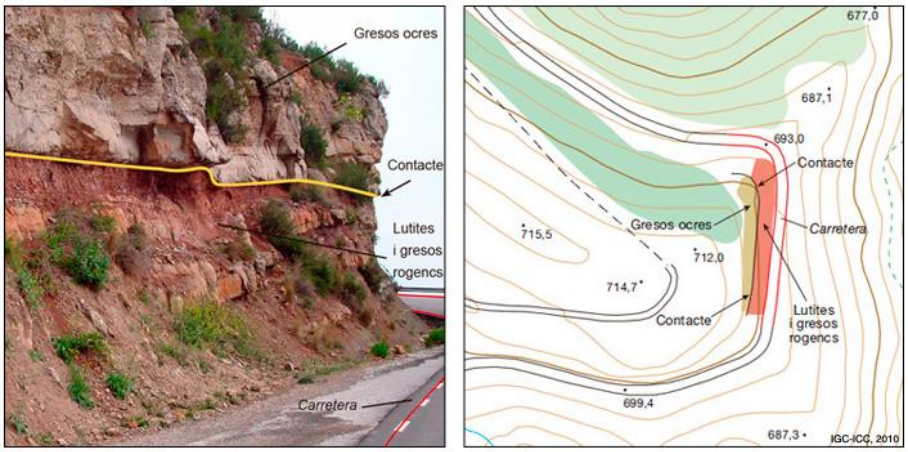
El mapa base donde se volcará la información geológica que conducirá al mapa geológico debe ser un mapa topográfico. Contar con información del relieve resulta imprescindible, ya que la interrelación entre la topografía y los planos geológicos permitirá predecir, por ejemplo, la traza de afloramiento de contactos litológicos, la traza de fallas y en general de cualquier

rasgo geológico planar en zonas pobremente expuestas (Echeveste, 2018, p. 45).

4.4.4 Mapeo geológico por afloramientos.

El mapeo de afloramientos es la base de gran parte de la cartografía geológica detallada escala 1:10.000 y más grande. Es el estilo de mapa más común en la exploración minera. En este método, el geólogo debe examinar tantas exposiciones como sea posible. Además, la extensión de cada afloramiento, o el grupo de afloramientos, se indica en el mapa de campo con el lápiz de color apropiado para ese tipo de roca o formación (Echeveste, 2018, p. 172).

Figura 21. *Mapeo geológico por afloramientos.*



Nota: Obtenido de Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, s. f. (https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Atlas/Atlas-geologico-de-Cataluna/Elementos-de-los-mapas-geologicos).

En otras palabras, en los trabajos de campo, el geólogo realiza una serie de itinerarios buscando afloramientos, es decir, zonas expuestas en la superficie de la Tierra que permiten observar las características geológicas del subsuelo. Una vez encontrado un afloramiento, éste se sitúa sobre un mapa topográfico o bien sobre una foto aérea. Con la ayuda de las herramientas típicas del trabajo de campo (martillo, lupa, brújula), se intenta identificar las rocas presentes en el afloramiento, así como todas aquellas características útiles (fósiles, orientación de planos y lineaciones en las rocas, etc.) en la posterior identificación.

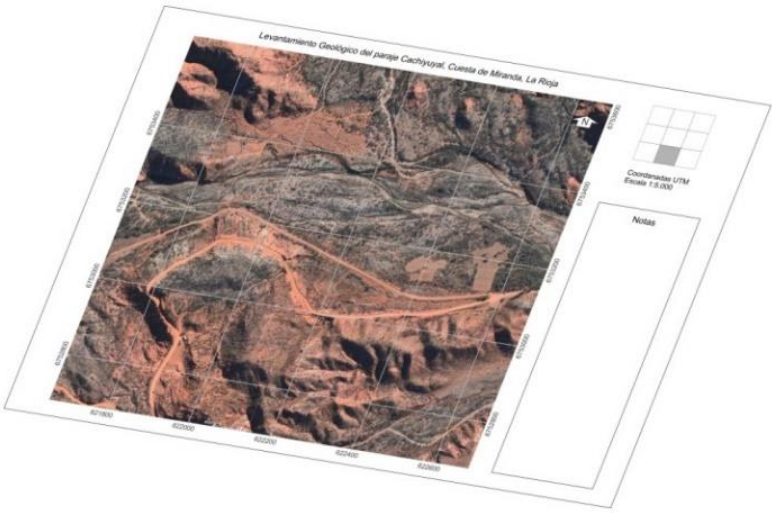
Finalmente, toda la información es minuciosamente documentada en una libreta de campo, esquematizada mediante gráficos adecuados, fotografiada si se considera necesario y muestreada si ello es indispensable (Delgado et al., 2010, p. 10).

4.4.4.1 Mapa de campo (Primero borrador).

El mapa de campo es un primer borrador en el cual, se registra la información geológica y estructural utilizando de base un mapa topográfico. Es decir, se trabaja sobre un plano que

contenga una imagen satelital o curvas de nivel con una equidistancia apropiada y una grilla de coordenadas planas. Lo más práctico para trabajar en el campo es dividir el mapa base en tantas hojas de tamaño A4 como sea necesario, de manera de hacer impresiones con un solapamiento en hojas contiguas de un 5 o 10 %. En cada hoja constará lo siguiente: título del mapa, flecha del norte, fecha, autor, escala y un croquis en una esquina de la impresión de la posición de ese sector (Echeveste, 2018, p. 267) *(ver figura 22)*.

Figura 22. *Mapa de campo para registrar información litológico y estructural*.



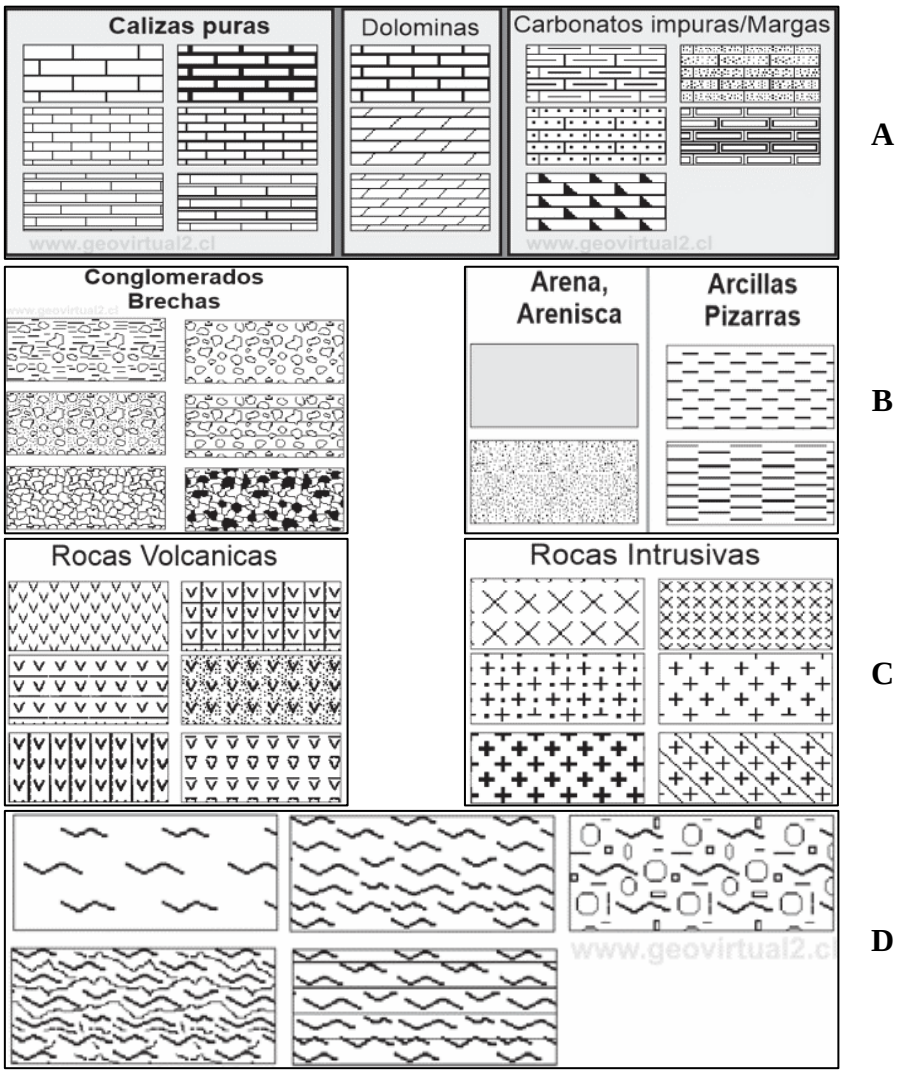
Nota: Porción de mapa base constituido por una imagen de alta resolución espacial impresa en una hoja A4 con su ubicación relativa respecto al área de mapeo (arriba a la izquierda) y un espacio destinado a notas. Obtenido de (Echeveste, 2018).

4.4.5 Trabajo gabinete.

Luego de la recopilación de información y del trabajo se campo, se procede a agrupar toda la información para elaborar el mapa geológico – estructural en un SIG, considerando los siguientes criterios establecidos por Camargo (2004):

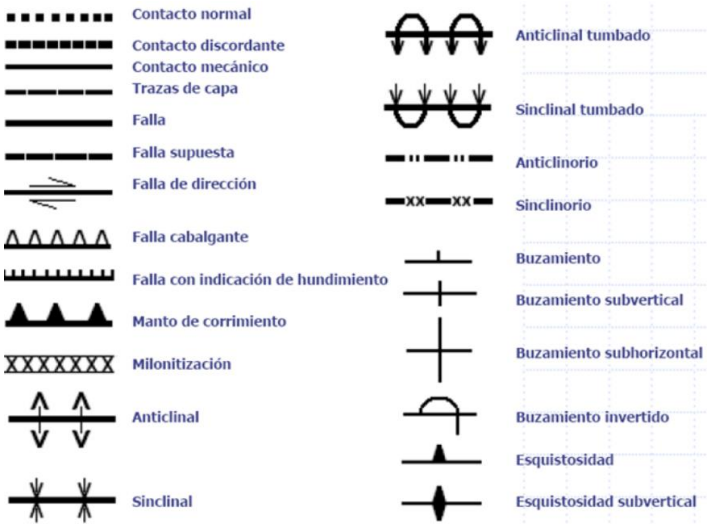
- Los mapas geológicos se elaboran sobre un mapa topográfico y en ellos se muestra mediante símbolos y convenciones la siguiente información: localización del área mediante una cuadrícula de coordenadas, escala numérica y gráfica, diferencias angular entre el norte geográfico y el norte magnético (declinación magnética), contactos entre las diferentes unidades de rocas o formaciones que afloran en el área, rumbo y buzamiento de capas, forma y tipo de pliegues y fallas, ocurrencias mineral, discordancias, localización y origen de acumulaciones de sedimentos recientes.
- Para facilitar su lectura, todos los mapas geológicos se dibujan con tramados diferentes para cada litología o se colorean con tono internacional convenidos para las diferentes edades de las rocas *(ver figuras 23, 24 y 25)*.

Figura 23. *(A) Patrones para carbonatos; (B) Patrones de rocas clásticas; (C) Patrones para rocas ígneas; (D) Patrones para rocas metamórficas.*



Nota: Obtenido de geovirtual (https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm).

Figura 24. *Símbolos estructurales.*



Nota: Obtenido de Geovirtual, 2020 *(https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm).*

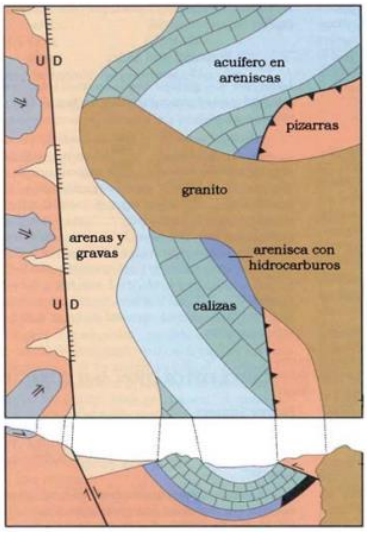
Figura 25. *Colores litológicos.*

Roca	Color
Intrusiva joven	Rosada
Intrusiva antigua	Rojo
Volcánica extrusiva joven	Violeta claro
Volcánica extrusiva antigua	Violeta
Caliza	Azul
Sedimentos no consolidados	Amarillo

Nota: Obtenido de Geovirtual, 2020 *(https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm).*

- Los mapas geológicos van acompañados de una columna estratigráfica generalizada, que incluye lo siguiente: nombre, edad, tipo de roca de cada unidad y leyenda. Adicionalmente se incluye los símbolos y convenciones geológicas utilizadas en el mapa.
- Se debe elaborar perfiles geológicos construidos a la misma escala del mapa y orientados en dirección perpendicular al rumbo general de las capas, con el fin de ilustrar la estructura del subsuelo y facilitar la compresión de la historia evolutiva de una región *(ver figura 26).*

Figura 26. *Mapa geológico simplificado y corte geológico.*



Nota: Obtenido de U.S. Geological Survey, citado en (Delgado et al., 2010).

- Los mapas geológicos se elaboran en las mismas escalas que los mapas topográficos.

Adicional a los criterios mencionados es importante considerar la interpolación de información, en el cual Delgado et al. (2010) enfatiza, "Se debe interpolar para obtener información que no ha sido tomada (por estar cubierto o inaccesible el terreno). A diferencia de

las interpolaciones matemáticas, la interpolación realizada en el gabinete por el geólogo se basa en la utilización de información obtenida mediante técnicas geofísicas directas (sondeos), indirectas (sísmica, magnetometría, gravimetría, etc.), en su propia experiencia, así como en el conocimiento geológico que posee de la región estudiada" (p. 11).

4.5 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas. El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente (esri, 2020).

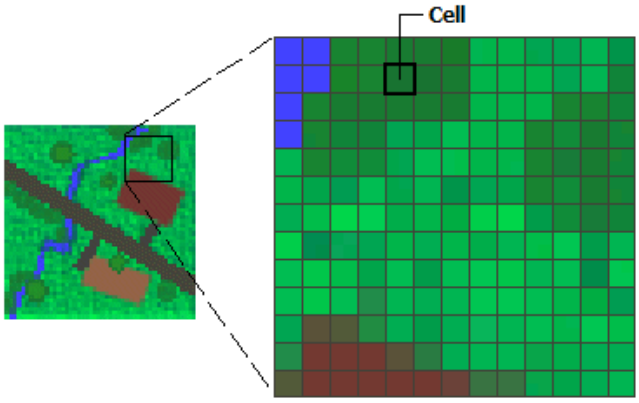
Los sistemas de información geográfica son herramientas fundamentales para las Ciencias de la Tierra ya que se utilizan para administrar y visualizar todo tipo de información que tenga una representación en el espacio. De esta manera son herramientas que no solo permiten construir mapas digitales, sino que también realizar análisis y modelados estadísticos y geoestadísticos de variables regionalizadas (Echeveste, 2018, p. 313).

4.5.1 Modelos de representación.

4.5.1.1 Modelo ráster.

Se caracterizan por la existencia de una red formada por celdas o cuadrículas, más comúnmente conocidas como píxel, en la que cada cuadrícula o píxel presenta una cualidad o propiedad espacial (color, altitud, etc) (Matellanes, 2017) *(ver figura 27).*

Figura 27. *Modelo raster.*



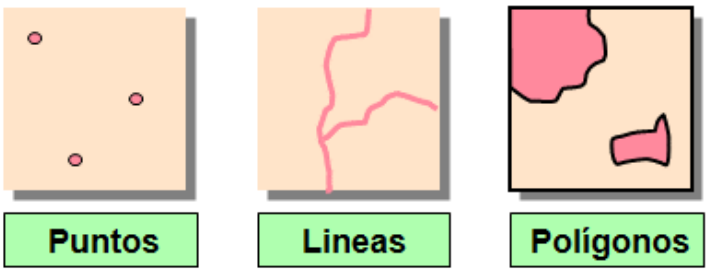
Nota: Obtenido de esri, 2016 (https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm).

Cada pixel es una unidad espacial que posee un valor numérico para expresar una propiedad a partir de un color. En el caso de las imágenes satelitales los pixeles poseen un único valor que puede representar desde la cantidad de luz reflejada (imagen), la altura (DEM), el contenido en un determinado elemento químico, etc (Echeveste, 2018, pp. 314 - 315).

4.5.1.2 Modelo vectorial.

Los modelos vectoriales están basados en entidades (básicamente puntos y líneas) definidas por sus coordenadas (Felicísimo, 1994) *(ver figura 28).*

Figura 28. *MDT vectorial TIN.*



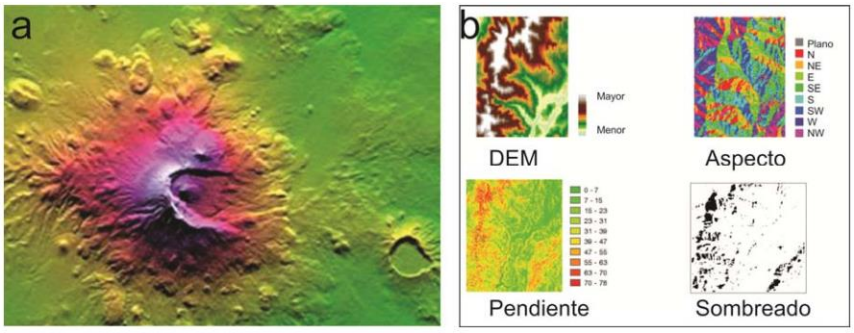
Nota: Obtenido de Gómez, 2020 (https://ecoscript.org/vectorvsraster/).

Para representar una línea, el archivo vectorial contiene las coordenadas de origen y final de la línea, así como su grosor, color, traza, etc. Debido a esto cada vez que se hace zoom sobre un elemento vectorial, el mismo es reescalado, por lo que independientemente de la escala, los vectores no se "pixelan" (Echeveste, 2018, p. 315).

4.5.2 Modelo digital de terreno.

Según Echeveste (2018): "Los modelos de elevación digital (DEM en inglés) son una forma de almacenar y representar información altimétrica georreferenciada, que al estar en formato digital, permite generar vistas tridimensionales del terreno y producir una gran variedad de información (mapas, rutas, etc.,), donde se utiliza como sustrato la información altimétrica" (p. 52) *(ver figura 29).*

Figura 29. *a) Modelo de elevación digital. b) Mapas derivados a partir de un modelo de elevación digital.*

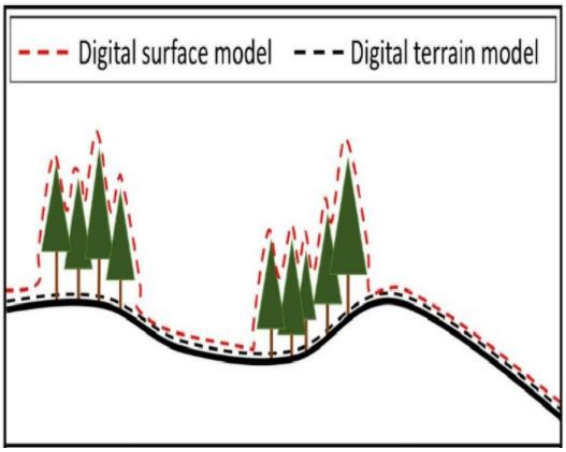


Nota: Obtenido de (Echeveste, 2018).

El papel equivalente en los MDT lo desempeña el modelo digital de elevaciones (MDE), que describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de datos acotados (Felicísimo, 1994, p. 5).

Los modelos digitales de terreno (MDT) se diferencian con los modelos digitales de superficie (MDS), debido a que los primeros representan solo los valores de elevación de los puntos más bajos de una superficie (terreno), a diferencia de los segundos que representan la elevación de la capa superficial de los objetos sobre el terreno (Fuentes, 2020, p. 9) *(ver figura 30).*

Figura 30. *Diferencia entre un MDS y un MDT.*



Nota: Obtenido de *(Fuentes, 2020)*.

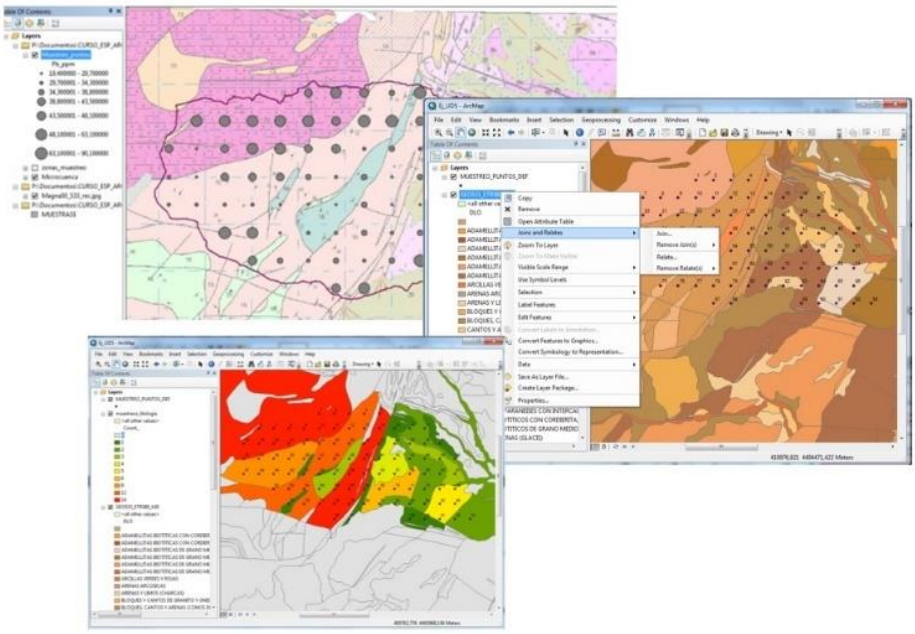
4.5.3 Mapas geológicos en SIG.

El uso de SIG es fundamental para elaborar mapas geológicos, debido a que permite procesar gran cantidad de información manejando todas las capas de forma rápida y eficaz, permitiendo además actualizar constantemente los datos, realizar salidas gráficas a cualquier escala, almacenar datos, realizar análisis y representaciones cartográficas. Además, cuando se trabaja con información digital en un SIG es necesario documentar muy bien el origen, detalle, proyección, características del proceso de digitalización y la metodología de análisis (Domínguez, 2003, p. 58).

Los mapas geológicos – estructurales en GIS reciben el nombre de mapas temáticos, debido a que facilitan y mejoran su representación debido a su alta gama de características que los diferencias de softwares gráficos; es decir, reflejan atributos de manera nominal, empleando diferentes signos: gráficos de diferente tamaño, colores para datos puntuales (puntos de triangulación, puntos de recolección de muestras, capitales de provincias), líneas de espesores, formas y colores variados para datos lineales (carreteras, redes hidrográficas) y tramas y colores

para elementos superficiales (formaciones geológicas, provincias) (Pindo, 2007, p. 37) *(ver figura 31).*

Figura 31. *Mapas geológicos en SIG.*



Nota: Obtenido de Grupo TYC GIS Formación, 2022 (https://www.cursosgis.com/ quieres-especializarte-en-arcgis-aplicado-a-la-geologia/).

5. Metodología.

5.1 Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, se empleó los siguientes materiales y equipos:

Tabla 10. *Materiales para el desarrollo del trabajo de titulación.*

Materiales de campo	Materiales de gabinete	Softwares
• GPS Garmin • Martillo geológico • Brújula Brunton • Lupa geológica 30X - 60X • Ácido clorhídrico (10%) • Lápiz magnético - rayador • Distanciómetro • Cinta métrica • Libreta de campo • Etiquetas para muestras • Fundas herméticas • Esferográficos • Marcadores permanentes • Pinturas • Cámara fotográfica • Equipo personal • Fichas de registro de afloramientos • Ficha de descripción macroscópica de rocas	• Computadora • Impresora • Memoria USB • Carta geológica de Zaruma, escala: 1:100 000 (2013) • Ortofotos de SIGTIERRAS, año 2012, resolución 0.3m: NVI-E4b: D1-D4; E1-E4; F1; F3; A1-A4; B1-B4; C1; C3 • Modelos Digitales de Terreno (MDT), año 2012, resolución 3m: NVI-E4b: D1-D4; E1-E4; F1; F3; A1-A4; B1-B4; C1; C3.	• GIS • Google Earth Pro • SASPlanet • Microsoft Word 2019 • Microsoft Excel 2019 • AutoCAD 2018 • SedLog 3.0

Nota: Elaborado por (El Autor, 2022).

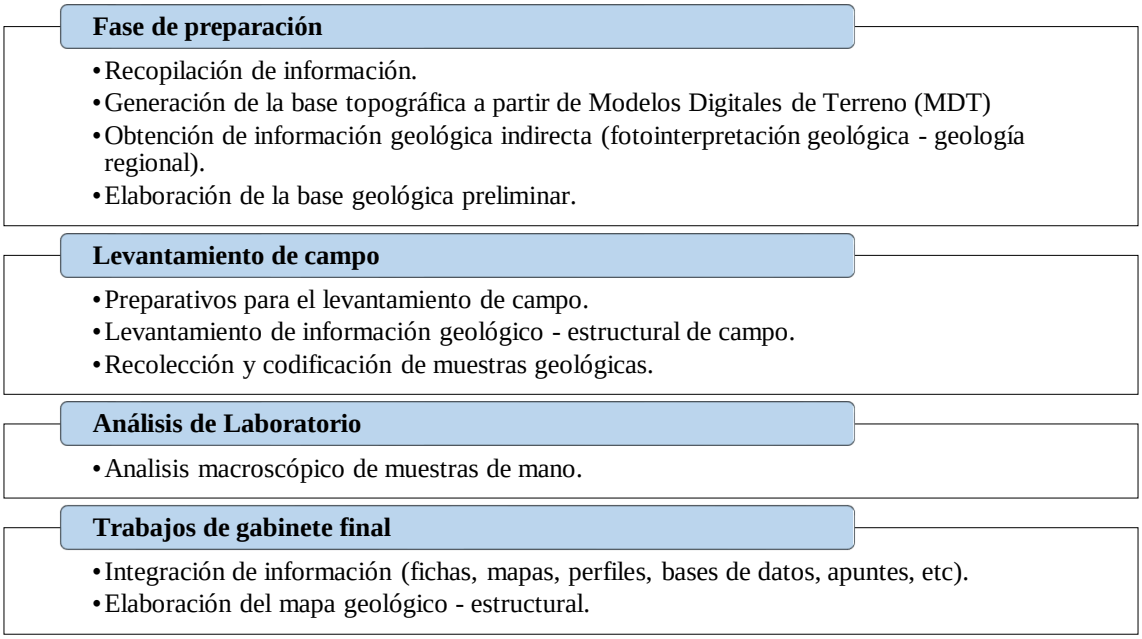
5.2 Método

El levantamiento geológico – estructural a escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue, se desarrolló aplicando el método de mapeo por afloramiento, el cual describe y caracteriza a detalle la mayor cantidad de representaciones litológicas y estructurales posibles del sector. Esta información sirvió de base para la elaboración del mapa geológico – estructural de la zona de estudio.

5.3 Metodología

La metodología adoptada para llevar a cabo el levantamiento geológico – estructural en la zona Norte de la parroquia La Tingue, se enmarca principalmente en las fases propuestas por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador (IIGE, 2019), el mismo que se resume a continuación:

Figura 32. *Metodología para el levantamiento geológico – estructural.*



Nota: Obtenido de (IIGE, 2019). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Por lo tanto, para el cumplimiento del presente proyecto de investigación se adoptó la siguientes metodología descrita a detalle:

5.3.1 Fase de preparación

a) Se recolectó estudios previos referente a información geológica de la zona Norte de la parroquia La Tingue y de sus alrededores, pero principalmente se usó la Hoja Geológica de Zaruma del año 2013, a escala 1:100 000 y referenciada con el DATUM WGS84 UTM Zona 17s. En base a esta investigación preliminar se representó un mapa de geología regional con las siguientes características: formaciones geológicas del área de trabajo y sectores adyacentes, DATUM WGS84 UTM Zona 17s y a escala 1: 100 000.

b) Mediante ortofotos con resolución de 0.30m y modelos digitales de terreno (MDT) obtenidos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a través de su programa SIGTIERRAS, con resolución de 3 metros; ambos con códigos de identificación: NVI-E4b-D1; NVI-E4b-D2; NVI-E4b-D3; NVI-E4b-D4; NVI-E4b-E1; NVI-E4b-E2; NVI-E4b-E3; NVI-E4b-E4; NVI-E4b-F1; NVI-E4b-F3; NVI-E4b-A1; NVI-E4b-A2; NVI-E4b-A3; NVI-E4b-A4; NVI-E4b-B1; NVI-E4b-B2; NVI-E4b-B3; NVI-E4b-B4; NVI-E4b-C1; NVI-E4b-C3; del año 2012 y espacialmente referenciados con el DATUM SIRGAS UTM Zona 17s (equivalente al DATUM WGS84 UTM Zona 17s), se generó en un Software GIS la topografía del área de trabajo; es decir, con los MDT y mediante el comando Contour se generaron curvas de nivel a cada 10m, debido a que su resolución presentan las condiciones favorables para trabajar con mencionada

equidistancia y fundamentándose en base a la regla descrita por Tobler (1987): "La resolución adecuada se obtiene al dividir el denominador de la escala del mapa por 1000 y dicho resultado dividir para dos". Por otro lado, se sustenta en las especificaciones técnicas generales para la realización de cartografía topográfica del IGM (2006), el mismo que alude lo siguiente: "La equidistancia de curvas para cartografía a escalas mayores ó iguales a 1:10.000 será la milésima parte del denominador de la escala, en metros". En lo concerniente a la digitalización de infraestructura y redes de drenaje (ríos, quebradas, drenajes permanentes y drenajes intermitentes), se ejecutó con las ortofotos antes mencionadas.

El resultado final fue un mapa topográfico a una escala de trabajo 1:10 000, DATUM WGS84 UTM Zona 17s, curvas de nivel principal a cada 50m y curvas de nivel secundarias a cada 10m *(ver anexo 2)*. La finalidad de realizar este mapa fue utilizarlo para la planificación de geotravesías, para conocer el relieve, para elaborar perfiles topográficos que sirvan de referencia para el desarrollo de cortes geológicos y para agregar información litológica preliminar y definitiva.

5.3.2 Metodologías para el primer objetivo

Identificar y caracterizar las unidades litológicas con la respectiva relación estratigráfica.

a) Se procedió a identificar por fotointerpretación rasgos geológicos más significativos y estructuras mayores a nivel regional, considerando los fundamentos teóricos de la tercera edición del *Manual de Fotogeología* de (Lopez Vergara, 1988) y del libro *Fotogeología Práctica. Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia* de (Narango, 2015). Para lo cual, se generó en un SIG un mosaico de las veinte ortofotos proporcionadas por el MAG y se sobrepuso la topografía y la red hidrográfica completa (literal b, fase de preparación) para lograr una mejor interpretación litológica.

Posteriormente, el análisis geológico se desarrolló dividiendo en tres secciones la zona de estudio y se consideró los siguientes parámetros generales:

- *Morfología:* se efectuó con el Mapa Geomorfológico Nacional a escala 1:25 000 elaborado por el (IGM, 2013a).
- *Red de drenaje:* se consideró el patrón, la densidad y la uniformidad de la red hidrográfica, debido a que tales características son fundamentales para lograr una

apreciación de la posible resistencia, permeabilidad, granulometría y tipo de material.

- *Tono y vegetación:* se desarrolló con las ortofotos, mediante la visualización de la intensidad de grises por causa de la vegetación o por humedad del terreno. Adicionalmente se usó como material auxiliar el Mapa de Tipos de Climas del Ecuador del (INMAHI, 2017).
- *Topografía:* se analizó en base al Mapa Topográfico a escala 1:10 000 de la Zona Norte de la Parroquia La Tingue, desarrollado con los MDT del MAG (fase de preparación, literal b).

Los resultados del análisis de todos los criterios mencionados se registraron en la ficha de análisis geológico por fotointerpretación *(ver anexo 1, ficha d)* y finalmente se digitalizó en un SIG los contactos litológicos que se constituyen como información preliminar sujeta a ser corroborada.

b) Con el uso de las rutas previamente trazadas y por medio del método de mapeo por afloramientos se procedió a identificar y caracterizar la mayor cantidad de representaciones posibles del sector. Esta información se plasmó en fichas de descripción de afloramientos adaptadas a la necesidad del presente trabajo investigativo *(ver anexo 1, ficha a).* Posteriormente se recolectó muestras representativas de rocas de los principales afloramientos, en el marco del siguiente procedimiento:

1) En el afloramiento de interés se extrajo una muestra de roca fresca y representativa in situ.
2) El ejemplar se almacenó en una funda hermética con su respectiva etiqueta y con los siguientes datos informativos: código, lugar, fecha y coordenadas de ubicación *(ver anexo 1, ficha c).* Adicional a ello, se consideró la forma de codificación propuesta en el *Instructivo para el Manejo de Fichas de Descripción Macroscópica de Muestras de Rocas* de (Viteri e IIGE, 2013) *(ver tabla 11).*

Tabla 11. *Codificación de muestras de rocas.*

VARIABLE	SÍMBOLO	SIGNIFICADO	ID MUESTRA
Nombre del proyecto:	LGE_{NT}	Levantamiento geológico estructural de la zona Norte de la parroquia La Tingue	LGE_{NT}-FO-001
Nombre del recolector:	FO	Fabricio Ojeda	
Número de muestra:	001	Numeración	

Nota: Elaborado por: (El Autor, 2022).

3) Se registró fotográficamente la muestra recolectada en el lugar de obtención.

4) Finalmente se transportó el espécimen teniendo en cuenta que para evitar la alteración de la misma se efectuó dicho viaje bajo condiciones controladas.

c) Las muestras recolectadas en campo se analizaron en gabinete a nivel macroscópico utilizando gráficas de caracterización petrográfica *(ver anexo 13)* y considerando el *Instructivo para el Manejo de Fichas de Descripción Macroscópica de Muestras de Rocas* de (Viteri e IIGE, 2013). Finalmente, las características de cada ejemplar se plasmaron en las fichas de descripción de rocas a nivel macroscópico *(ver anexo 1, ficha b).*

d) Considerando la información geológica levantada en campo se elaboró en el software SedLog3.0 una columna estratigráfica general de toda el área de trabajo con la final de representar la sucesión de unidades geológicas, litologías y edades.

e) Una vez ejecutados todos los pasos anteriores, se obtuvo como resultado un mapa topográfico e información teórica con respecto a la geología y sucesión estratigráfica local del área de estudio. Esto sirvió de base para definir las unidades litológicas, para la interpretación de estructuras geológicas y para la elaboración del mapa geológico – estructural a escala 1:10 000.

5.3.3 Metodología para el segundo objetivo

Determinar y caracterizar las estructuras geológicas presentes en el área de estudio.

a) Junto con el análisis fotointerpretativo de la geología del área de estudio (literal a, objetivo 1) se desarrolló una fotointerpretación de estructuras, tomando en consideración los siguientes parámetros: alineaciones de drenaje, vegetación o humedad y rasgos morfológicos (facetas triangulares, ensilladuras tectónicas, movimientos o cambios brusco del relieve).

   Para ejecutar de este ítem, se usó de igual manera las ortofotos proporcionadas por el MAG a través de su programa SIGTIERRAS y se elaboró un Hillshade con los MDT, con la final de trasponerlo en la ortofotos con una transparencia del 70%; mejorando así la visualización del relieve. Finalmente, la información se registró en la ficha de análisis estructural por fotointerpretación *(ver anexo 1, ficha e).*

b) Se efectuó un levantamiento de información en campo referente a las estructuras geológicas inferidas en la fotointerpretación; a través de la caracterización y medición de elementos de yacencia (rumbo y buzamiento) en estructuras secundarias: fallas, pliegues, fracturas, diaclasas, contactos, entre otros. Esta información se registró de

igual forma en la ficha de descripción de afloramientos *(ver anexo 1, ficha a)* y permitió corroborar la información observada en el análisis fotointerpretativo.

c) Finalmente, el resultado adquirido fue información cualitativa y cuantitativa de estructuras geológicas de la zona, el mismo que junto con la información obtenida en el primer objetivo sirvió de base para la elaboración del mapa geológico – estructural a escala 1:10 000; determinado en el tercer objetivo de esta investigación.

5.3.4 Metodologías para el tercer objetivo

Elaborar el mapa geológico – estructural de la zona Norte de la parroquia La Tingue a escala 1:10000.

a) En referencia a la *Guía para la Interpretación y Elaboración de Mapas Geológicos* de (Camargo, 2004), los *Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica* del (IIGE, 2019a) y considerando la información de campo y la topografía a escala 1:10 000 generada a partir de los MDT con resolución de 3m, se elaboró en un software GIS el primer borrador del mapa geológico – estructural de zona Norte de la parroquia La Tingue, a escala 1:10 000.

b) Posteriormente se corroboró la información del mapa para verificar que la información geológica – estructural sea correcta; para llevar a cabo este proceso se tomaron puntos de control especialmente en zonas de contactos y en función de la exposición litológica – estructural. El objeto del mismo fue confirmar que la información plasmada en el mapa sea lo que se visualiza en campo y cuando se presentaron algunas anomalías en algún determinado punto, se procedió a verificar e inmediatamente a corregir y/o añadir información en la ficha de descripción de afloramientos *(ver anexo 1, ficha a)* correspondiente al lugar en mención. Seguidamente en el primer borrador del mapa se corrigieron errores y/o se agregó información complementaria registrada en campo.

c) Se elaboraron cortes geológicos con la finalidad de conocer la disposición de las unidad geológicas en profundidad, por lo cual considerando el libro *Mapas Geológicos Explicación e Interpretación* de Martínez - Alvarez (1981) se trazaron dos perfiles topográficos con direcciones NW – SE para posteriormente usarlos de base y proyectar los valores geológicos tomados en campo.

d) Se obtuvo como resultado un mapa geológico – estructural final a escala 1:10 000, DATUM WGS84 UTM Zona 17S, formato A1 y con la siguiente información: unidades litológicas, estructuras geológicas, estratigrafía, cortes geológicos y contactos existentes.

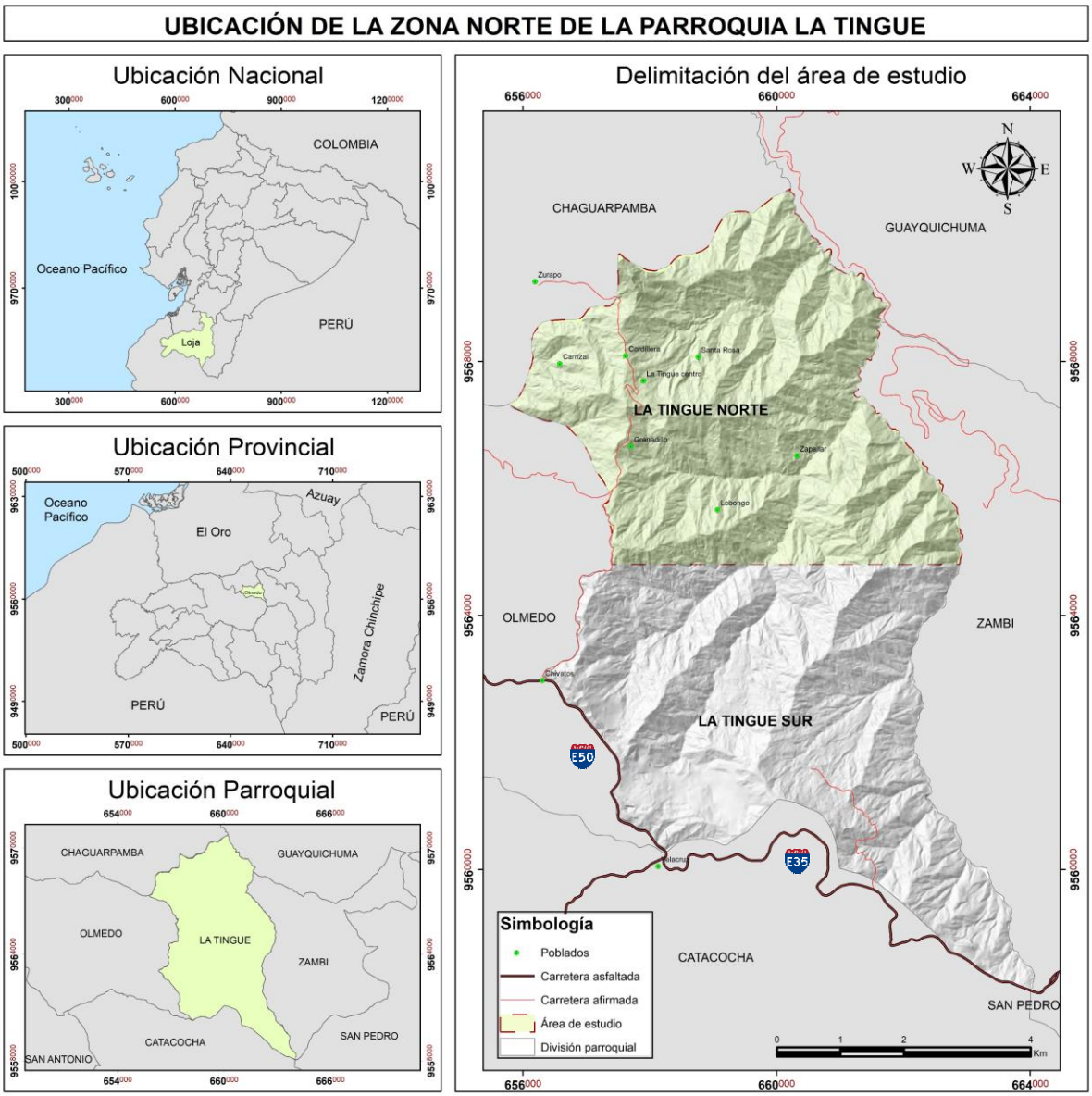
6. Resultados.

6.1 Descripción general del área de estudio

6.1.1 Ubicación

El área de estudio se localiza en la Región Sur del Ecuador, específicamente en la parroquia La Tingue; perteneciente al cantón Olmedo, provincia de Loja. Presenta una superficie de 51.48km^2 y políticamente limita con los siguientes sectores: al Norte con el cantón Chaguarpamba y la parroquia Guayquichuma, al Sur con el cantón Catacocha, al Este con la parroquia Zambi y al Oeste con la parroquia Olmedo *(ver figura 33).*

Figura 33. *Ubicación del área de estudio.*



Nota: Obtenido de (SENPLADES, 2013). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.1.2 Acceso

Para acceder por vía terrestre a la zona de estudio considerar como referencia de partida la ciudad de Loja y movilizarse 72.4 km a través del corredor arterial E35 por los sectores: Loja – Catamayo - San Pedro de la Bendita – Veracruz. Posteriormente por medio de la vía transversal sur (E50) trasladarse 4km hasta el barrio Chivatos. Finalmente, movilizarse por la vía de segundo orden "Chivatos - Zurapo" una distancia aproximada de 6km hasta el centro poblado de la parroquia La Tingue *(ver figuras 33 y 34).*

Figura 34. *Acceso terrestre a la zona de estudio.*

Nota: Obtenido de (BingMaps, 2022). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Por vía área movilizarse desde el Aeropuerto Internacional de Quito Mariscal Sucre hacia el Aeropuerto Ciudad de Catamayo de la provincia de Loja. Seguidamente continuar el recorrido por vía terrestre a través de las rutas E35 y E50 mencionadas anteriormente *(ver figura 34).*

6.2 Delimitación del área de estudio

Considerando la extensión de la parroquia La Tingue y en función a la escala 1:10 000, el levantamiento geológico – estructural se realizó en dos polígonos denominados: La Tingue Norte y La Tingue Sur *(ver figura 33).* El presente informe comprende la parte Norte de la parroquia, abarca una superficie de 25.74Km^2 y se conforma por los siguientes barrios: Carrizal, Cordillera, La Tingue Centro, Santa Rosa, Granadillo, Lobongo y Zapallar.

El polígono de la zona de estudio se encuentra localizado en las siguientes coordenadas con proyección UTM, Datum WGS84, Zona 17 Sur:

Tabla 12. *Ubicación del área de estudio.*

Punto	Longitud	Latitud
1	655777	9567332
2	657525	9569699
3	660219	9570718
4	661776	9568909
5	661222	9567488
6	662885	9564804
7	657399	9564804
8	657375	9565902

Nota: Elaborado por (El Autor, 2022).

6.3 Descripción biofísica del sector

6.3.1 Hidrografía

La parroquia La Tingue forma parte de la cuenca hidrográfica del río Puyango, presenta una superficie de 366255.10 ha, constituye parte de las provincias de El Oro y Loja y, a su vez, forma parte del sistema Puyango – Tumbes, una de las más importantes del pacífico suramericano (MAE, 2015).

Mediante un análisis de fotointerpretación y con una posterior corroboración en campo, la red hidrográfica de la zona Norte de la parroquia La Tingue se cataloga como un patrón de drenaje erosional de tipo detrítico - subparalelo; caracterizado por corrientes principales con una dirección oblicua a las secundarias que son paralelas entre sí *(ver anexo 3)*. Además, su categoría se debe al relieve montañoso de la zona, a las pendientes fuertemente inclinadas y a la mediana permeabilidad de su litología.

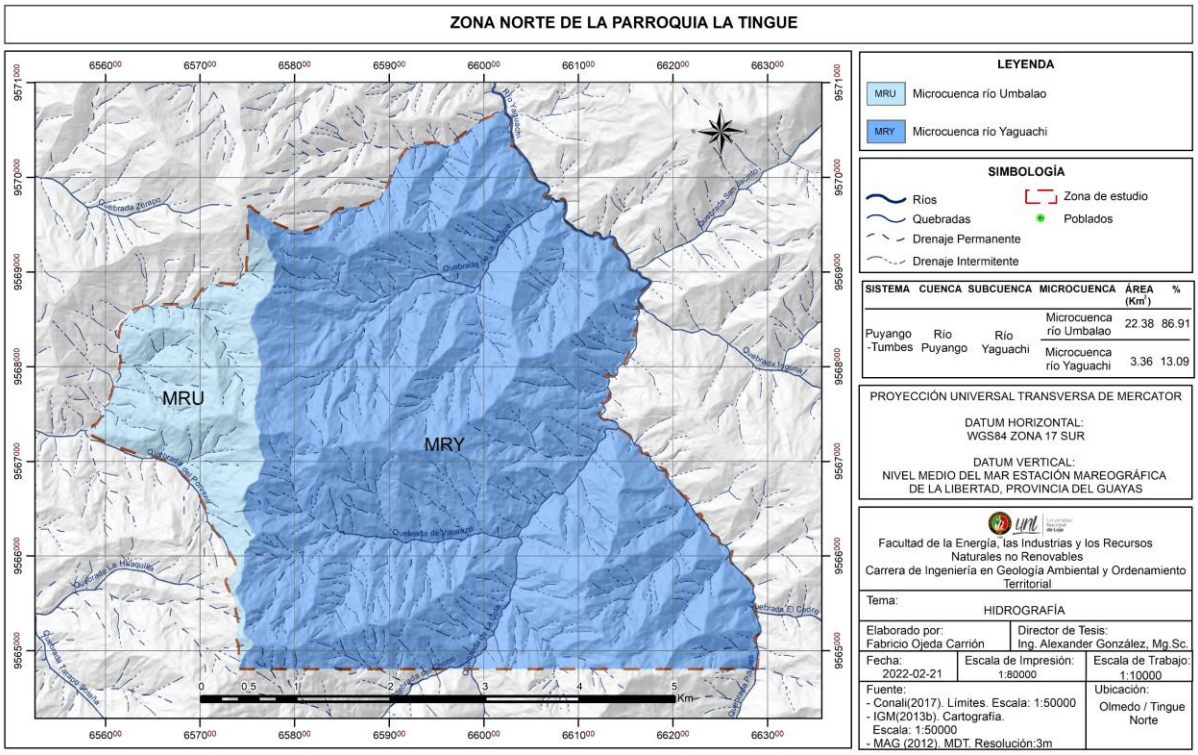
En este contexto, el área de estudio se encuentra conformada por dos microcuencas denominadas: río Yaguachi y río Umbalao. La microcuenca rio Yaguachi, se ubica al Este de la zona de estudio, abarca un 86.91% del territorio, sus afluentes presentan una dirección NW y se conforma por las siguientes quebradas: Q. El Chorro, Q de Valarezo, Q. de Cola, Q. Pillares y Q. de La Tingue. Por otra parte, la microcuenca rio Umbalao se ubica al Oeste de la zona de estudio, sus afluentes presentan un sentido NE, comprende un 13.09% del territorio y se conforma por las quebradas: Carrizal y Porvenir *(ver tabla 13) (ver figura 35)*.

Tabla 13. *Microcuencas de la Zona Norte de la Parroquia La Tingue.*

SISTEMA	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	ÁREA (Km^2)	PORCENTAJE (%)
Puyango - Tumbes	Río Puyango	Río Yaguachi	Rio Yaguachi	22.38	86.91
			Rio Umbalao	3.36	13.09
TOTAL				**25.74**	**100**

Nota: Obtenido de (IGM, 2013b). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Figura 35. *Hidrografía de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013b; MAG, 2012). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.3.2 Geomorfología

Según información procesada del (IGM, 2013a) a través de la cartografía temática del *Proyecto de Generación de Geoinformación a Escala 1:25 000 a Nivel Nacional*, la zona Norte de la Parroquia La Tingue presenta siete geoformas de relieve *(ver anexo 5)*, predominando relieves montañosos y relieves colinados muy alto, los cuales exteriorizan cimas agudas y están asociados a vertientes rectilíneas y cóncavas.

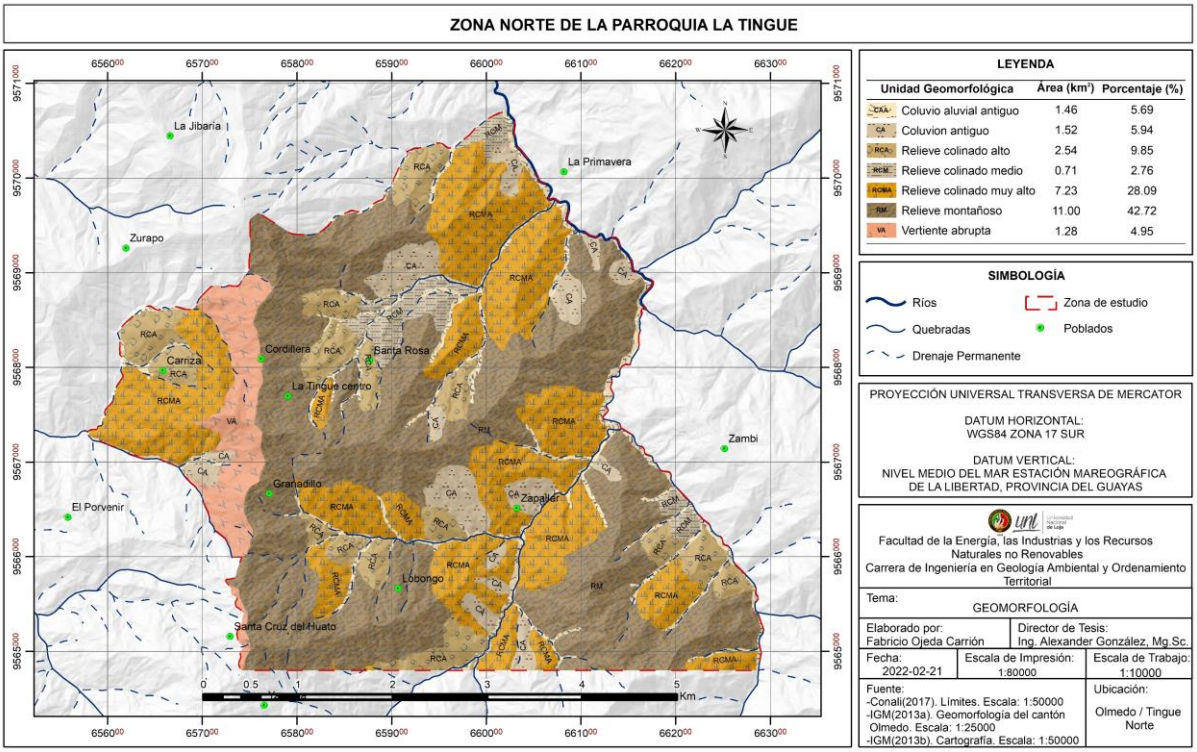
Por otra parte, presenta bajos porcentajes de: relieves colinados altos, coluvios antiguos, coluvios aluviales y vertientes abruptas; es decir: el 9.85%, 5.94%, 5.69% y 4.95% respectivamente *(ver tabla 14) (ver figura 36).*

Tabla 14. *Unidades Geomorfológicas de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*

DESCRIPCIÓN	ÁREA (Km^2)	PORCENTAJE (%)
Coluvio aluvial antiguo	1.46	5.69
Coluvio antiguo	1.52	5.94
Relieve colinado alto	2.54	9.85
Relieve colinado medio	0.71	2.76
Relieve colinado muy alto	7.23	28.09
Relieve montañoso	11.00	42.72
Vertiente abrupta	1.28	4.95
TOTAL	**25.74**	**100**

Nota: Obtenido de (IGM, 2013a). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Figura 36. *Geomorfología de la zona de Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013a, 2013b). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.3.3 Vegetación

En base a la cartografía temática del *Proyecto de Generación de Geoinformación a Escala 1:25000 a Nivel Nacional* del (IGM, 2013a), la zona Norte de la parroquia La Tingue presenta los siguientes 7 componentes productivos:

Tabla 15. *Vegetación de la zona Norte de parroquia La Tingue.*

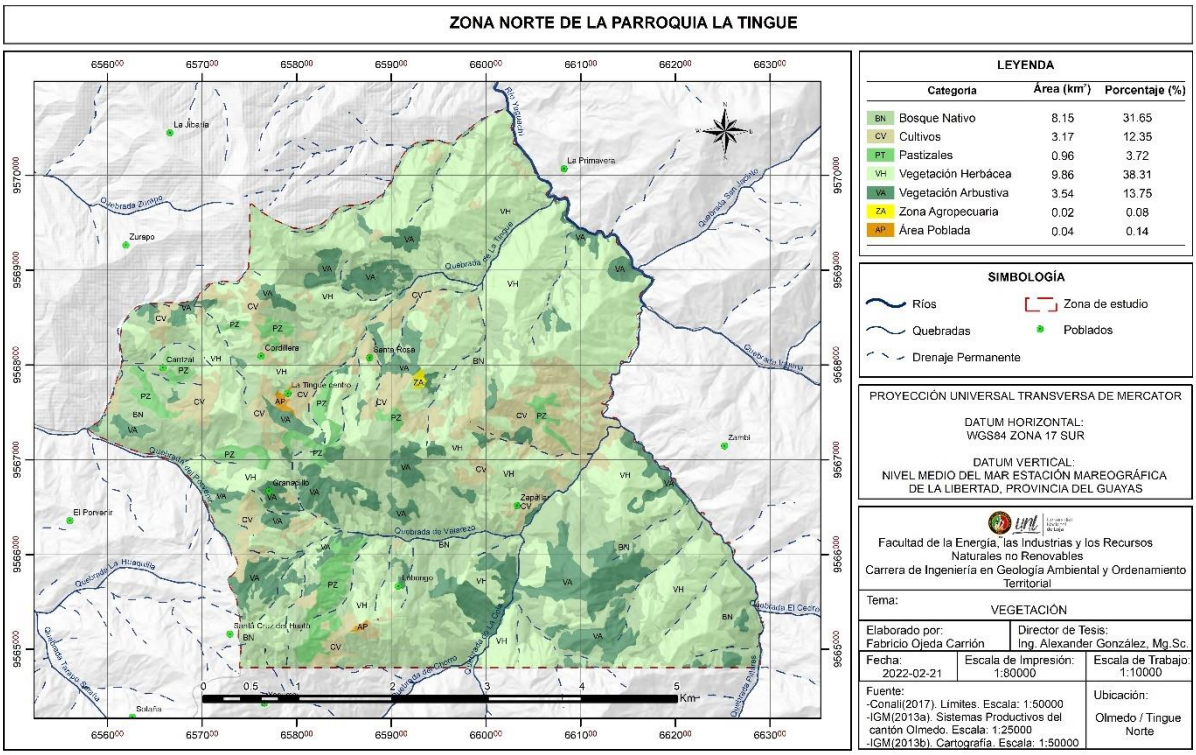
COMPONENTE PRODUCTIVO	ÁREA (km^2)	PORCENTAJE (%)
Bosque nativo	8.15	31.65
Cultivos	3.17	12.35
Pastizales	0.96	3.72
Vegetación herbácea	9.86	38.31
Vegetación arbustiva	3.54	13.75
Zona agropecuaria	0.02	0.08
Área poblada	0.04	0.14
TOTAL	**25.74**	**100**

Nota: Obtenido de (IGM, 2013a). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Es decir, en el área de trabajo predomina con un 38.31% una vegetación herbácea, caracterizada por carecer tallos leñosos; seguidamente con el 31.65% comprenden bosques nativos, de tipo: bosque seco – montano bajo y bosque seco premontano; el 13.75% abarca una vegetación arbustivas y un 12.35% cultivos, tales como: café, maní, leguminosas y productos frutales. Sin embargo, en bajos porcentajes: pastizales, zonas agropecuarias y áreas pobladas;

con un 3.72%, 0.14% y 0.08% respectivamente *(ver figura 37).*

Figura 37. *Vegetación de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013a, 2013b). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.3.4 Pendientes

Las pendientes del área de estudio fueron elaboradas en base al Modelo Digital de Terreno (MDT) de la parroquia La Tingue con resolución de 3m y proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de su programa SIGTIERRAS *(ver anexo 4).* Posteriormente, se generó las pendientes en grados por medio de un Sistema de Información Geográfica (GIS) y se categorizó utilizando de referencia la clasificación establecida por Demek (1972):

Tabla 16. *Categorías utilizadas en el mapa de pendientes.*

Categoría	Rango (°)
Ligeramente inclinado	0-5
Fuertemente inclinado	5-15
Muy inclinado	15-35
Empinado	35-55
Vertical	>55

Nota: Obtenido de (Demek, 1972).

Una vez procesada la información se obtuvo como resultado que la zona Norte de la parroquia La Tingue presenta un 64.60% de pendientes muy inclinadas y un 27.72% de pendientes empinadas; valores por los cuales corroboran la información presentada en el *Plan*

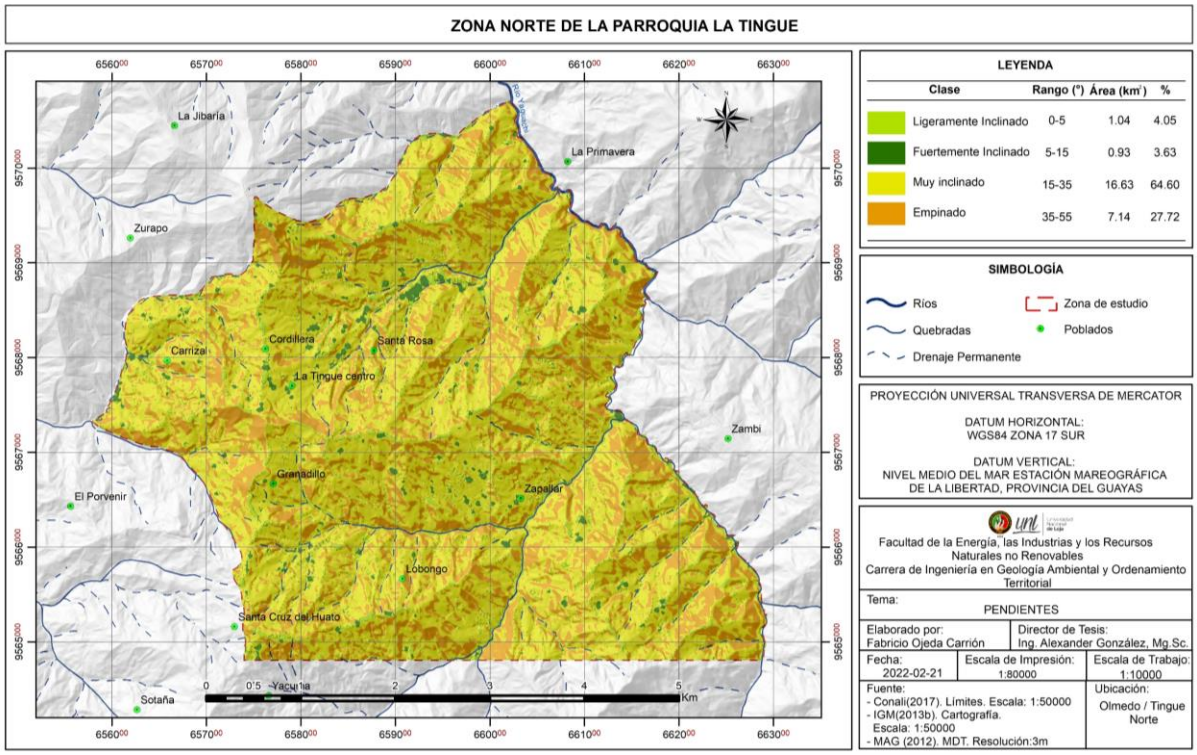
de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia La Tingue (2015-2019), debido a que indica una predominancia de relieves montañosos. No obstante, en menores porcentajes el sitio en estudio exterioriza un 4.05% de pendientes ligeramente inclinadas y un 3.63% de pendientes fuertemente inclinadas *(ver tabla 17) (ver figura 38).*

Tabla 17. *Pendientes de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*

Categoría	Rango (°)	Área (km^2)	Porcentaje (%)
Ligeramente inclinado	0-5	1.04	4.05
Fuertemente inclinado	5-15	0.93	3.63
Muy inclinado	15-35	16.63	64.60
Empinado	35-55	7.14	27.72
TOTAL		**25.74**	**100**

Nota: Obtenido de (MAG, 2012). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Figura 38. *Mapa de pendientes de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013b; MAG, 2012). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.3.5 Clima

Según información del *Mapa de Tipos de Climas del Ecuador*, elaborado por el INMAHI (2017) a escala 1:100 000, el área de trabajo presenta un clima subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca (Megatérmico o cálido) y un clima subhúmedo con pequeño déficit de agua (Mesotérmico templado frío) *(ver figura 39).*

El clima megatérmico o cálido presenta una temperatura media de 22°C, comprende aproximadamente el 55.87% de la zona de estudio y abarca la mayor cantidad de centros

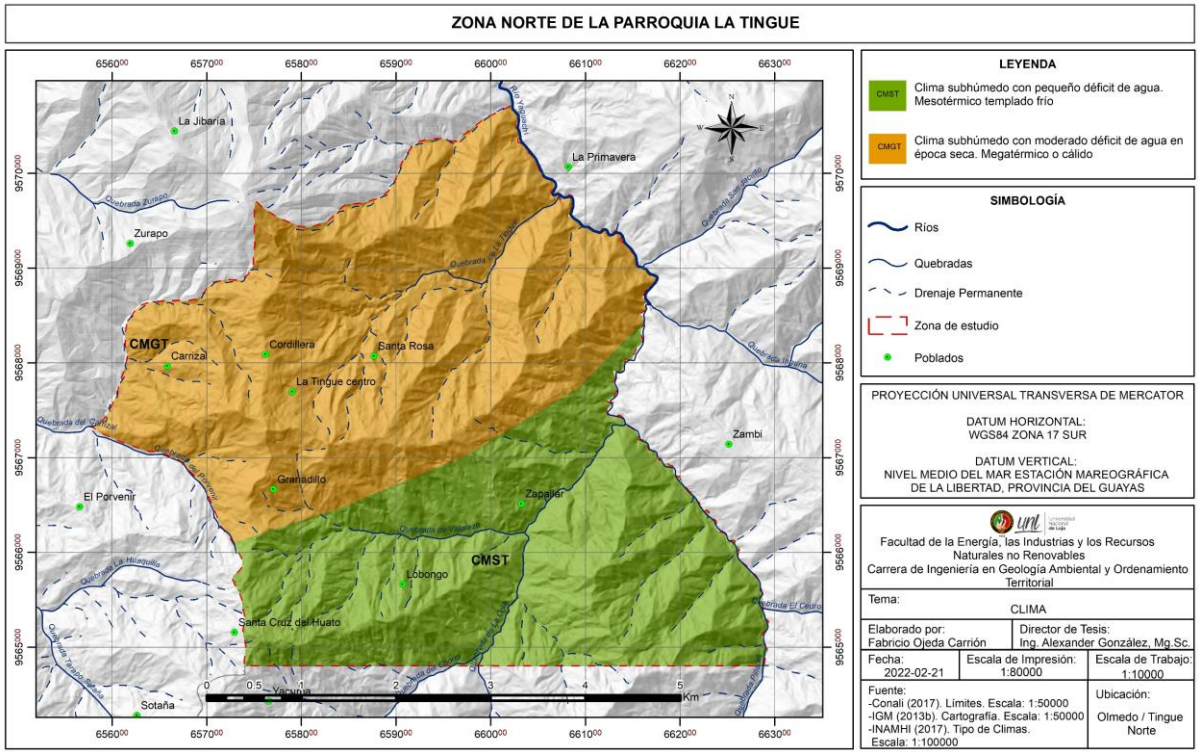
poblados del territorio. Por otra parte, el clima mesotérmico templado frío se caracteriza por una temperatura media de 12 a 22°C y por constituir aproximadamente el 44.13% de la zona de estudio *(ver tabla 18)* (Pourrut, 1983).

Tabla 18. *Tipo de clima de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*

TIPO DE CLIMA	PORCENTAJE (%)
Clima megatérmico o cálido	55.87
Clima mesotérmico templado frío	44.13
TOTAL	**100**

Nota: Obtenido de (INMAHI, 2017). Elaborado por: (El Autor, 2022).

Figura 39. *Climas de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013b; INMAHI, 2017). Elaborado por: (El Autor 2022).

6.4 Geología Regional

6.4.1 Estudios previos

La Parroquia La Tingue no dispone de estudios geológicos – estructurales a detalle, únicamente existe algunas investigaciones de la zona austral del Ecuador, las cuales se detallan a continuación:

Según Pilatasing et al. (2005) en el *Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas Ecuador - Perú - Canadá*, indican que los primeros indicios de la geología de la Región Sur del Ecuador están plasmados en mapas geológicos producidos desde

1892 (Wolf, T.) hasta el 2000 (CODIGEM-BGS), en escalas que varían desde 1:2.000.000 hasta 1:200.000.

En el año de 1980 se presentó una hoja geológica de Zaruma a escala 1:100.000 con información del levantamiento geológico realizado por J.B Kennerley en 1970, A. Zamora y R. Nicolde en 1979 – 1980 y por la supervisión geológica de la Misión Británica. Esta carta indica que en la zona de estudio se localizan dos formaciones: La Formación Zapotillo (KAzp), compuesta por lutita, intercalaciones de lava y toba andesítica y por la Formación Celica, conformada por andesitas, pórfidos andesíticos y tobas andesíticas (IIGE, 1980).

El año 2013 y constituyéndose como una de los estudios más recientes, el Ex Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM), actualmente denominado Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), publica el *Proyecto Modelo Piloto para la determinación del Potencial Geológico – Mineralógico de las Zona Zaruma y Cariamanga*, realizado por Pilatasig, Luis; Ibadango, Elías y Torres, Camilo. Este estudio se basó en la cartografía geológica regional de las hojas Cariamanga y Zaruma a escala 1:100.000 y en el análisis químico de roca total de las unidades volcánicas.

6.4.2 Cuenca Alamor – Punta de Piedra

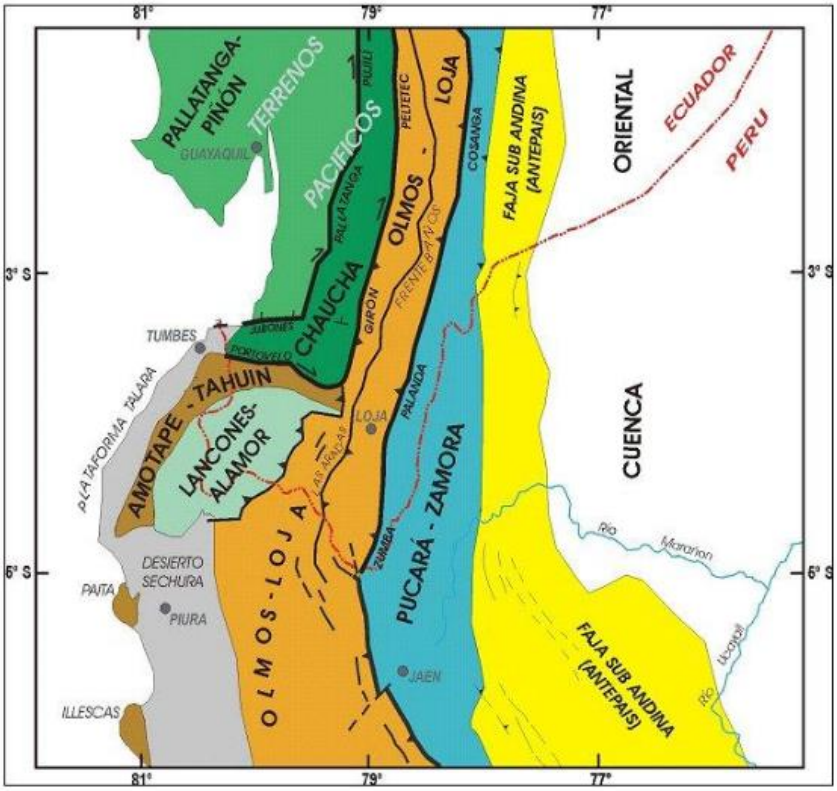
La Parroquia La Tingue se sitúa en los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador; es decir, en la cuenca cretácica Alamor – Punta de Piedra. Según Pilatasig et al. (2013), esta cuenca en Ecuador se encuentra hasta el sector Zambi y se localiza en la zona noroccidental de la Placa Sudamericana, emplazada en el extremo austral de la Región denominada Andes del Norte o Bloque Norandino, entre el Terreno Olmos - Loja[1] y el Macizo Amotape - Tahuín [2] *(ver figura 40).*

La cuenca se divide en dos zonas, la primera ubicada al Sur-Oriente abarcando la mayor parte de la misma, desde el río Pindo hasta el Perú constituyendo el Arco Volcánico Oceánico y conformado por una potente secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas asociadas con niveles sedimentarios. La segunda cuenca se localiza al Nor-Occidente abarcando un área reducida de la cuenca entre Guerras y el río Pindo, constituyendo la Cuenca Sedimentaria Continental, la misma que se conforma por rocas siliciclásticas depositadas sobre basamento metamórfico, en un ambiente continental - marino costero (Pilatasig et al., 2013).

1 **Terreno Olmos – Loja**, comprende las rocas y estructuras emplazadas dentro de la Cordillera Central o Real de Ecuador y Occidental de Perú (Pilatasig et al., 2005).

2 **Macizo Amotape – Tahuin**, comprende la faja metamórfica de las cordilleras de Amotape y Tahuín (Pilatasig et al., 2005).

Figura 40. *Esquema de los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador*.



Nota: Obtenido de (Pilatasing et al., 2005).

6.4.2.1 Arco Volcánico Oceánico

En el arco volcánico oceánico se localiza el área de estudio y según Pilatasig et al. (2013), esta zona presenta las siguientes características estratigráficas *(ver figura 41):*

Figura 41. *Columna estratigráfica de la zona volcánica oceánica*.

Nota: Obtenido de (Pilatasig et al., 2013).

Se establece como lo más antiguo rocas de origen intrusivo y volcánico de composición máfica, incluidas en la Unidad Punta de Piedra. Sobre esta unidad o interdigitadas lateralmente ocurren facies de rocas volcanoclásticas como hialoclastitas, tobas y lavas subordinadas, todas de composición basáltico-andesítica, incluidas en la Unidad Celica. De la misma forma, al Norte del batolito de Tangula existen rocas sedimentarias finogranulares bien estratificadas intercaladas dentro de la secuencia volcanoclástica incluida en la Unidad Bramaderos que en conjunto con las dos unidades anteriores constituyen la zona relacionada con el arco volcánico.

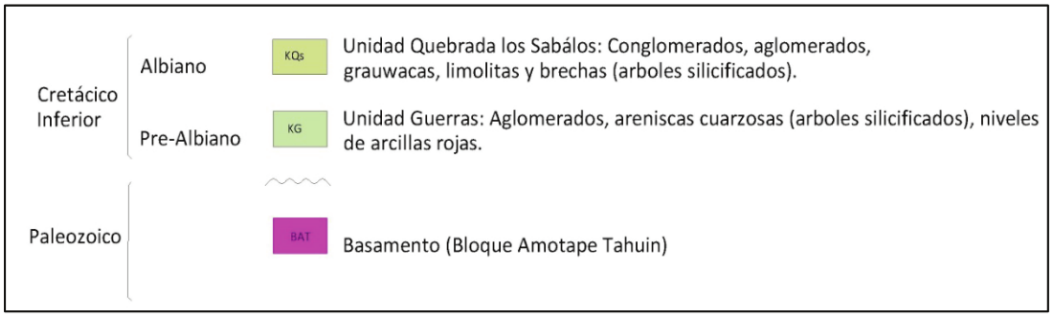
En sector Norte de esta zona volcánica ocurren rocas clásticas de grano grueso, estratificadas, con componentes volcánicos (líticos de basaltos, cristales de plagioclasa y piroxeno) incluidas en la Unidad Chaguarpamba.

En el sector central, con discordancia angular sobre la Unidad Celica ocurre una secuencia mayormente sedimentaria denominada Unidad Ciano, constituida mayormente de lutitas y limolitas negras bien estratificadas, dispuestas en capas centimétricas. La edad de esta secuencia se establece como Campaniano. De igual forma, sobreyaciendo discordantemente a las secuencias volcánicas y volcanoclásticas, Celica y Bramaderos; ocurren las Unidades Yunguilla, Naranjo y Casanga, formando parte de una cuenca marina de edad Campaniano Medio - Maastrichtiano Temprano denominada Paita-Yunguilla.

6.4.2.2 Cuenca Sedimentaria continental

Esta cuenca sedimentaria según (Pilatasig et al., 2013), exhibe las siguientes características estratigráficas:

Figura 42. *Columna estratigráfica de la región sedimentaria continental*.



Nota: Obtenido de (Pilatasig et al., 2013).

Presenta dos secuencias de rocas constituidas por facies de origen sedimentario con aporte mayormente de materiales de origen continental. La primera secuencia denominada como Unidad Guerras y constituido de rocas de grano grueso, mayormente areniscas y conglomerados ricos en clastos de cuarzo, intercalados con niveles de grawacas y limolitas negras. La segunda

secuencia denominada Unidad Quebrada los Sábalos (Sector Puyango) se conforma areniscas cuarzosas con parches rojizos, incluyendo niveles de grawacas y aglomerados volcánicos *(ver figura 42).*

6.4.3 Unidades geológicas

Según información recopilada del IGM, específicamente de hoja geológica de Zaruma a escala 1:100 000 y del año 2013, la zona de estudio se encuentra conformada por las siguientes formaciones geológicas *(ver figura 43):*

- **Unidad Zambi (KZ – Cretácico Superior)**

Forma una faja de dirección NO-SE. Consiste en filitas, pizarras y areniscas gris oscuras intensamente deformadas. Las filitas y pizarras están dispuestas en capas laminadas, incluyen niveles afectados por intenso clivaje pizarroso, presentan texturas lepidoblástica con granos de cuarzo con extinción ondulada y esporádica muscovita, en matriz con abundante mica de grano fino, arcilla, además de sílice y opacos como minerales secundarios. Las areniscas de grano fino a grueso, dispuestas en capas centimétricas, contienen fenocristales rotos de plagioclasa (++), granos de cuarzo (-) y pequeños líticos de metaareniscas cuarzosas, en matriz pelítica, incluyen sericita débilmente orientaba (+), calcita y opacos como minerales secundarios. En el NE la secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Chaguarpamba, mientras al O el contacto con las Unidades Celica y Bramaderos es tectónico (IIGE, 2013).

- **Unidad Chaguarpamba (KCh – Cretácico Superior)**

La secuencia consiste de rocas de color verde, grano fino a medio, generalmente estratificadas, incluyen tobas arenosas, aglomerados finos y lentes subordinados de lutitas y limolitas, constituidas por materiales mayormente de origen volcanosedimentario. Las tocas arenosas con alineación de minerales, están constituidos por líticos oscuros de grano fino y granos de cuarzo, soportados en una matriz limosa. Los aglomerados están constituidos por clastos centimétricos de rocas de origen volcánico, soportados en escasa matriz limo-arenosa. Las lutitas y limolitas de color gris y negro, ocurren en capas métricas a decamétricas concordante a las facies gruesas, constituyendo las facies marinas más profundas de la cuenca. La relación con la Unidad Celica no está establecida, pero se interpreta como discordante por la presencia de ventanas erosionales de rocas volcanoclásticas de grano grueso al E de Chaguarpamba. El contacto con la Unidad Ciano es tectónico, marcado por la presencia de franjas de rocas variablemente afectadas por clivajes pizarroso y de fractura (IIGE, 2013).

- **Unidad Ciano (KCn – Cretácico Superior)**

Consiste en capas bien estratificadas de lutitas, limolitas, arcillolitas y areniscas. Las lutitas, limolitas y arcillolitas son de color verde y negro, ocurren en capas centimétricas, finalmente laminadas, contienen mayormente granos de plagioclasa y esporádico granos de cuarzo, además de esporádicos líticos volcánicos, clorita, epidota, circón y minerales opacos. Las areniscas son de color verde, grano fino a medio, contienen mayormente líticos de origen volcánico, además de granos de plagioclasa alterada, cuarzo, sericita, granos de cuarzo microgranular y arcillas. En Cangonamá las areniscas, limolitas y lutitas constituyen secuencias rítmicas de color gris verdoso a negro, silicificadas y con parches de oxidación. En las quebradas Zamanga y Shoa,y en La Chorrera, El Limón y La Florida, las areniscas son de color negro, grano medio, recristalizadas y ocurren intercaladas con capas centimétricas de limolitas. La secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Bramaderos, mientras el contacto con las Unidades El Tigre y Chaguarpamba es tectónico (IIGE, 2013).

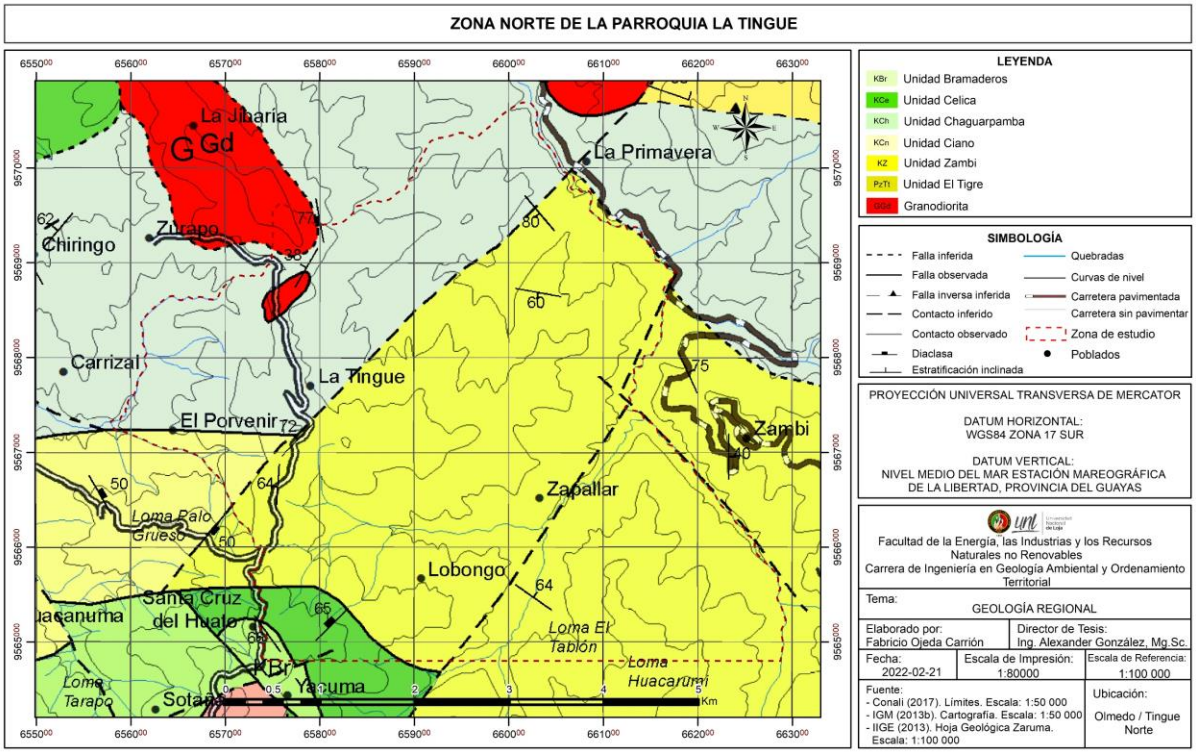
- **Unidad Celica (KCe – Cretácico Inferior)**

Se define como una secuencia volcanoclástica proximal de grano medio a grueso intercalada con mantos de rocas volcánicas, que forman varios cuerpos alargados de diferente magnitud. Las rocas volcanoclásticas incluyen hialoclastitas, tocas de cristales y microbrechas, mientras que las rocas volcánicas incluyen predominantemente lavas. Las hialoclastitas son gris verdosas, grano fino y textura piroclásticas, con líticos volcánicos en matriz con piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico. Las tobas de cristales son gris verodosas, grano medio y textura piroclástica, contienen líticos volcánicos en matriz compuesta de piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico. Las microbrechas son gris – verdosas, grano medio, textura brechosa, contienen fragmentos de composición básica a intermedia con textura traquítica en matriz constituida por microlitos de plagioclasa y fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno. Las lavas gris verdosas, masivas, grano fino, textura holocristalina, inequigranular y traquítica, contienen plagioclasa y clinopiroxeno, tienden a ser andesita basáltica. Como minerales de alteración ocurre clorita, epidota, cuarzo, calcita y minerales opacos en la matriz como en los líticos. Prehnita ocurre mayormente en la matriz y relacionada a la alteración de plagioclasa. Geoquímicamente, las rocas básicas del sector de Chivatos tienden a ser andesitas basálticas o basaltos, relacionados con toleítas de arco de islas. El contacto con las Unidades Bramaderos y Chaguarpamba es concordante, mientras el contacto con la Unidad Ciano al S de Orianga es discordante, aunque al N y S del sector Venados el contacto es tectónico (IIGE, 2013).

- **Unidad Bramaderos (KBr – Cretácico Superior)**

Constituye una secuencia volcanoclástica de color gris verdosa, finogranular, bien estratificada. Contiene aglomerados volcánicos de granulometría variable, fuertemente meteorizadas y subordinadas tobas de cristales medianamente meteorizadas. Los aglomerados constituidos por líticos de composición básica a intermedia de color gris, rojizo y verde, soportados en matriz arenosa tobácea, en lámina delgada presentan textura piroclástica, contienen mayormente líticos volcánicos de composición básica a intermedia, además de fenocristales rotos de plagioclasa y clinopiroxeno como parte de la matriz. Las tobas de cristales de grano grueso, constituidas por líticos de composición básica a intermedia, soportados en una matriz limo-arenosa (IIGE, 2013).

Figura 43. *Mapa de geología regional de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Obtenido de (CONALI, 2017; IGM, 2013b; IIGE, 2013). Elaborado por: (El Autor, 2022).

6.5 Geología Local

La caracterización litoestratigráfica de la zona Norte de la parroquia Tingue se desarrolló con el propósito de redefinir las unidades litológicas establecidas en la Hoja Geológica de Zaruma del año 2013 y para proporcionar interpretaciones geológicas nuevas que sirvan de base para la comprensión del comportamiento geológico del sector.

La presente investigación se efectuó en base al método de mapeo por afloramientos, en el

cual se caracterizó 275 afloramientos y 10 puntos de control *(ver anexo 6 y 7)* para la corroboración de contactos litológicos definidos en el primer borrador del mapa geológico – estructural local; además de un minucioso análisis macroscópico de las principales muestras recolectadas de rocas que consolidan la información observada en campo *(ver anexo 9).*

Por lo tanto, una vez ejecutados estos dos análisis se describe a continuación las características litológicas de cada unidad mapeable:

6.5.1 Unidad Celica (KCe)

La Unidad Celica (Cretácico Inferior) aflora en el extremo Sur - Occidental de la zona estudio, se extiende considerablemente en dirección NE, comprende una superficie de 2.28km^2; equivalente al 8.84% del territorio estudiado y se constituye por una secuencia de: andesitas porfiríticas, andesitas basálticas y tobas volcánicas.

- ***Andesitas porfiríticas***

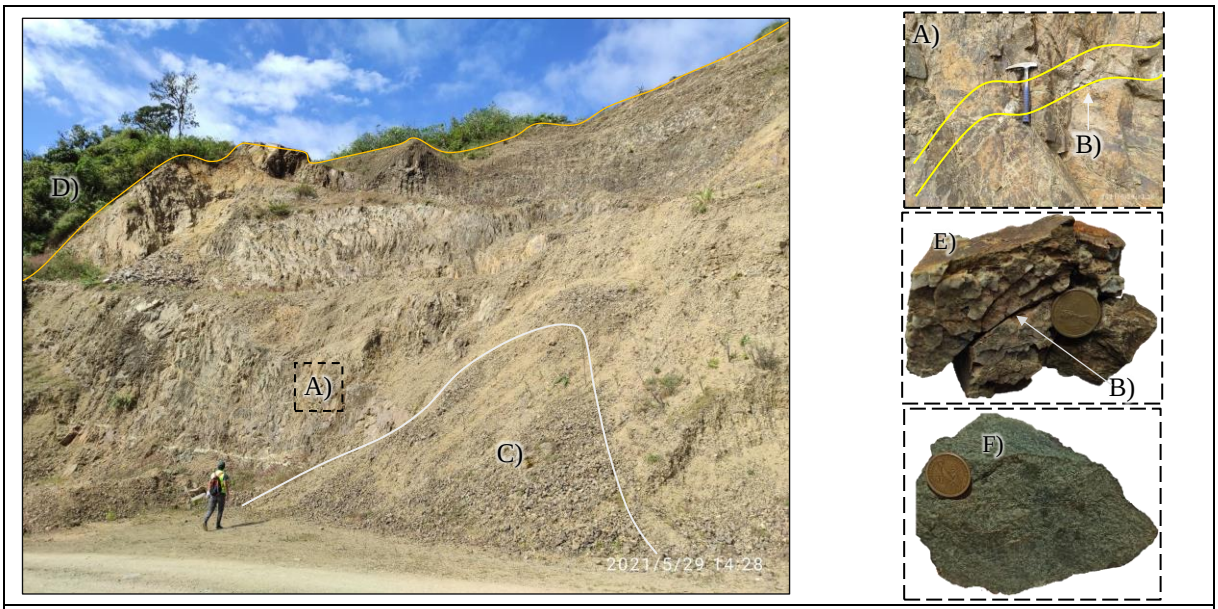
Esta litología se presenta en una pequeña superficie en el extremo SW del área de trabajo, aflora en el barrio Granadillo (próximo a la escuela Samuel Valdiviezo), se extiende con dirección al Este por la vía de tercer orden que conduce desde el barrio Granadillo al barrio Lobongo (UTM: 657391E, 9565222N; 657442E, 9565393N; 658142E, 9565421N) y subyace discordantemente a las tobas cristalinas de la misma unidad litológica.

Con respecto a sus características, este material de tipo volcánico presenta una textura porfirítica - hipocristalina, compactas y aproximadamente con la siguiente mineralogía: 50% de plagioclasa rica en sodio y calcio (andesina), 10% de hornblenda, 10% piroxeno, 10% anfibol y 20% de minerales secundarios: cuarzo y feldespato potásico. Su origen se asocia a fenómenos de subducción y por flujos o coladas de lavas que solidificaron en superficie. Además, su coloración verdosa se asocia con alteraciones hidrotermales de tipo propilítica.

En la figura 44 se puede apreciar un afloramiento antrópico de andesitas porfiríticas de 60m de alto, 10.20m de ancho y localizado en la vía secundaria que enlazan los barrios Santa Cruz del Huato - Granadillo, antes de llegar a la Y de Lobongo (UTM: 657464E; 9565288N) (AF-006). En base a la muestra de mano (LGE_{NT}-FO-002), se estableció un 20% de fenocristales claros - rectangulares (plagioclasas) y oscuros – alargados (anfíboles) y por un 80% de matriz con composición similar a los fenocristales, exhibe una coloración verdosa (composición de piroxeno y hornblenda), una estructura masiva, granulometría de tamaño heterogéneo y cristales euhedrales, un alto grado de meteorización en superficie y con fragmentos rellenos de

hidróxido de hierro (limonita) y SiO_2 (cuarzo amorfo).

Figura 44. *Afloramiento de andesita porfirítica.*



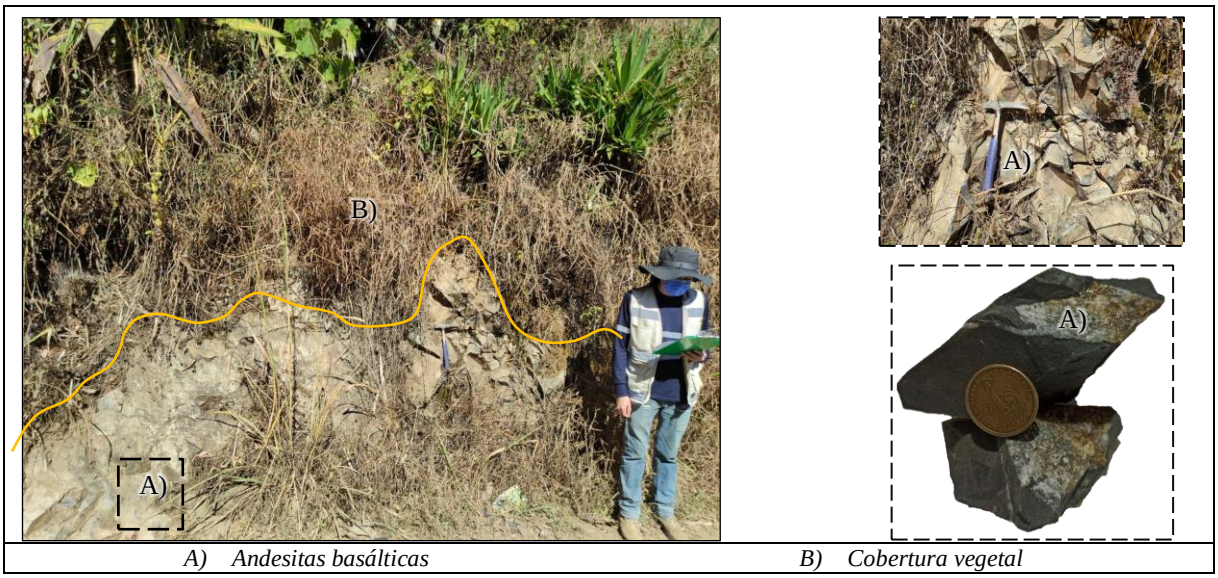
A) Andesitas meteorizadas B) Vetilla de cuarzo C) Material residual D) Cobertura vegetal
E) Muestra de andesita meteorizada F) Muestra fresca de andesita

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

- ***Andesitas basálticas***

Se visualiza otro tipo de roca volcánica con características propias de una andesita basáltica; es decir, coloración grisácea debido a la presencia de minerales ferromagnesianos (olivino, piroxeno, anfiboles y plagioclasa rica en calcio) pero con feldespatos potásicos con composiciones químicas típicas de las andesitas. En otras palabras, una roca casi de composición máfica (muestra de mano LGE_{NT}-FO-006).

Figura 45. *Afloramiento de andesita basáltica.*



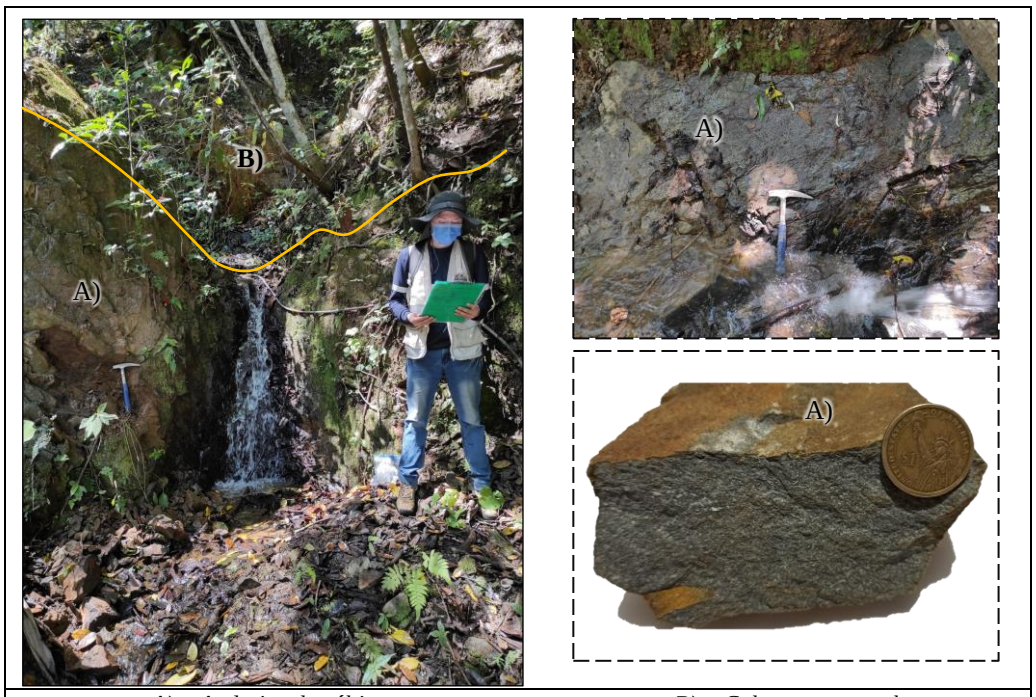
A) Andesitas basálticas B) Cobertura vegetal

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Las andesitas basálticas afloran al Norte del barrio Granadillo (UTM: 657800E, 9567172N) y se extienden al NE (UTM: 658169E, 9567332N) y NW (UTM: 657086E; 9567126N) del barrio Tingue Centro. Una representación del mismo se puede visualizar en la figura 45, el cual es un afloramiento antrópico ubicado en la vía de tercer orden que enlaza los barrios Tingue Centro - Santa Rosa (UTM: 658040E, 9567426N) (AF-136), presenta 3.40m de alto y 11m de ancho, se caracteriza por ser un tipo de roca ígnea volcánica, de coloración gris, textura afanítica - hipocristalina, estructura masiva, granos finos (<1mm), cristales anhedrales, compuesta por minerales ferromagnesianos, medianamente meteorizada y con fracturas rellenas de SiO_2 y sulfuros (pirita diseminada).

Por otra parte, en los tributarios de la quebrada Carrizal, se puede visualizar ejemplares iguales a este tipo de litología (UTM: 656842E, 9567280N; 656949E, 9568055N) pero con la presencia adicional de dendritas de manganeso (manganito). Se puede deducir que este material volcánico subyace discordantemente a las tobas arenosas (Unidad Chaguarpamba), debido a que afloran a una altitud aproximada de 1400 m.s.n.m. con respecto a las andesitas basálticas que se extienden aproximadamente a los 1000 m.s.n.m; es decir, con un desnivel de +/- 400m. En este contexto, la razón de visualizar porciones de andesitas basálticas cerca del poblado Tingue Centro puede fundamentarse por antiguas fallas inversas que con el tiempo producto de la erosión quedo aislado en la superficie (Kipple) *(ver apartado de geología estructural)*.

Figura 46. *Afloramiento de andesita basáltica en los tributarios de la quebrada Carrizal.*



A) Andesitas basálticas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Una representación de la información descrita se visualiza en la figura 46; es decir, un afloramiento natural de andesitas basálticas localizado en un afluente de la quebrada Carrizal (UTM: 656842E, 9567820N) (AF-108) y con las siguientes características: diaclasas preferenciales al SW; presencia de vetillas de cuarzo y sulfuros; la roca exhibe una textura porfirítica, de granos finos (<1mm) e irregulares; compuesta mineralógicamente por piroxeno, plagioclasa rica en calcio, anfibol y feldespato potásico (mineral accesorio); grado de meteorización baja y se presenta muy compacta (muestra de mano LGE_{NT}-FO-010).

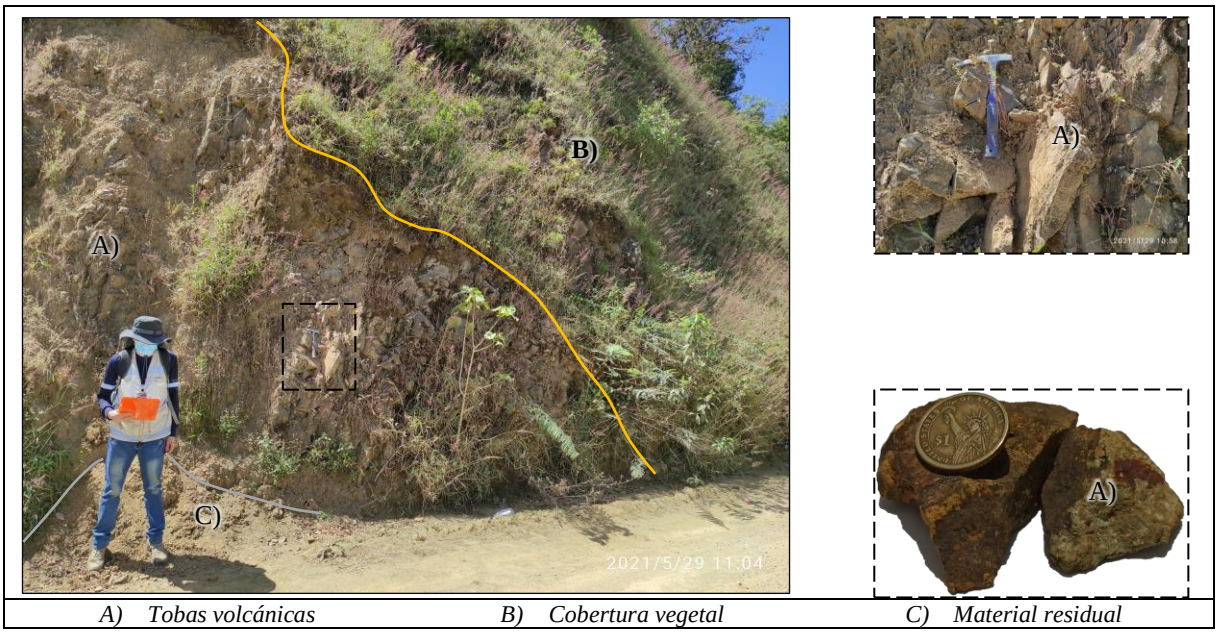
- ***Tobas volcánicas***

Las tobas volcánicas se presentan consolidadas y suprayaciendo discordantemente a las andesitas porfiríticas, afloran en el extremo SW de la zona de estudio (UTM: 657432E, 9565010N; 657507E, 9566124N) y en la vía de segundo orden que enlazan los barrios Granadillo – Lobongo (UTM: 657499E, 9565985N; 658321E, 9565205N).

Tomando en consideración la *Clasificación y Términos de Piroclastos* de Castro Dorado (2015), este tipo de roca se caracteriza por una composición de >75% de material piroclástico, presenta una consolidación de ceniza gruesa (2 - 1/16 mm), se encuentra soportadas en una matriz limo - arenosa y su ambiente de formación se asocia por el depósito en masa a gran distancia durante una determinada actividad volcánica. Este material al manifestar generalmente coloraciones claras, se deduce que está relacionado a un magmatismo ácido a intermedio; es decir, se compone aproximadamente por un 50 a 55% de SiO_2 y por la coexistencia de minerales, tales como: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, anfibol, moscovita y biotita. Por otra parte, según el diagrama de Schmid (1981) este material piroclástico se puede clasificar como una toba cristalina (toba de cristales), debido a que presenta una composición principalmente cristalina (augita, sanidina y cuarzo) y con menores porcentajes de líticos y vidrio.

En este sentido, en la figura 47 se plasma un afloramiento antrópico de 10m de alto, 6m de ancho y ubicado en la vía que une los barrios Santa Cruz del Huato – Granadillo (UTM: 657384E, 9565134N) (AF-003). La muestra de mano (LGE_{NT}-FO-001) correspondiente a este material piroclástico, exhibe las siguientes características: coloración amarillenta, medianamente meteorizadas, ligeras, de textura porfirítica (5% de fenocristales y 95% de matriz limosa), granulometría media (1 – 5 mm) y de forma irregular, mineralógicamente se compone por elementos volcánicos y se visualiza una ligera afectación de metamorfismo debido al clivaje que se observa.

Figura 47. *Afloramiento de tobas volcánicas.*



A) Tobas volcánicas *B) Cobertura vegetal* *C) Material residual*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.5.2 Unidad Chaguarpamba (KCh)

La Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior) se visualiza al Norte de la parroquia La Tingue, se extiende de NE - SW, presenta una superficie de 5.73 km^2, equivalente al 22.25% del territorio estudiado y se compone por una secuencia de materiales volcanoclásticos: tobas arenosas, aglomerados volcánicos y limolitas tobáceas.

- ***Tobas arenosas***

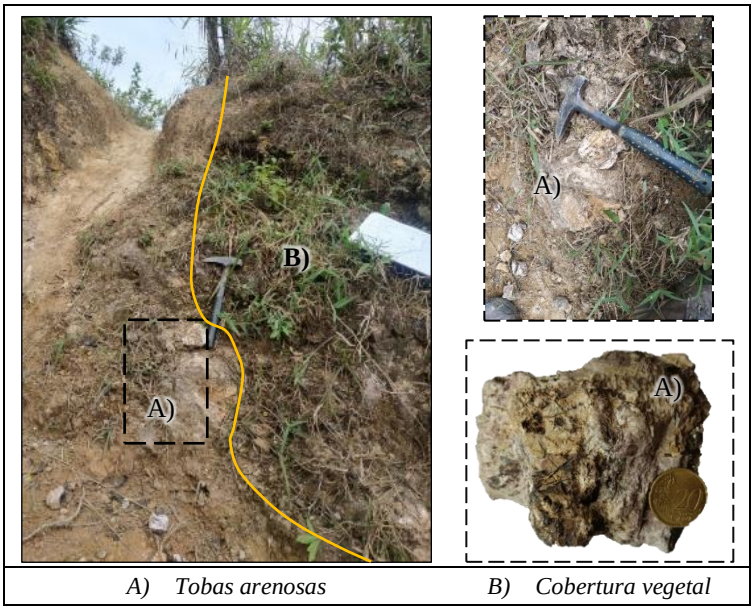
Esta litología se encuentra expuesta a lo largo del extremo Nor-Occidental de la zona de estudio; es decir, se localiza en algunos puntos de los barrios Carrizal, Cordillera, Porvenir y Santa Rosa. Los principales afloramientos se caracterizaron en la vía de tercer orden que conecta el barrio Tingue Centro con la escuela Zarumilla (Barrio Carrizal) (UTM: 657003E, 9567583N; 656623E, 9567622N) y por medio de caminos de herradura que conducen a quebradas o predios privados de los barrios antes mencionados (UTM: 657092E, 9568194N; 657537E, 9568869N; 659306E, 9568010N).

Según la *Clasificación para Rocas Piroclásticas* de (Castro Dorado, 2015) este tipo de roca se cataloga como una toba arenosa, debido a que se conforma entre el 25% al 75% de materiales piroclásticos del total de la roca producto de la acumulación y posterior consolidación de cenizas volcánicas gruesas (2 – 1/16 mm). Por lo tanto, esta roca de tipo piroclástica – epiclástica (muestras de mano: LGE_{NT}-FO-008, LGE_{NT}-FO-009, LGE_{NT}-FO-013) presenta las siguientes características: se compone mineralógicamente por SiO_2 (cuarzo),

feldespatos, biotita y por minerales accesorios (vidrio volcánico); se disgrega con gran facilidad (muy terrosas); livianas; de coloraciones claras producto de un magmatismo ácido o intermedio; soportadas en una matriz limosa y se presenta en contacto suprayacente discordante con respecto a las andesitas basálticas de la Unidad Celica descrita previamente.

Un ejemplar de esta litología se puede visualizar en la figura 48; caracterizándolo como un pequeño afloramiento antrópico ubicado a lo largo de todo el camino de herradura en dirección al barrio Carrizal partiendo desde el barrio Cordillera (UTM: 656933E; 9568436N) (AF-087). En este sector y en sus alrededores se logra describir esta litología de coloración blanco – amarillento, con textura porfirítica, estructura masiva, granos irregulares de tamaño de fino a medio, un 25% de fenocristales y un 75% de matriz limosa, presenta un alto grado de meteorización, muy livianas, presencia de poros y cavidades con oxidaciones de color marrón oscuro.

Figura 48. *Afloramiento de tobas arenosas.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

- ***Aglomerados volcánicos***

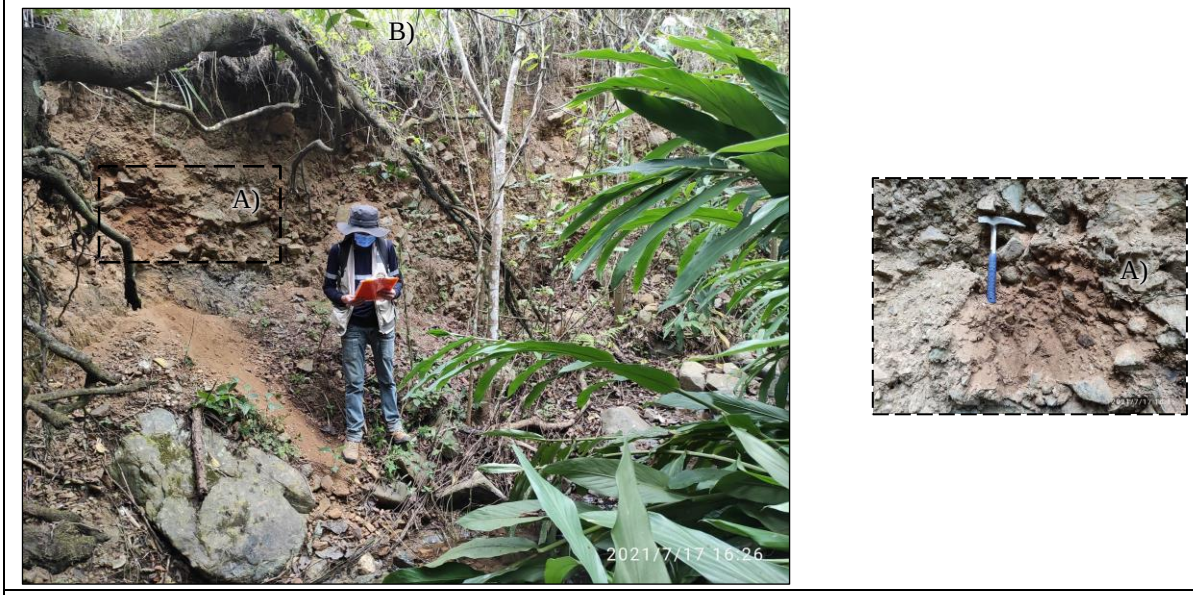
Esta litología asociada a la expulsión de flujos de lavas durante una actividad volcánica se extiende en una pequeña superficie al Norte de la parroquia; es decir, en las zonas cercanas a los tributarios de la quebrada La Tingue situadas en el barrio Santa Rosa (UTM: 658968E, 9569144N; 658723E, 9568563N) y subyaciendo discordantemente a las tobas arenosas de la misma unidad geológica.

Los aglomerados volcánicos se manifiestan medianamente meteorizados y se constituyen

por >75% de materiales piroclásticos (bombas y bloques volcánicos), se disponen en trozos o clastos redondeados, angulares, con un orden no establecido y con un diámetro promedio de >64mm. Por otra parte, los líticos que conforman este material piroclástico se constituyen por materiales volcánicos, con una composición química básica a intermedia, una coloración grisácea - rojiza y se encuentran soportados por una matriz de composición arenosa - tobácea.

En este contexto, la información previamente descrita se puede verificar en la figura 49, el cual hace referencia a un afloramiento natural de 2.50m de alto, 5.30m de ancho y ubicado cercanamente a un tributario de la quebrada La Tingue del barrio Santa Rosa (UTM: 659198E; 9568615N) (AF-227). Se conforma por clastos redondeados y angulares de origen volcánico; se encuentran soportados en una matriz arenosa – tobácea y los líticos se constituyen por rocas volcánicas (andesitas basálticas), con una coloración gris – verdosa, textura porfirítica (10% de fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno y 90% de matriz arenosa - tobácea), estructura masiva, granulometría irregular, con una baja alteración y con presencia de dendritas de manganeso (manganito).

Figura 49. *Afloramiento de aglomerado volcánico.*



A) Aglomerado volcánico *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

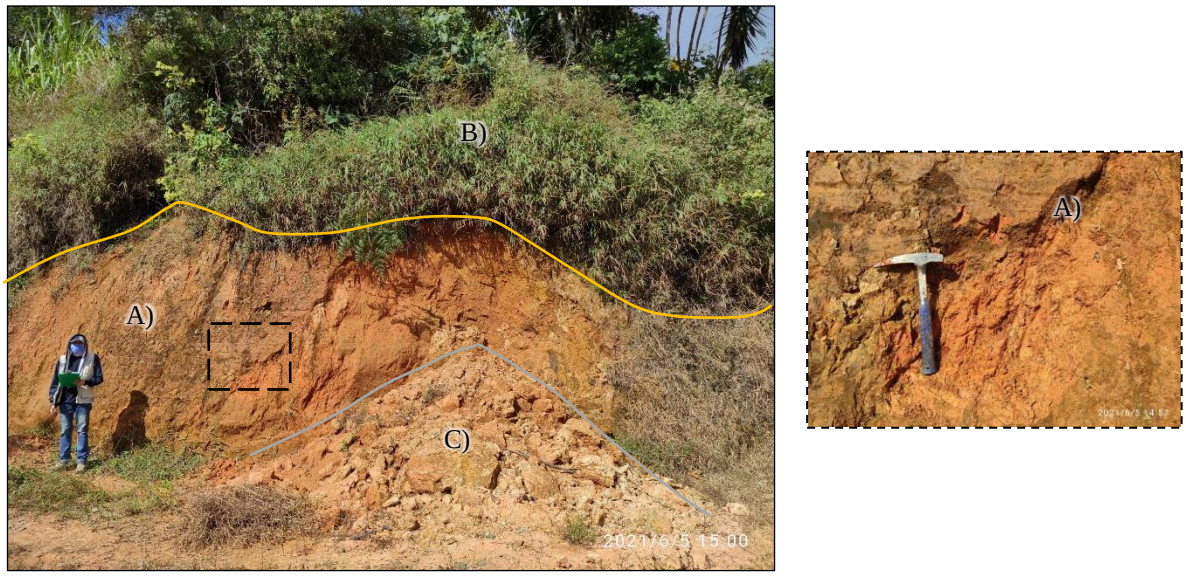
- ***Limolita tobácea***

Las limolitas tobáceas se aprecian en la zonas de mayor altitud de la Unidad Chaguarpamba, se caracterizan por estar constituidas por al menos un 25% de piroclastos, un diámetro promedio de clastos de 1/16 – 1/256 mm, exterioriza una porosidad poco significativa, carece de fisibilidad, al exhibir una coloración amarillenta presenta una composición ferrihidrita y ocupa

una pequeña extensión en el terreno a diferencia de las tobas arenosas localizadas en considerables superficies. Esta roca piroclástica - epiclástica se visualiza principalmente en los alrededores de la vía que conectan los barrios Tingue Centro – Cordillera (UTM: 657753E, 9567864N; 657626E, 9568822; 657189E; 9567953N) y en la ruta que enlaza los poblados Tingue Centro - Carrizal (UTM: 657673E, 9567562N; 657122E, 9567563N; 657003E, 9567583N; 656623E, 9567622N). Con relación a la altitud de los afloramientos, se interpreta que las limolitas tobáceas sobreyacen discordantemente a las tobas arenosa y su origen se remonta a la expulsión de materiales piroclásticos que con el tiempo fueron transportados y alterados por un medio sedimentario fluvial o lacustre.

En este ámbito, en la figura 50 se representa este sedimento tobáceo en un afloramiento antrópico localizado en la vía que conectan los barrios Tingue Centro – Cordillera (UTM: 657513E; 9568533N) (AF-047) y con las siguientes características: dimensiones de 2m de alto y 4m de ancho; tonalidad amarilla – rojiza; textura detrítica, granulometría fina (1/16 – 1/256 mm) y angulosa, áspera al tacto, alta meteorización; sorteo regular; matriz arcillosa con cemento ferruginoso y mineralógicamente constituido por: cuarzo, feldespatos, minerales limosos, vidrio volcánico, óxidos de hierro (hematita y ferrihidrita) y minerales accesorios (sericita, circón, augita y biotita).

Figura 50. *Afloramiento de limolitas tobáceas.*



A) Limolitas tobáceas *B) Cobertura vegetal* *C) Material residual*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.5.3 Unidad Ciano (KCn)

La Unidad Ciano (Cretácico Superior) se expone de forma lateral al Occidente de la zona

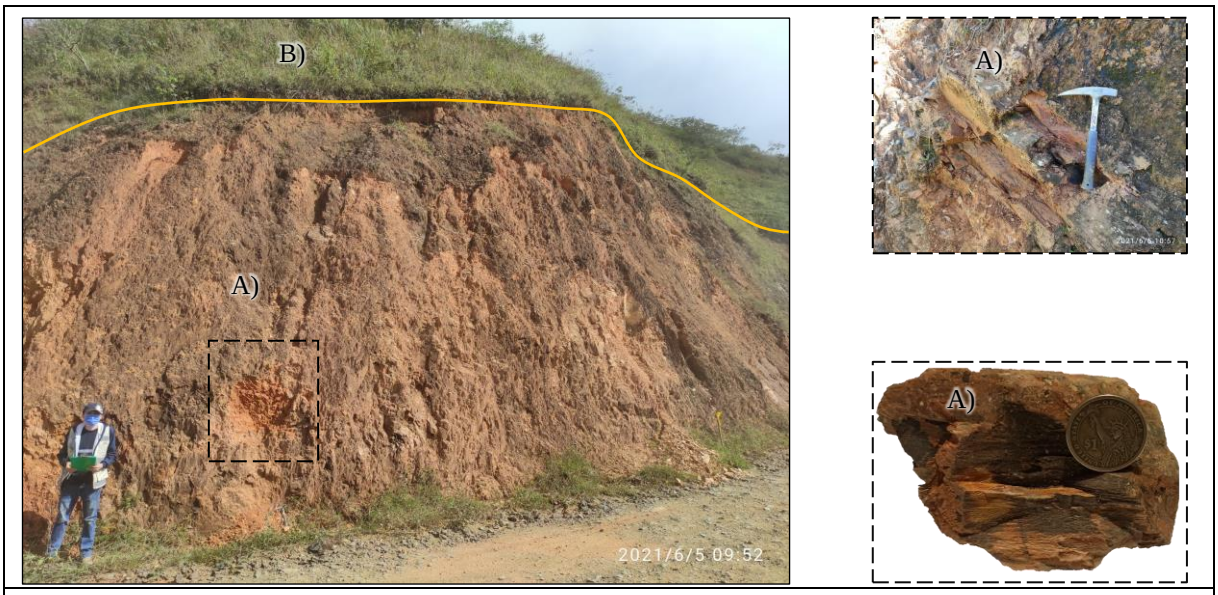
de estudio; específicamente, en el barrio Granadillo; comprende una superficie de 1.01km^2, equivalente al 3.93% del área total y se constituye por un ambiente sedimentario compuesto por lutitas y areniscas.

- ***Lutitas***

Este tipo de material sedimentario detrítico con una granulometría del tamaño de la arcilla (<1/256 mm) se visualiza en zonas de mayor altitud, sobreyaciendo concordantemente a las areniscas de la presente unidad geológica; es decir, aproximadamente a una altitud que oscila entre los 1750 a los 1800 m.s.n.m. y cuya particularidad se ve representada en la vía de segundo orden que enlazan los barrios Granadillo – Tingue Centro (UTM: 657560E, 9566237N; 657738E, 9567158N).

Se caracterizan por exhibir laminaciones y coloraciones rojizas – amarillentas, debido a que durante su formación grandes cantidades de oxígeno actuaron sobre partículas compuestas por óxido de hierro (hematita o ferrihidrita). Su presencia en la zona permite deducir que su origen se debe a un ambiente sedimentario gradual, tranquilo y con baja turbulencia.

Figura 51. *Afloramiento de lutitas.*



A) Lutitas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Por lo cual, se puede visualizar en la figura 51 un afloramiento antrópico de 5.10m de alto, 30m de ancho y ubicado a lo largo de la vía de segundo orden que conduce desde la Y de Lobongo al barrio Tingue Centro (UTM: 657570E; 9566692N) (AF-020). Se caracteriza por estar compuesto por lutitas con estratificación inclinada (75°/42°SE); presenta una textura detrítica; mineralógicamente se componen por minerales de arcilla: illinita, caolinita,

montmorillonita, clorita y por minerales secundarios: hematita, feldespatos potásicos, plagioclasa y cuarzo; presenta una granulometría con forma redondeada y fina (<1mm); un buen sorteo; altamente meteorizadas y se desintegra con gran facilidad (muestra LGE_{NT}-FO-004).

- ***Areniscas***

Este material sedimentario clástico se localiza en las zonas de menor altitud de la Unidad Ciano, debido a que dicha litología se visualiza en los caminos de herradura que conducen desde la vía principal del barrio Cordillera a la quebrada de Valarezo (UTM: 657990E, 9566175N) y en dirección a los tributarios de la quebrada del Porvenir (UTM: 656959E, 9566884N); es decir con altitudes que fluctúan entre los 1600 – 1700 m.s.n.m con respecto a las lutitas que presentan altitudes de 1750 – 1800 m.s.n.m. En base a este fundamento se puede deducir que las areniscas subyacen concordantemente a las lutitas descritas anteriormente.

Con respecto a su caracterización, las areniscas de esta unidad geológica se presentan de forma masiva; no cuentan con una estructura definida, se disgregan con gran facilidad y exhiben coloraciones rojizas – amarillentas por influencia del óxido de hierro (ferruginosas).

Figura 52. *Afloramiento de areniscas.*

A) Areniscas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

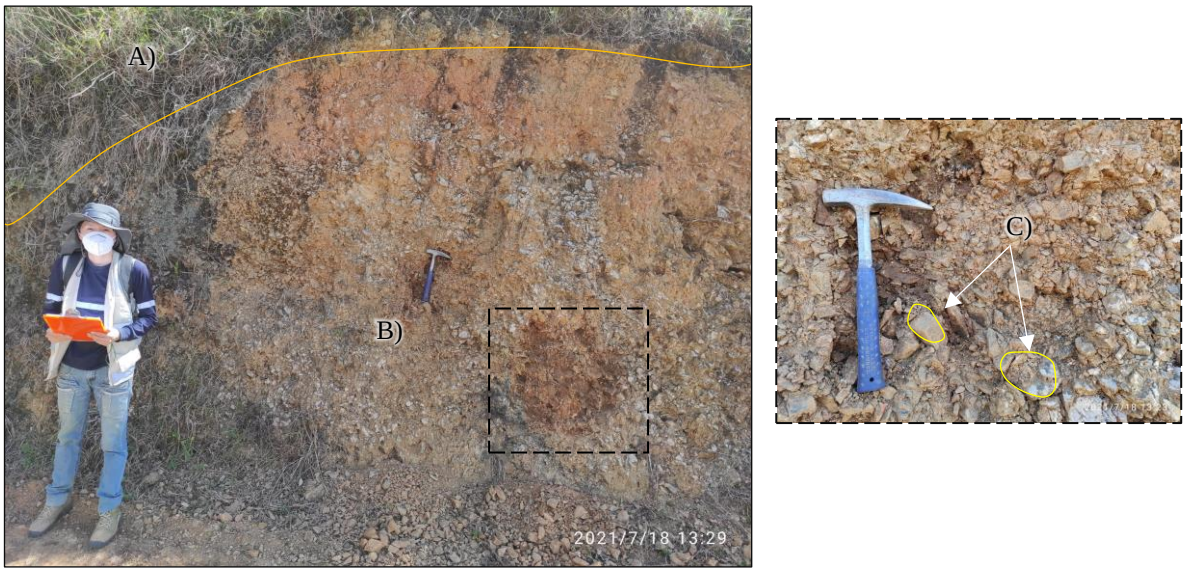
Un ejemplo de tales particularidades se plasma en la figura 52; es decir, un pequeño afloramiento antrópico de 2.50m de alto, 5m de ancho y localizado a un costado del camino de herradura que conduce a la quebrada de Valarezo (UTM: 657990E; 9566175N) (AF-255). Se caracteriza por presentar una textura detrítica, una granulometría redondeada y con un tamaño

típico de las arenas de aproximadamente 2 mm de diámetro, presenta un sorteo regular, medianamente meteorizadas y mineralógicamente compuesto por cuarzo y minerales accesorios; tales como, feldespato potásicos y micas.

Sin embargo, al seguir descendiendo a las proximidades de la quebrada de Valarezo se visualiza areniscas masivas con similares características al afloramiento antes mencionado, pero con la diferencia de presentar pequeños líticos volcánicos en su estructura; es decir, los clastos principalmente están constituidos por andesitas basálticas de coloraciones grisáceas, con altos contenidos de minerales ferromagnesianos y con diámetros que oscilan entre los 8 a 15cm. Por lo tanto, al situarse los afloramientos en altitudes de aproximadamente 1500 a 1550 m.s.n.m. se interpreta que las areniscas con líticos volcánicos están subyaciendo a las areniscas rojizas amarillentas de la misma unidad geológica.

Una representación de lo descrito, se observa en la figura 53, el cual es un afloramiento antrópico de 1.72m de alto, 5.0m de ancho, localizado en el barrio Granadillo cerca de la quebraba de Valarezo (UTM: 658276E; 9566233N) (AF-260) y constituido por areniscas ferruginosas con clastos flotantes de andesitas basálticas de aproximadamente 10cm de diámetro.

Figura 53 *Afloramiento de areniscas con líticos volcánicos*



A) Cobertura vegetal B) Areniscas con líticos de andesitas basálticas C) Clastos de andesitas basálticas

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.5.4 Unidad Zambi (KZ)

La Unidad Zambi (Cretácico Superior) se ubica considerablemente al Este y al SE de la zona de estudio, abarcando los barrios: Granadillo, Zapallar, Santa Rosa y Lobongo; comprende una

superficie de 16.30km^2, equivalente al 63.34% de la zona Norte de la parroquia la Tingue y litológicamente se compone por: lutitas, metalutitas y limolitas.

Con respecto a su génesis, se evidencia que las rocas de esta unidad litológica posiblemente se asocia a un flysh oceánico ligeramente metamorfizado, debido a que en el área de estudio se visualiza una alternancia de capas duras y blandas; es decir, inicialmente se originaron en el fondo oceánico, durante periodos muy erosivos precipitaron sedimentos dando lugar a arcillas, limos y arenas; posteriormente durante periodos tranquilos decantaron arcillas formando lutitas y finalmente estos estratos ubicados en los bordes convergentes de las placas tectónicas durante la orogenia, se sumergieron y se deformaron hacia a la superficie.

- ***Metalutitas***

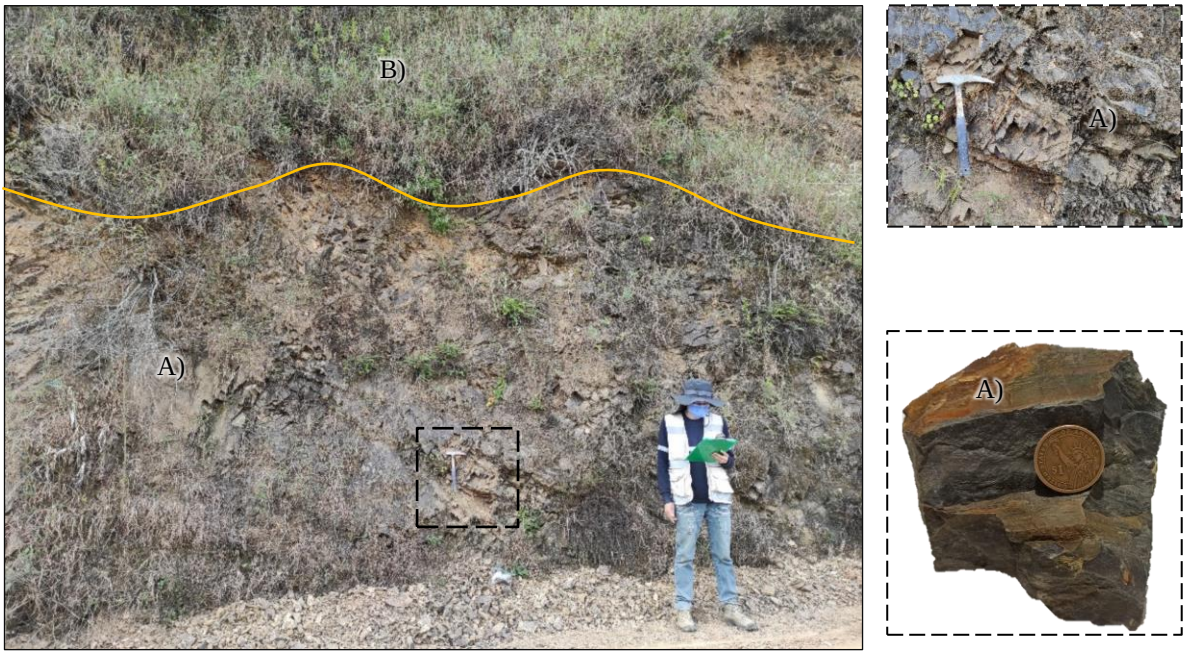
Se estima que área de estudio se ha visto afectado ligeramente por un proceso de metamorfismo regional de bajo grado de rocas sedimentarias pelíticas (lutitas), comúnmente denominadas metalutitas; es decir, en proceso de convertirse de lutitas a filitas o pizarras. Esta afectación con coloraciones oscuras o grisáceas, sin brillo y con clivaje producto del alineamiento y transformación de las arcillas a minerales micáceos se manifiesta en la vía de tercer orden del barrio Santa Rosa (UTM: 659261E; 9567911N) y en la vía que enlazan los barrios Tingue Centro – Zapallar (658393E, 9567405N; 660310E, 9566773N) *(ver figura 54)*. Sin embargo, con iguales características, pero menos oscuras y un poco más amarillentas *(ver figura 55)* se aprecian en los caminos de herradura que conducen desde el barrio Lobongo en dirección a los tributarios de la quebrada Cola (UTM: 658815E, 9565276N; 659701E, 9565555N) y en el límite SE de la zona de estudio (UTM: 662485E, 9565951N; 661456E, 9564931N).

En la carta geología de Zaruma publicada por el IIGE (2013) a escala 1:100 000 menciona la presencia de filita y pizarras gris oscuras en la Unidad Zambi; no obstante, esta terminología empleada no estaría del todo correcta para describir el área de estudio, debido a según lo que se visualiza en campo, la litología no contiene el mismo grado de foliación o no ha llegado a originar planos de pizarrosidad de una roca completamente metamórfica; razón por la cual se ha preferido sustituir con el término "metalutita".

Por consiguiente, una ejemplificación de lo descrito se observa en la figura 54; el mismo que representa un afloramiento antrópico de metalutitas (UTM: 660066E; 9566804N) (AF-153) de 6.80m de alto y 20m de ancho, de coloración grisáceo - amarillenta, textura lepidoblástica, estructura foleada a bandeada, muy competente debido a que es muy resistente al impacto con

el martillo geológico, cubierto por abundante cobertura vegetal, con un alto grado de meteorización y mineralógicamente constituido por minerales micáceos (moscovita, biotita, clorita) escamosos y paralelos.

Figura 54. *Afloramiento de metalutitas grisáceas. Barrio Santa Rosa.*



A) Metalutitas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Figura 55 *Afloramientos de metalutitas grisáceas – amarillentas. Barrio Lobongo.*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

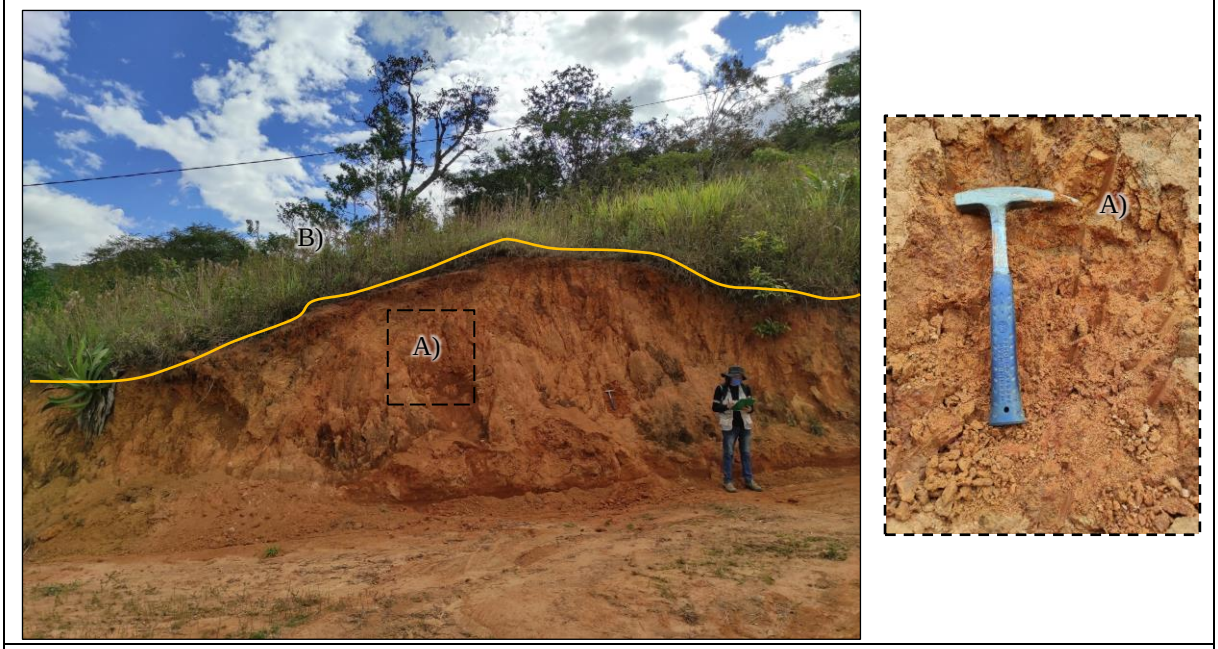
- ***Limolitas***

Esta litología se presenta expuesta ampliamente a lo largo del extremo NE de la parroquia la Tingue (UTM: 660056E, 9569014N; 660713E, 9569573N), se visualiza a lo largo de la vía de tercer orden que conduce desde la Y de Zapallar hacia la quebrada Pillares (UTM: 659888E;

9567434N; 661406E, 9567300N) y se encuentra suprayaciendo en concordancia a las lutitas y metalutitas de la misma unidad geológica.

Las limolitas que afloran en la zona se presentan de coloraciones amarillentas por un alto porcentaje de composición ferrihidrita (óxido e hidróxido de hierro) y de coloraciones rojizas por influencia de hematita (óxido férrico), presenta una granulometría en el intervalo 1/256 – 1/16 mm de diámetro, no presenta estratificación, se puede disgregarse con gran facilidad y mineralógicamente se constituye por: cuarzo, feldespatos, minerales limosos y óxidos de hierro en ciertos casos.

Figura 56. *Afloramiento de limolitas.*



A) Limolitas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Bajo este fundamento, una representación de la información puntualizada se ejemplifica en la figura 56; caracterizado como un afloramiento antrópico de 2.3m de alto, 5.5m de ancho, ubicado en la vía que conduce desde la Y del barrio Zapallar a la quebrada de Pillares (UTM: 660873E; 9567287N) (AF-168) y con las siguientes particularidades: limolitas de coloración amarillenta, textura detrítica o clástica, estructura física (producto del transporte y posterior depositación del material), granulometría fina e irregular, alta meteorización, no se visualiza estratificación y se presenta muy terrosa.

6.5.5 Granodioritas (G^{Gd})

Considerando que Pilatasig et al. (2013) menciona que en el arco volcánico oceánico "las secuencias volcánicas y volcanoclásticas del Cretácico inferior están intruidas por rocas

granodioríticas y tonalíticas que forman parte del denominado batolito de Tangula y dioríticas del complejo peribatolítico"; se corrobora dicha información debido a que en el extremo NW de la zona de estudio, junto a la vía de segundo orden que enlaza los barrios Cordillera - Zurapo y específicamente en el cerro Guamata (UTM: 657472E, 9569099; 657977E, 9569388N), aflora un intrusivo de roca granodiorítica ocurrida en la Era Cenozoica.

El cerro Guamata con elevaciones que fluctúan entre 1850 a 1900 m.s.n.m, es la expresión de esta unidad litológica, debido que existe una intrusión completa a las rocas volcanoclásticas de la zona y que posteriormente se ha visto afectado por procesos erosivos.

Las granodioritas características de este cuerpo tectónico se presentan muy compactas, con una textura fanerítica (grano grueso) y con un contenido mineralógico compuesto por: cuarzo, abundante feldespato potásico y números minerales oscuros (biotita, hornblenda).

Figura 57. *Afloramiento de granodioritas.*

A) Granodiorita *B) Cobertura vegetal*

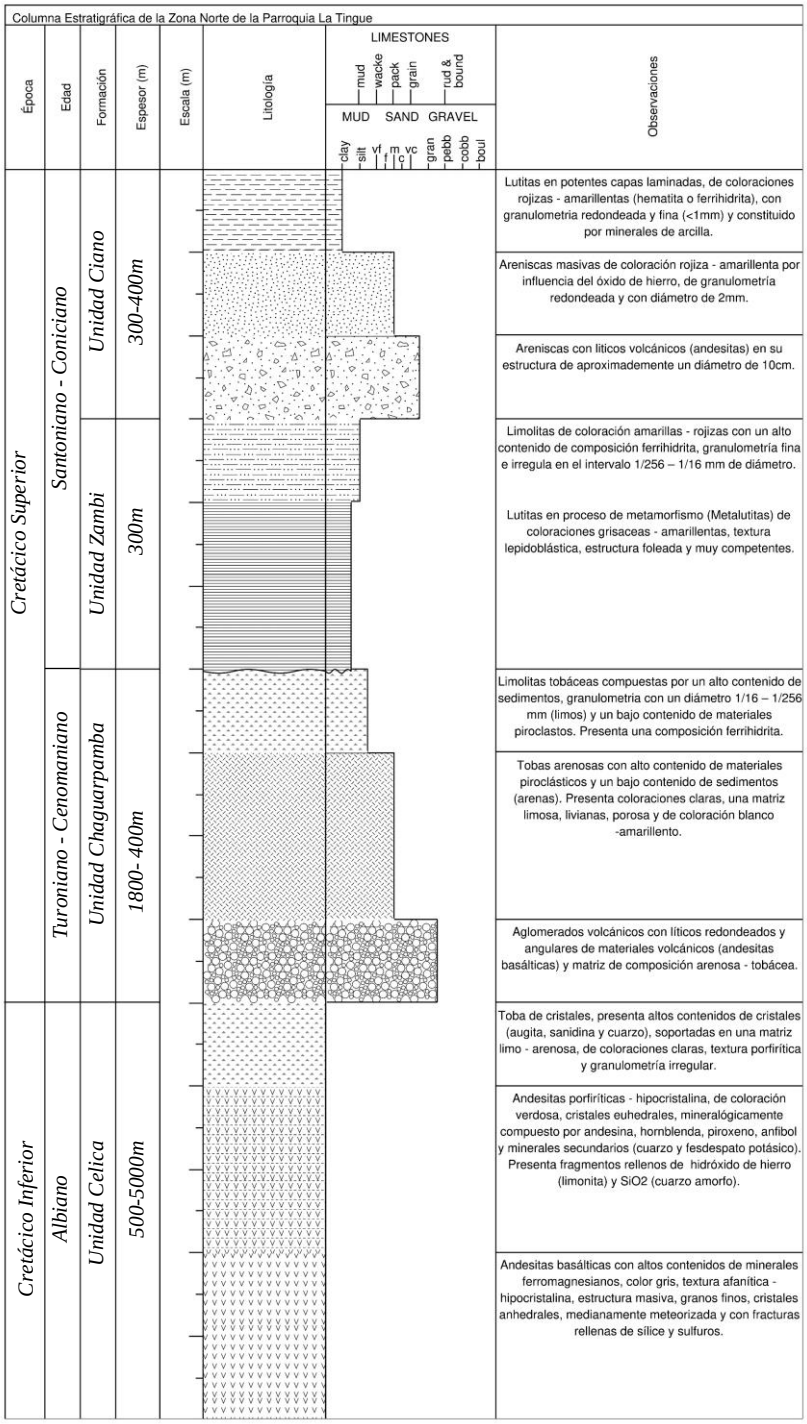
Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

La visualización y acceso a los afloramiento de la zona es un poco limitado, debido a la falta de vías, la abundante cobertura vegetal de la zona y las fuertes pendientes características del lugar; sin embargo, la caracterización se realizó en algunos de caminos de herradura y en quebradas de la zona. Un ejemplar de lo mencionado se observa en la figura 57; es decir, un afloramiento de tipo natural ubicado en el límite entre los barrios Zurapo y Cordillera, en un quebrada s/n situada en las bases del cerro Guamata (UTM: 657454E; 9569061N) (AF-069). Con respecto a la litología, el afloramiento se compone por rocas granodioríticas (muestra LGE_{NT}-FO-011) de coloración grisácea, textura fanerítica, estructura masiva, granulometría media (1 - 5 mm), cristales euhedrales, con una baja alteración y compuesta por: cuarzo,

feldespato potásico, biótica, hornblenda y por pirita diseminada en fracturas.

6.6 Estratigrafía

Figura 58 *Estratigrafía de las unidades geológicas de la zona de estudio.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

La sucesión estratigráfica general de las cuatro unidades geológicas de la zona de Norte de la parroquia La Tingue se elaboró considerado los siguientes aspectos: para las potencias de las unidades litológicas se utilizó los datos establecidos en el trabajo de titulación: *Estudio*

gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento. Tramo río Puyango – Loja, de (Dávila B, 2017)*; para las épocas y edades de las unidades geológicas se referenció el informe: Proyecto Modelo Piloto para la determinación del Potencial Geológico – Mineralógico de las Zona Zaruma y Cariamanga de* (Pilatasig et al., 2013) y los espesores de cada litología se establecieron en base a los resultados de campo de la presente investigación; considerando una relación altimétrica de los afloramientos caracterizados en el área de estudio.

Bajo este fundamento, se determinó que el basamento del área de trabajo se constituye por la Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano), puede presentar un espesor de hasta 5000m, subyace concordantemente a la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano–Cenomaniano) y se constituye por: andesitas basálticas, andesitas porfiríticas y tobas cristalinas. Seguidamente la Unidad Chaguarpamba con un espesor de 1800 - 400m, subyace discordantemente a la Unidad Zambi (Cretácico Superior: Santoniano–Coniciano) y se conforma por el emplazamiento de materiales volcanoclásticos: aglomerados volcánicos, tobas arenosas y limolitas tobáceas. La Unidad Zambi caracterizada como una secuencia metasedimentaria presenta un espesor de 300m, se compone por metalutitas que subyacen a capas de limolitas, presentan estratificación inclinada y se dispone en contacto concordante con la Unidad Ciano (Cretácico Superior:Santoniano–Coniciano); la misma que se conforma por el emplazamiento ascendente de areniscas con líticos volcánicos, areniscas y lutitas *(ver figura 58).*

6.7 Geología Estructural

La zona de estudio se ha visto sometido a esfuerzos que han originado fallas y diaclasas debido a una deformación frágil o de ruptura por causa de un aumento rápido e intenso de esfuerzo, y así como también por pliegues producto de deformaciones plásticas.

Bajo esta premisa, se han definido nuevas estructuras geológica a través de una interpretación fotogeológica, mediante el uso de ortofotos y un mapa de sombras (Hillshade) elaborado a partir de Modelos Digitales de Terreno (MDT) proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de su programa SigTierras. Posteriormente se corroboró en campo la información y en algunos casos se constató su presencia, pero en otros se tuvo que inferir su existencia en base a diferentes características del relieve.

6.7.1 Fallas

La zona Norte de la parroquia La Tingue presenta un sistema de fallas localizadas

principalmente al Sur y al NE de la zona de estudio con una dirección preferencial NW - SE y NE - SW, afloran principalmente en quebradas y contactos litológicos, presentan longitudes máximas de aproximadamente 4.67km y se constituye por: cinco fallas inferidas, dos fallas dextrales inferidas, una falla sinestral observada y una falla inversa observada *(ver tabla 19).*

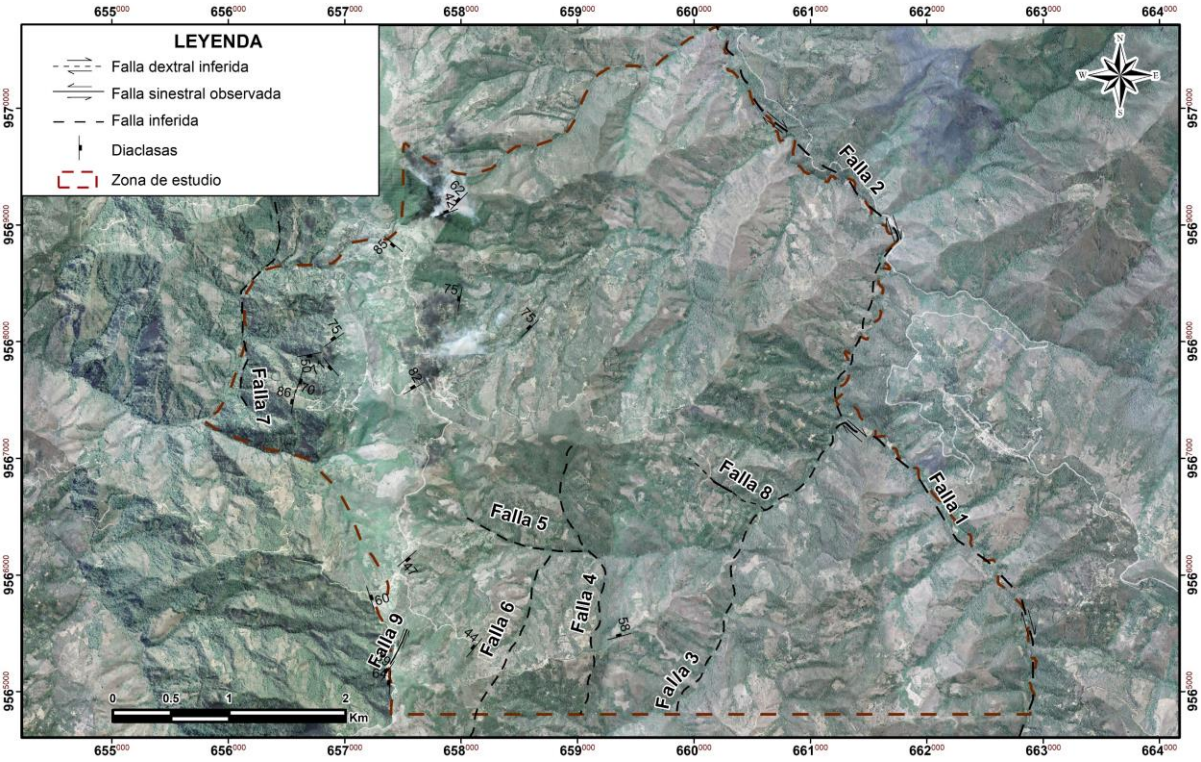
Tabla 19. *Fallas cartografiadas.*

N°	Fallas	Longitud aproximada (Km)	Tipo de falla
1	Falla 1	3.22	Falla dextral inferida
2	Falla 2	2.63	Falla dextral inferida
3	Falla 3	4.67	Falla inferida (transferencia)
4	Falla 4	2.53	Falla inferida
5	Falla 5	1.11	Falla inferida
6	Falla 6	1.59	Falla inferida
7	Falla 7	0.55	Falla inferida
8	Falla 8	0.80	Falla inversa observada
9	Falla 9	0.33	Falla sinestral observada

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Por medio de un análisis fotointerpretativo de las ortofotos proporcionadas por el MAG, a través de su programa SIGTIERRAS *(ver anexo 10)* se localizó algunas fallas considerando los siguientes criterios: coloraciones, patrones de drenaje, disposición de cobertura vegetal, lineaciones estructurales y escarpes de fallas *(ver figura 59).* Las características de cada una de estas estructuras secundarias inferidas se describen a continuación:

Figura 59. *Análisis estructural de fallas y diaclasas de la zona Norte de la parroquia La Tingue.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Se infiere una extensa primera falla de rumbo (dextral) que atraviesa la parroquia La Tingue de NW-SE, aproximadamente por los límites del mismo y con una longitud aproximada en la zona de estudio de 3.22km. Su identificación se debe a la presencia de facetas triangulares en ambos sentidos de la falla; caracterizada como una forma de relieve cuya formación se debe a la combinación de los efectos del levantamiento a lo largo de la falla y con una posterior erosión de los escarpes o de la pendiente por parte de la quebrada Pillares. Además, se aprecia un movimiento de bloques: uno en dirección NW y otro en dirección SE *(ver figura 59).*

La falla 2, se localiza al NE de la zona de estudio debido a que su connotación rectilínea la denota claramente, cuenta con una longitud aproximada de 2.63km, una dirección NW-SE y manifiesta similares características de la falla 1; es decir, igualmente se observan facetas triangulares coincidentes en el plano de falla y al presentar igual movimiento de bloques puede estar relacionada con la primera falla inferida a través de una falla de transferencia *(ver figura 59).*

La falla 3, con dirección SW – NE revela su existencia debido a que evidencia una alineación dentada corrugada (sinuosa), presenta facetas triangulares y se visualiza un contraste de altitudes ya que al SE de la falla se observa topográficamente levantando. Además, se cataloga como una falla de transferencia debido a que comunica o sirve de "puente" para las dos primeras fallas inferidas *(ver figura 59).*

La falla 4, con dirección de Sur a Norte denota su existencia por la visualización en el relieve de las siguientes particularidades: facetas triangulares, una coloración oscura al lado derecho de la traza haciendo alusión al escarpe de falla, se observa a ambos lados de la falla una diferencia de altura topográfica y una textura geomorfológica diferencial. Bajo esta premisa, se deduce que podría exhibir una buzamiento hacia el Oeste *(ver figura 59).*

La falla 5 exterioriza una longitud aproximada de 1.11km, se dirige desde NW hacia el SE y se trunca con la falla 4. Es evidenciada por el control estructural en la topografía (alineación de la vegetación - facetas triangulares) y por la apariencia de una pequeña diferencia de altura entre ambos de lados de la traza *(ver figura 59).*

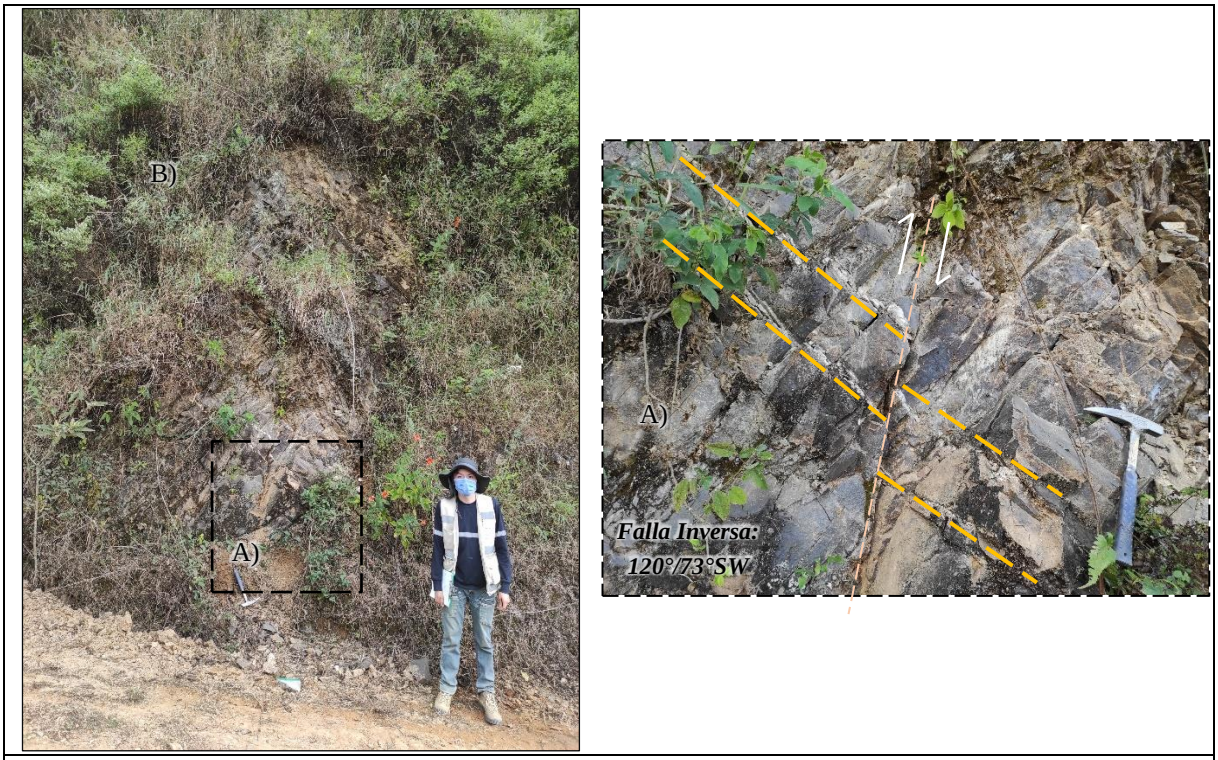
La falla 6 presenta una dirección SW – NE y su denotación se debe a que manifiesta un parentesco rectilíneo, una diferencia altimétrica en su relieve a ambos lados de la traza y por la apariencia de una ensilladura de falla aproximadamente en la intersección con el límite de la zona de estudio se corrobora su existencia *(ver figura 59).*

La falla 7 atraviesa de Sur a Norte la parroquia Olmedo, pero cruza aproximadamente 0.55km la zona Norte de la parroquia Tingue, específicamente en el barrio Carrizal. Se evidencia esta estructura por la presencia de una alineación con rumbo N-S, apariencia de zonas sombreadas que asemejan a los escarpes de fallas y por presentar un cambio de texturas significativas en ambos lados de la traza, se deduce una diferencia litológica *(ver figura 59).*

Por otra parte, las fallas 8 y 9 fueron visualizadas y caracterizadas durante la fase de campo del presente trabajo investigativo; razón por la cual, estas estructuras manifiestan las siguientes particularidades:

La falla 8 se caracterizó como una falla de tipo inversa situada en un afloramiento antrópico de metalutitas, a un costado de la vía que vincula el barrio Tingue Centro con el barrio Zapallar (UTM: 660225E; 9566769N) (AF-157). Se caracteriza por presentar un plano de falla con azimut de 120°, un buzamiento de 73°, una dirección de buzamiento SW y podría extenderse a largo de la zona. Esta estructura geológica fue identificada al observar la discontinuidad de las vetillas de cuarzo por causa de los desplazamiento de los bloques techo y piso; producto de sinestralfuerzas de compresión *(ver figuras 59 y 60).*

Figura 60. *Falla 8 de tipo inversa con diaclasas ubicado en el barrio Zapallar.*



A) Metalutitas diaclasadas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

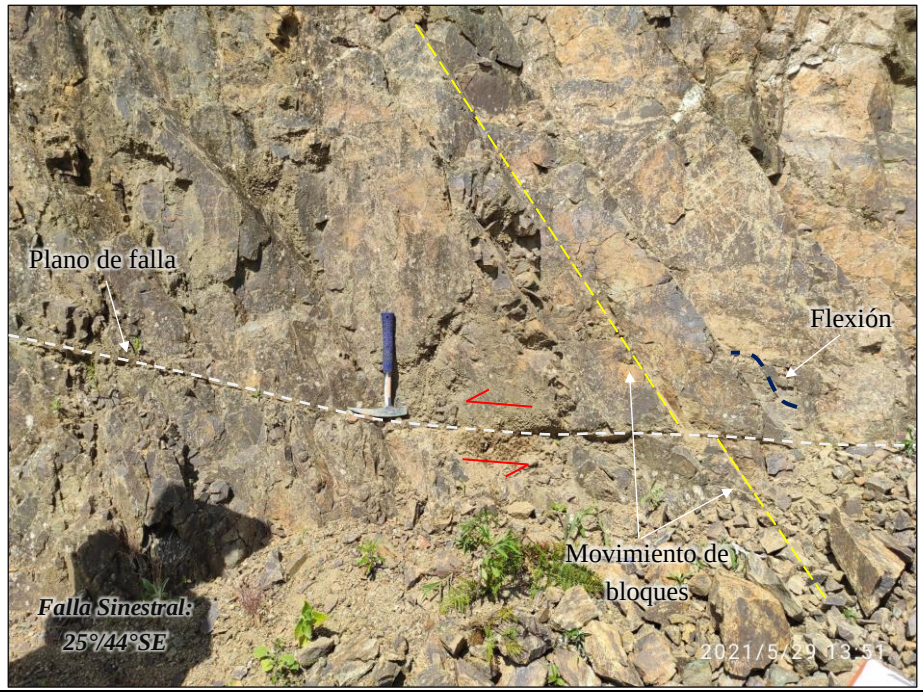
Por otra parte, para conseguir la caracterización completa de la falla 8 se infirió su extensión

total, considerando en la ortofoto: alineaciones, tonalidades y diferencias topográficas. El resultado final fue una falla de aproximadamente 0.80km y con un sentido NW-SE.

Finalmente, la falla 9 se visualizó en un afloramiento antrópico de andesitas porfiríticas meteorizadas a un costado de la vía secundaria en el barrio Granadillo (UTM: 657464E; 9565288N) (AF-006). Se caracteriza como falla de desgarre de tipo sinestral, debido a los siguientes antecedentes: se aprecia una flexión hacia la izquierda producto del desplazamiento horizontal de la falla; es decir, presenta un movimiento contra las manecillas del reloj, su origen se relaciona a esfuerzos de compresión oblicuos, presenta un plano de falla con un azimut de 25°, un buzamiento de 44°, una dirección de buzamiento al SE y la misma podría extenderse a lo largo de la zona *(ver figuras 59 y 61).*

Por otra parte, se observa un sistema de diaclasas sistemáticas cumpliendo un paralelismo bastante común; es decir, 82°/52°SE.

Figura 61. *Falla 9 de tipo sinestral con sistema de diaclasas ubicada en el barrio Granadillo.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.7.2 Diaclasas

Las diaclasas causadas por un sometimiento de esfuerzos e identificadas como fracturas en la roca que no presentan un desplazamiento de bloques, se evidencian generalmente en el área de estudio asociadas con las fallas del sector; es decir, catalogadas como diaclasas tectónicas producto de los esfuerzos a los que fue sometida la roca. Un ejemplo de tales particularidades,

se puede apreciar en la figura 60; es decir, por causa del esfuerzo de compresión que originó la falla inversa, se suscitaron diaclasas que no presentan una orientación preferente (no sistemáticas).

Por otra parte, se observa familias de diaclasas inclinadas en todos los tipos de rocas que componen el área de estudio, generalmente la mayoría con una dirección de buzamiento preferencial al NW y en menor proporción al SW y SE *(ver tabla 20).*

Tabla 20. *Diaclasas en la zona de estudio.*

N	Afloramiento	X	Y	Z	Medida Estructural
1	AF-003	657383	9565133	1885	184/64NW
2	AF-005	657390	9565221	1895	214/39NW
3	AF-011	657246	9565752	1801	342/60NE
4	AF-015	657498	9566100	1749	50/47SE
5	AF-046	657991	9568421	1496	190/75NW
6	AF-051	657925	9569130	1675	250/42NW
7	AF-052	658016	9569251	1677	225/62NW
8	AF-072	657372	9568867	1511	130/85SW
9	AF-092	656949	9568055	1480	235/75NW
10	AF-105	656640	9567870	1376	80/50SE
11	AF-108	656842	9567820	1426	140/71SW
12	AF-127	656559	9567539	1443	190/86NW
13	AF-133	656602	9567607	1401	18/70SE
14	AF-245	658142	9565421	1754	220/44NW
15	AF-252	659407	9565495	1585	255/58NW
16	AF-029	657635	9567636	1691	240/82NW
17	AF-273	658625	9568158	1328	225/75NW

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Una ejemplificación, de tales características se puede visualizar en la figura 62; donde se observa una familia de diaclasas inclinadas en la matriz rocosa situadas en una quebrada s/n en el cerro Guamata, barrio La Cordillera (UMT: 657372E, 9568867N) y caracterizado por presentar un azimut de 130°, una inclinación de 85° y una dirección de buzamiento al SW.

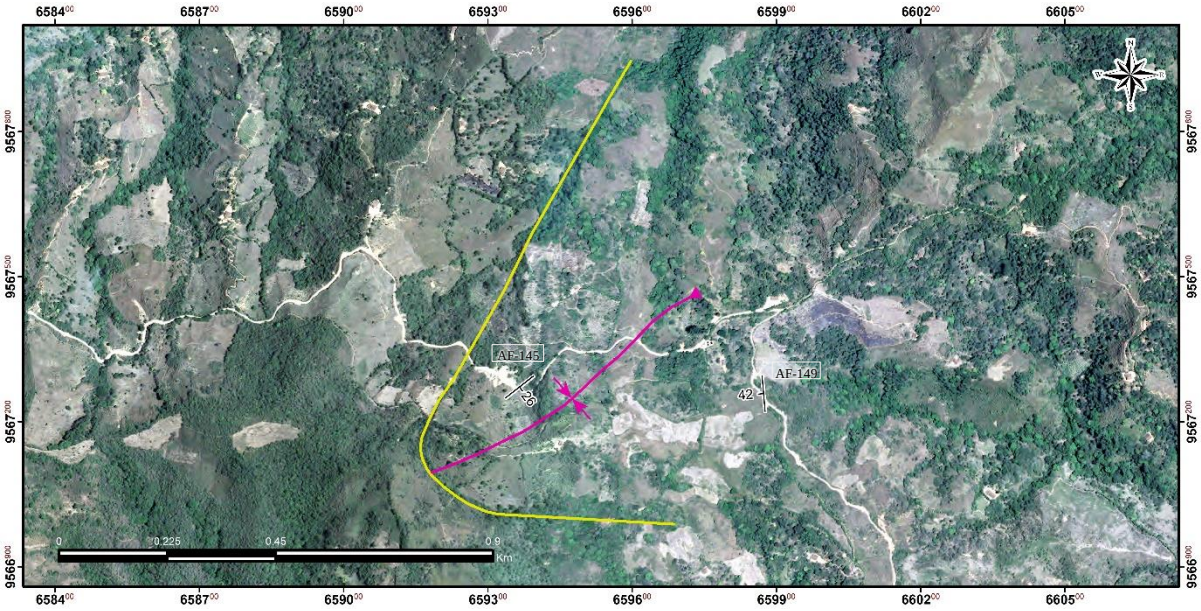
Figura 62. *Diaclasas.*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.7.3 Pliegues

A través del análisis de fotointerpretación *(ver anexo 10)* se determinó entre los barrios Santa Rosa y Zapallar una estructura secundaria, que por causa de esfuerzos de compresión ha producido una deformación plástica, dando origen a un pliegue sinclinal con flancos que manifiestan una dirección de buzamiento hacia el centro de la estructura, además de presentar una asimetría, terminación periclinal y un ángulo de inmersión o plunge (ángulo que forma el eje de pliegue con la horizontal) en dirección hacia el NE *(ver figura 63).*

Figura 63. *Fotointerpretación del pliegue sinclinal del área de estudio.*



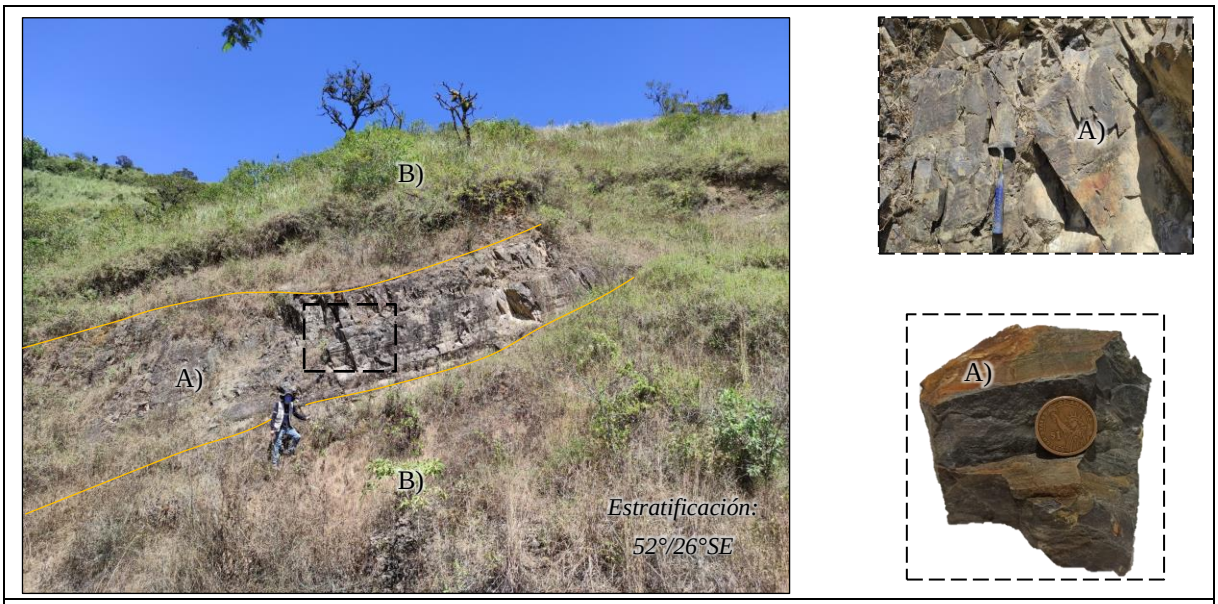
Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Con respecto a la verificación de la estructura inferida inicialmente por fotointerpretación, se observó en la vía que conecta los barrio Santa Rosa - Zapallar afloramientos que manifiestan estratos (flanco del pliegue) con direcciones de buzamiento hacia el centro de la estructura; sin embargo, las representaciones en las que mejor se aprecia lo descrito fueron las siguientes:

- ***AF-145:*** ubicado a la izquierda del eje axial (UTM: 659332E; 9567281N), se conforma por metalutitas estratificadas y presenta el siguientes dato de yacencia: 52° / 26° SE *(ver figura 64).*
- ***AF-149:*** ubicado al otro lado del eje axial (UTM: 659868E; 9567258N), con igual litología y estratificadas con el siguiente dato estructural: 175°/42°SW *(ver figura 65).*

Por lo tanto, en base a estas dos manifestación que denotan direcciones de buzamiento hacia el centro de la estructural; se corrobora la presencia de un pliegue sinclinal.

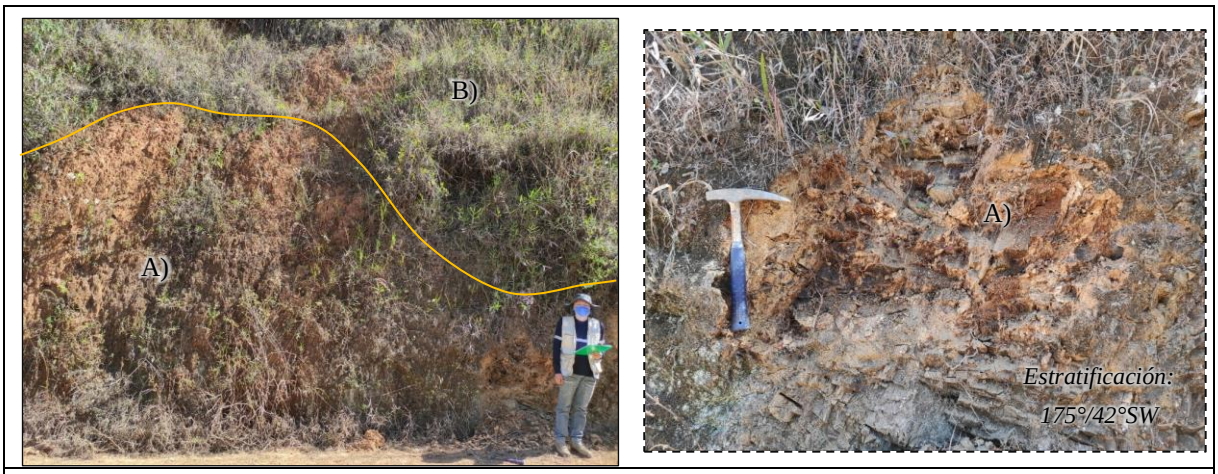
Figura 64 *Afloramiento AF-145 de metalutitas con estratificación (flanco) al centro de la estructura de un pliegue sinclinal.*



A) Metalutitas *B) Cobertura vegetal*

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Figura 65 *Afloramiento AF-149 con estratificación al centro de la estructura de un pliegue sinclinal.*



A) Metalutitas *B) Cobertura vegetal*

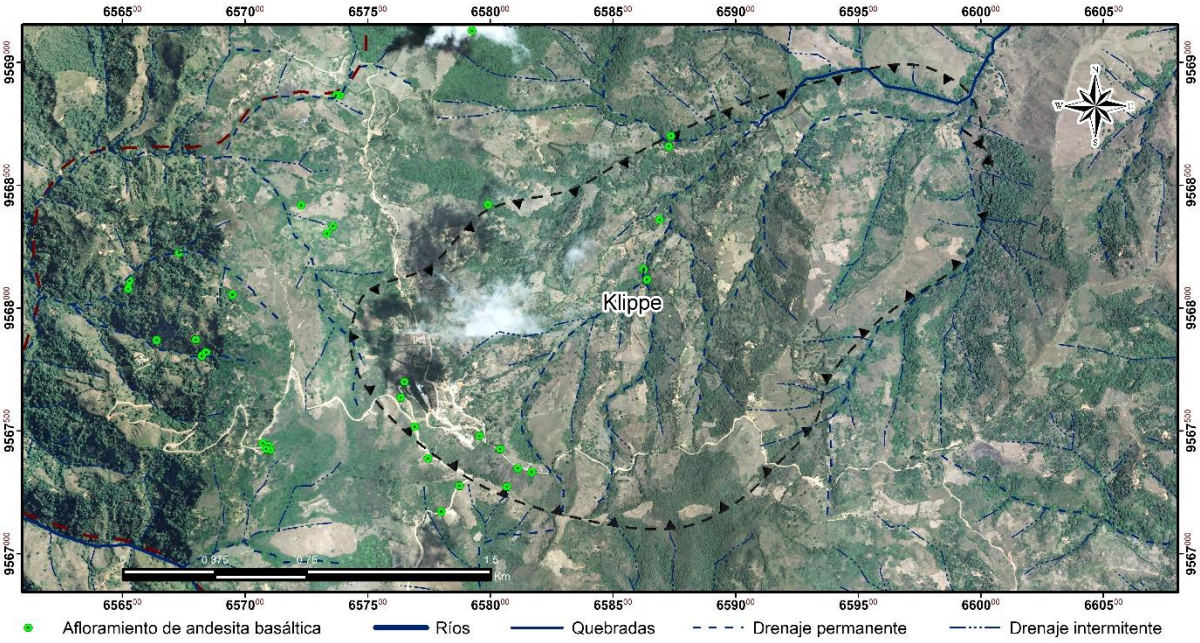
Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.7.4 Klippe

Por medio de un análisis por fotointerpretación se visualizó en la ortofoto una diferencia de texturas significativas; razón por la cual, se presentó algunas hipótesis en base a las diferentes tipologías morfológicas observadas *(ver anexo 10, apartado estructuras tectónicas).* No obstante, la teoría que se corroboró por relacionarse directamente con los resultados de campo concierne a un Klippe; es decir, un remanente que inicialmente perteneció a un manto tectónico (alóctono) y que posteriormente producto de la erosión quedo aislado aflorando en la superficie *(ver figura 66).*

La corroboración en campo de esta estructura descrita desde en el punto de vista estructural no se logró evidenciar fallas inversas por causas de la erosión y la abundante cobertura vegetal. Sin embargo, se podría validar dicha información desde el punto de vista litológico, debido a que las andesitas basálticas afloran en los afluentes de la quebrada Carrizal constituyendo el basamento de la zona de estudio (Unidad Celica); y sin un orden establecido se visualiza también afloramientos de andesitas basálticas en las proximidades del barrio Tingue Centro (UTM:657650E, 9567700N; 657692E,9567517N; 658169E, 9567332N; 657991E, 9568421N); lugar en el cual se sitúa el klippe *(ver figura 67).* Por lo tanto, en base a estas características se presume que aquel material volcánico afloró a la superficie a través de fallas inversas.

Figura 66. *Fotointerpretación del Klippe*.



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Figura 67 *Registro fotográfico de andesitas basálticas*.

AF-027:
Ubicación: Vía Granadillo – Tingue Centro (UTM: 657746E; 9567388N)

AF-138:
Ubicación: Vía Tingue Centro – Santa Rosa (UTM: 658169E; 9567332N)

AF-136:
Ubicación: Vía Tingue Centro – Santa Rosa (UTM: 658040E; 9567426N)

AF-151:
Ubicación: Vía Cordillera - Zurapo (UTM: 657925E; 9569130N)

AF-102:
Ubicación: Tributario quebrada Carrizal (UTM: 656731E; 9568226N)

AF-072:
Ubicación: Tributario quebrada Carrizal (UTM: 657372E; 9568867N)

AF-105:
Ubicación: Tributario quebrada Carrizal (UTM: 656640E; 9567870N)

AF-108:
Ubicación: Tributario quebrada Carrizal (UTM: 656842E; 9567820N)

Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

6.8 Cortes de secciones geológicas locales

Una vez elaborado el mapa geológico – estructural a escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue (*ver anexo 11*) y con el propósito de tener una apreciación de la disposición de los materiales geológicos en profundidad, se efectuó dos perfiles geológicos interpretativos (A - A' y B – B') considerando la mayor cantidad de formaciones y estructuras posibles del sector, para posteriormente proyectar sobre los perfiles topográficos los valores geológicos tomados en campo.

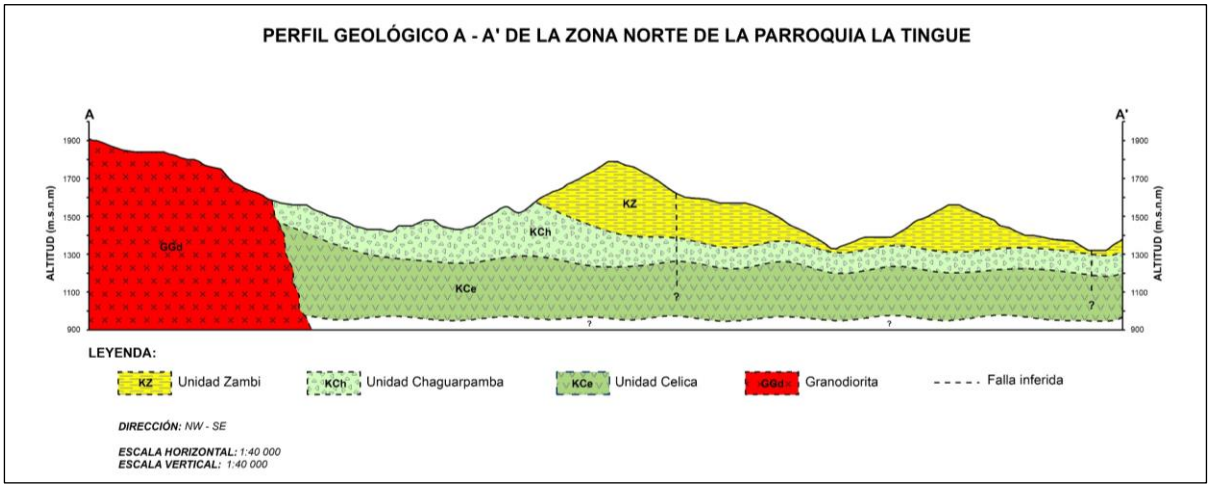
La elaboración de los cortes geológicos se desarrolló en base a los fundamentos teóricos del libro *Mapas Geológicos Explicación e Interpretación* de Martínez - Álvarez (1981) y para los datos referentes a profundidades y espesores de las unidades litológicas, se consideró el trabajo de titulación: *Estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento. Tramo río Puyango – Loja, de* (Dávila B, 2017).

El perfil geológico A – A' presenta una dirección NW – SE, en el cual tomando de referencia el flanco NW (punto A) se divisa que las secuencias volcánicas y volcanoclásticas se encuentran intruidas por un cuerpo granodiorítico (Cenozoico) asociado al Batolito de Tangula[3], el mismo que en superficie se presenta muy meteorizado y su localización en el cerro Guamata es la expresión de tal actividad ígnea intrusiva. Seguidamente se visualiza la Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano) subyaciendo en contacto concordante con la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano), se constituye como el basamento de la zona de estudio y se compone por materiales volcánicos y volcanoclásticos. Por otra parte, la Unidad Chaguarpamba se conforma por materiales de origen volcanoclásticos, presenta un espesor de aproximadamente 400m, debido a que en los tributarios de la quebrada Carrizal (±700 – 1000 m.s.n.m) se divisa andesitas basálticas propias de la Unidad Celica (basamento). Finalmente, el perfil geológico culmina con la Unidad Zambi (Cretácico Superior: Santoniano - Coniciano) suprayaciendo en contacto discordante a la Unidad Chaguarpamba, estructuralmente controlada por un falla inferida de tectónica indeterminada y se conforma por limolitas y metalutitas. Además, se visualiza que las unidades geológicas se han visto afectadas por esfuerzos tectónicos compresivos dando lugar a un evidente plegamiento *(ver figura 68).*

[3] **Batolito de Tangula:** Cuerpo plutónico más grande de la Sierra Ecuatoriana y considerado como la última expresión importante del Gran Batolito Costanero del Perú (Bardock, 1982).

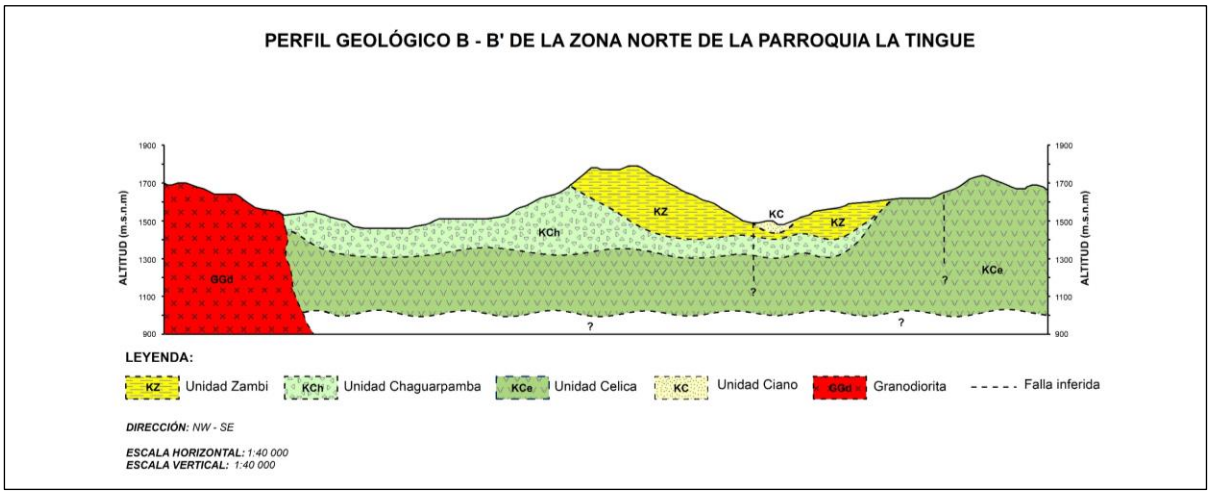
El perfil geológico B – B' presenta una dirección NW – SE y considerando de referencia el flanco Norte (punto B) se visualiza al igual que en el caso anterior, un cuerpo granodiorítico (Cenozoico) que intruye a los materiales volcanoclásticos y volcánicos; es decir, a la Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano) que subyace en contacto concordante a la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano) y que ambas se ubican contiguas a tal estructura intrusiva. Posteriormente al centro del corte se visualiza una secuencia sedimentaria constituida por la Unidad Zambi y la Unidad Ciano (lutitas y areniscas), ambas del Cretácico Superior: Santoniano – Coniciano y suprayaciendo discordantemente a la Unidad Chaguarpamba. Al igual que el caso anterior, en el presente perfil geológico se visualiza que por causa de esfuerzos se ha producido una deformación de ruptura dando origen a fallas inferidas de tectónica indeterminada *(ver figura 69).*

Figura 68. *Perfil geológico A-A'.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

Figura 69. *Perfil geológico B - B'.*



Nota: Elaborado por el (Autor, 2022).

En este contexto, la historia geológica del área de estudio tiene su origen en el Albiano con la formación de la Unidad Celica (basamento) y consecutivamente en el Turoniano - Cenomaniano con la depositación de la Unidad Chaguarpamba; ambas con materiales volcánicos y volcanoclásticos. Próximamente en el Santoniano – Coniciano se produjo la depositación de secuencias sedimentarias, las cuales se presume que su ambiente de formación se asocia a un flysh oceánico ligeramente metamorfizado en la Unidad Zambi; es decir, originado en el fondo oceánico y que durante la orogenia emergió a la superficie. Posteriormente, se produjo intrusiones cenozoicas en las secuencias volcánicas y volcanoclásticas de pequeños cuerpos granodioríticos asociados al batolito de Tangula. Finalmente, por causa de esfuerzos tectónicos estas unidades litológicas se han visto afectadas por estructuras secundarias; tales como: fallamientos o plegamientos.

Para una mejor apreciación de los perfiles geológicos descritos en los párrafos anteriores *(ver anexo 12).*

7. Discusión.

El desarrollo del proyecto investigativo se efectuó a una escala de trabajo 1:10 000 en la zona Norte de la parroquia La Tingue; presenta una superficie de 25.74km^2 y se ubica en la Región Sur del Ecuador, cantón Olmedo y provincia de Loja.

El componente biofísico de la zona estudiada se caracteriza por un predominio de relieves montañosos y colinados muy altos, con el 42.72% y el 28.09% del área de trabajo respectivamente; presentan cimas agudas, están asociados a vertientes rectilíneas, cóncavas y con altitudes que fluctúan entre los 970 a los 1970 m.s.n.m. Con respecto a las pendientes del territorio y según la clasificación establecida por Demek (1972), en mayor proporción demuestra pendientes con rangos de 15° - 35° y de 35° - 55°; es decir, muy inclinadas con el 64.60% y empinadas con el 27.72% del territorio respectivamente. En cuanto a su hidrografía en la zona Norte de la parroquia La Tingue, se define una red hidrográfica detrítica - subparalela, constituidas por las microcuencas río Yaguachi y río Umbalao con el 86.91% y 13.09% respectivamente. Finalmente, exterioriza un predominio de una vegetación herbácea y mayoritariamente exhibe un clima de carácter megatérmico o cálido, con una temperatura media de 22°C.

Con respecto a estudios previos realizados por el Ex Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico del Ecuador (INIGEMM), actualmente denominado Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), en el año 2013 y por medio del *Proyecto*

Modelo Piloto para la determinación del Potencial Geológico – Mineralógico de las Zona Zaruma y Cariamanga, se afirma que la Parroquia La Tingue se sitúa en los dominios litotectónicos del Sur del Ecuador, en otras palabras, en la cuenca cretácica Alamor – Punta de Piedra y constituyendo al SE del mismo el denominado Arco Volcánico Oceánico; es decir, menciona a breves rasgos la presencia de secuencias sedimentarias, volcánicas y volcanoclásticas.

Bajo este fundamento previo, en la zona Norte de la parroquia La Tingue se agrupa todos los materiales geológicos en cuatro unidades litológicas y un cuerpo intrusivo con el propósito de facilitar la caracterización, su origen y la sucesión cronoestratigrafía entre ellas. Por lo tanto, los rasgos y particularidades de cada una de ellas se describen a continuación:

La Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano) se establece como el basamento del área estudiada y subyaciendo en contacto concordante con la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano). Comprende una superficie de 2.28km^2, aflora en extremo Sur - Occidental de la zona de estudio abarcando los barrio Granadillo y Lobongo, se constituye por materiales volcánicos y volcanoclásticos: andesitas porfiríticas localizadas al SW del área de trabajo, tobas volcánicas (tobas cristalinas) consolidadas rodeando las andesitas porfiríticas, andesitas basálticas ubicadas al Norte del barrio Cordillera y cuya presencia en el sector, se puede fundamentar debido a que este material volcánico aflora en los tributarios de la quebrada Carrizal constituyendo el basamento de la zona de estudio (Unidad Celica) y sin un orden establecido se visualiza además afloramientos de andesitas basálticas en las proximidades del barrio Tingue Centro; característica por la cual se presume que aquel material volcánico afloró a la superficie por fallas inversas y que posteriormente producto de la erosión quedo aislado aflorando pequeños remanentes en la superficie (klippe).

La Unidad Chaguarpamba se visualiza al Norte de la parroquia La Tingue, en las inmediaciones del barrio Carrizal, se extiende como una franja de NE – SW, presenta una superficie de 5.73km^2, se compone por una secuencia de materiales volcanoclásticos; tales como: tobas arenosas expuestas a lo largo del extremo Nor-Occidental y sobreyaciendo las andesitas basálticas de la Unidad Celica, por aglomerados volcánicos localizados en los tributarios de la quebrada La Tingue, situadas en el barrio Santa Rosa y por limolitas tobáceas sobreyaciendo las tobas arenosas y ampliándose en los alrededores de las vías que conectan los barrios: Tingue Centro – Cordillera / Tingue Centro – Carrizal.

El área de trabajo presenta una secuencia sedimentaria, constituida por la Unidad Ciano y la Unidad Zambi, ambas del Cretácico Superior: Santoniano – Coniciano y suprayaciendo discordantemente a la Unidad Chaguarpamba. Su origen posiblemente se asocia a un ambiente de formación de tipo flysh oceánico con un posterior ligero proceso de metamorfismo en la Unidad Zambi; es decir, originado en el fondo oceánico, durante periodos muy erosivos precipitaron sedimentos, posteriormente durante periodos tranquilos se formaron materiales sedimentarios y durante la orogenia, se sumergieron y se deformaron hacia a la superficie. En este contexto, la Unidad Ciano se expone de forma lateral al Occidente de la zona de estudio, específicamente en el barrio Granadillo, presenta una superficie de 1.01km^2 y se compone por dos materiales sedimentarios clásticos: lutitas, localizadas en zonas altas de la presente unidad geológica y por areniscas que subyacen las lutitas. Por otra parte, la Unidad Zambi, abarca la mayor superficie del área de estudio con 16.30km^2, se compone por metalutitas grisáceas - amarillenta dispuestas al SE de la zona de estudio, por metalutitas gris oscuras en el barrio Santa Rosa y Zapallar y por limolitas que se exponen ampliamente a lo largo del extremo NE de la parroquia y que suprayacen al material meta-sedimentario descrito.

Por otra parte, en el extremo Nor - Oeste del sector estudiado, en las inmediaciones de la vía de segundo orden que conectan los barrios Cordillera – Zurapo y específicamente en el cerro Guamata; las secuencias volcánicas y volcanoclásticas se encuentran intruidas por rocas granodiorítica que por condiciones atmosféricas se encuentran medianamente meteorizadas y alcanzando en superficie un área de 0.42km^2.

Con respecto a las estructuras geológicas evidenciadas en la zona Norte de la parroquia La Tingue, se presenta una mayor deformación al Sur del área de trabajo por causa de un sistema de fallas que presentan longitudes máximas de aproximadamente 4.67km. A través del análisis fotointerpretativo de ortofotos proporcionadas por el MAG a través de su programa SIGTIERRAS, se infirió 5 fallas: dos fallas de rumbo (dextral) que atraviesan verticalmente el área de trabajo con una dirección NW-SE y cinco fallas inferidas: dos con rumbo SW-NE, dos con un sentido N-S y una con dirección NW-SE. Por otro lado, se caracterizó en campo una falla inversa con dirección NW-SE y un falla sinestral con un sentido NE-SW.

Adicionalmente se evidenció en la zona de trabajo por fotointerpretación y con una posterior corroboración en campo, una deformación plástica que dio origen a un pliegue sinclinal periclinal, con un ángulo de inmersión (plunge) en dirección NE y determinado en base a que sus flancos presentan una dirección de buzamiento hacia el centro de la estructura. Por otro lado, se visualizó macizos rocosos con fracturas sin desplazamiento de bloques; es decir,

diaclasas tectónicas asociadas a fallas y que cuyas fracturas se originaron por causa del esfuerzo a los que fue sometida la roca. Además, se visualiza la presencia de diaclasas inclinadas con una dirección de buzamiento principalmente al NW y en menor proporción al SW y SE.

Finalmente, la sucesión estratigráfica se representa de mejor maneja a través de los perfiles geológicos interpretativos (A – A' y B – B'), en el cual se observa la disposición en profundidad de las cuatro unidades geológicas y del cuerpo intrusivo que cortan las secuencias volcánicas y volcanoclásticas; es decir, el basamento se constituye por la Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano), la cual subyace concordantemente a la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano) y esta última subyace discordantemente a las Unidades Ciano y Zambi (Cretácico Superior: Santoniano – Coniciano). Por lo tanto, toda esta información geológica – estructural previamente descrita se consolida para representar un mapa geológico–estructural a una escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue.

8. Conclusiones.

- Se concluyó que la zona Norte de la parroquia La Tingue se conforma por una superficie de 25.74km^2 y geológicamente se determinó por medio de un análisis fotointerpretativo, por una caracterización a detalle de la mayor cantidad de representaciones litológicas y estructurales del sector y por un análisis macroscópico de muestras de rocas; cinco unidades litológicas, constituidas por una secuencias de materiales volcánicos, volcanoclásticos, sedimentarios y por la intrusión de un cuerpo granodiorítico.
- Se estableció en la zona de estudio las siguientes nuevas particularidades de cada unidad geológica: La Unidad Celica (Cretácico Inferior: Albiano) con una superficie de 2.28km^2 se constituye por materiales volcánicos y volcanoclásticos: andesitas porfiríticas, andesitas basálticas y tobas volcánicas (tobas cristalinas); la Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano) con un área de 5.73km^2 se compone por secuencias volcanoclásticas de tobas arenosas, aglomerados volcánicos y limolitas tobáceas que sobreyacen los dos materiales mencionados; la Unidad Ciano (Cretácico Superior: Santoniano – Coniciano) con 1.01km^2 de superficie, se conforma por materiales sedimentarios clásticos de tipo lutitas y areniscas que subyacen a las lutitas; la Unidad Zambi (Cretácico Superior: Santoniano – Coniciano) con 16.30km^2 se caracteriza por ser afectada por un metamorfismo de tipo regional, abarcar una mayor superficie del territorio y por estar compuesta por metalutitas y limolitas que sobreyacen al material meta-sedimentarios; finalmente, las secuencias volcánicas y volcanoclásticas descritas se encuentran intruidas por un pequeño cuerpo granodiorítico (Cenozoico) de 0.42km^2 y que posiblemente se asocia al batolito de Tangula.
- Se concluyó que el análisis estructural de la zona Norte de la parroquia La Tingue se realizó mediante una interpretación fotogeológica y con una posterior corroboración, identificación y caracterización en campo. En base a lo mencionado se obtuvo como resultado que el sector que encuentra controlado por la presencia de fallas, pliegues y diaclasas.
- Se definió nueve fallas localizadas principalmente al Sur y al Nor-Este de la zona de estudio, es decir, cinco fallas inferidas: dos con rumbo SW-NE, dos con un sentido N-S y una con dirección NW-SE; dos fallas inferidas de rumbo (dextrales) con una dirección NW - SE; una falla inversa observada con dirección NW - SE y una falla sinestral observada con un sentido NE – SW.
- Se determinó un pliegue sinclinal, en base a que sus flancos presentan una dirección de buzamiento hacia el centro de la estructura, terminación periclinal, con ángulo de inmersión

(plunge) en dirección al NE y su origen se asocia a un sometimiento de esfuerzos compresivos. Por otra parte, igualmente por medio de un análisis fotointerpretativo se visualiza un klippe sobre el pliegue sinclinal; en otras palabras, un remanente que inicialmente perteneció a un manto tectónico (alóctono) y que posteriormente producto de la erosión quedo aislado aflorando en la superficie.

- Se identificó en campo diaclasas tectónicas principalmente asociadas a fallas por causa del esfuerzo que ha sido sometido la roca. Además, varias diaclasas inclinadas con direcciones de buzamiento preferentes al NW y en menor proporción al SW y SE.
- Se elaboró el mapa geológico – estructural a escala 1:10 000 de la zona Norte de la parroquia La Tingue en base a la consolidación de los resultados producto del análisis por fotointerpretación, al levantamiento de información en campo y a la descripción macroscópica de muestras de roca provenientes de los principales afloramientos; es decir, se caracterizaron cinco unidades litológicas dispuestas de la siguiente manera: la Unidad Celica se localizó en el extremo Sur - Occidental de la zona de estudio, la Unidad Chaguarpamba se extiende al Norte de la parroquia La Tingue en una franja con dirección NE – SW, la Unidad Ciano y Zambi se exponen al Occidente y Este del área de trabajo respectivamente y el cuerpo granodiorítico se encuentra intruyendo las secuencias volcánicas y volcanoclásticas en el extremo NW de la parroquia (cerro Guamata).
- Se representó la sucesión cronoestratigráfica de las unidades geológicas, mediante dos perfiles geológicos interpretativos (A - A') (B – B') que cortan la superficie de trabajo en direcciones NW - SE; la Unidad Celica (Cretácico Inferior – Albiano), conforma el basamento de la zona Norte de la parroquia Tingue. La Unidad Chaguarpamba (Cretácico Superior: Turoniano - Cenomaniano) en profundidad se dispone suprayaciendo en contacto concordante con la Unidad Celica, las Unidades Ciano y Zambi (ambas del Cretácico Superior: Santoniano - Coniciano) se sitúan suprayaciendo en contacto discordante con la Unidad Chaguarpamba y finalmente, el Cuerpo Granodiorítico (Cenozoico) presenta un contacto intrusivo con las Unidades Celica y Chaguarpamba.

9. Recomendaciones.

- Ejecutar en la zona de estudio una caracterización geotécnica mediante la aplicación de métodos indirectos en la que incluya una descripción y clasificación geomecánica de los macizos rocosos de los materiales volcánicos de la Unidad Celica y de las metalutitas de la Unidad Zambi. Por lo cual, se deben aplicar metodologías como la clasificación RMR, debido a que abarca un conjunto de parámetros para determinar su calidad o resistencia frente a la influencia de estructuras diaclasadas.
- Efectuar estudios geofísicos en el área de trabajo, aplicando sondeos eléctricos verticales (SEVs) para determinar la estructura interna, disposición de estratos, interpretación de materiales del subsuelo, potencias y anomalías de interés económico; a partir de las variaciones de la resistividad al paso de la corriente eléctrica.
- Desarrollar una caracterización mineralógica en el cuerpo granodiorítico establecido en la presente investigación, debido que las zonas de contacto del plutón están ligadas posiblemente a un interés mineralógico y por estar localizado próximo a la anomalía geoquímica Buenavista (Cu - Pb – Mo) descrito en el informe de (Pilatasig et al., 2013); para el cual se recomienda lo siguiente: utilizar imágenes LandsatTm con combinación de bandas para caracterizar alineaciones estructurales, desarrollar análisis de muestras de roca mediante una difracción de rayos X para una estimación cuantitativa de la composición mineralógica y efectuar un muestreo geoquímico de sedimentos fluviales en los tributarios de las quebradas Carrizal y el Porvenir.
- Efectuar un análisis microscópico de la composición mineralógica con láminas delgadas de rocas y sedimentos de 30 µm para lograr una caracterización petrográfica a mayor detalle.
- Ejecutar a una mayor escala de trabajo (1:5 000 o 1:1 000) caracterizaciones geológicas – estructurales dependiendo de la planificación de proyectos de infraestructura en espacios determinados dentro de zona de estudio; para obtener un mayor detalle y una mejor precisión de las unidades litológicas descritas.

10. Bibliografía.

Abad, A. (2020). *Métodos Geométricos - Red Estereográfica*. Geología Estructural. https://www.geologiaestructural.com/red-estereografica/

Acosta, J. (s. f.). *Manifestaciones externas de la dinámica interna*. recursostic.educacion. Recuperado 13 de enero de 2022, de http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena4/4q4_presenta_1a.htm

Aguirre, J. (2007). *Elementos de Geología Aplicados a la práctica de la Ingeniería Civil* (1.ª ed.). Editorial UTPL.

Arellano, J. (s. f.). *Correlación Estratigráfica*. Usuarios geofísica. Recuperado 13 de enero de 2022, de http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase 20 Correlacion estratigrafica.pdf

Arellano, J., de la Llata, R., Carreón, M., Morales, W., y Villareal Juan. (2002). *Ejercicios de Geología Estructural* (1.ª ed.). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.dict.unam.mx/

Babín, R., y Gómez, D. (2010). Problemas de Geología Estructural. 3. Orientación y proyección de líneas en el espacio. *Geología. Serie Geología Estructura;*, *2*. http://www.revistareduca.es/index.php/reduca-geologia/issue/view/11/showToc

Bardock. (1982). *Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador*.

Belousov, V. (1979). *Geología Estructural (V. Llanos, Trad.)* (2.ª ed.). Editorial MIR.

Billings, M. P. (1974). *Structural Geology (A. Herrera, Trad.)* (4.ª ed.). Editorial Universitaria de Buenos Aires.

BingMaps. (2021). *Ruta Loja - La Tingue*. Microsoft Bing. https://www.bing.com/maps/

Blyth, F. G. ., y de Freitas, M. H. (2000). *Geología para Ingenieros (J. López, Trad.)* (7.ª ed.). Compañia Editorial Continental.

Camargo, J. (2004). *Manual de Geología Estructural. Guía para la interpretación y elaboración de Mapas Geológicos* (1.ª ed.). Editorial Universidad Surcolombiana.

Castillo, H., Angamarca, L., Ojeda, F., y Cuenca, D. (2021). *Introducción a la petrografía* (Vol. 1). Atena Editora. https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/3871

Castro Dorado, A. (2015). *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas* (1.ª ed.). Ediciones Paraninfo, SA.

Ciudad Ciencia. (s. f.). *Cómo clasificar rocas*. Recuperado 13 de enero de 2022, de https://www.ciudadciencia.es/talleres/la-geologia-nos-habla/geo-clasificar-rocas/

CONALI. (2017). *Shapes de Límites Parroquiales*. https://www.gob.ec/conali

Corrales, Z., Rosell, J., Sanchez, L., Vera, J., y Vilas, L. (1977). *Estratigrafía*. Editorial Rueda.

Dávila, J. (2011). *Diccionario Geológico*. https://tysmagazine.com/libro-gratuito-diccionario-geologico/

Dávila Robles, B. S. (2017). *Estudio gravimétrico transversal meridional de la Cordillera de*

los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento. Tramo río Puyango – Loja. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. https://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/613/browse?type=author&order=ASC&rpp=20&value=Dávila+Robles%2C+Bonny+Sismay

Delgado, J., Padilla, F., Barrientos, V., y Universidad Da Coruña. (2010). *Prácticas de GEOLOGÍA. Mapas Geológicos y Problemas*.

Demek, J. (1972). *Manual of Detailed Geomorpholical Mapping*. Academia Praga.

Domínguez, M. (2003). *Geomorfología e inestabilidad de laderas en la cuenca carbonífera central (valle de Nalón Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del terreno* [Tesis doctoral, Universidad de Oviedo]. https://www.tesisenred.net/handle/10803/11133#page=1

Echeveste, H. (2018). *Manual de levantamiento geológico. Una introducción a la geología de campo* (1.ª ed.). Editorial de la Universidad de La Plata.

esri. (2016). *¿Qué son los datos ráster?* ArcGIS for Desktop. https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm

esri. (2020). *Introducción a SIG*. ArcGIS Resources. https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm

Explorock. (2020). *Fotointerpretación Geológica: Tips y Procedimientos de Cartografiado*. Explorock Soluciones Geológicas. https://www.explorock.com/fotointerpretacion-geologica/#:~:text=La observación de imágenes aéreas,recorridos o de poca accesibilidad.

Felicísimo, A. (1994). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Editorial Pentalfa. https://www.researchgate.net/publication/232423519_Modelos_Digitales_del_Terreno_Introduccion_y_Aplicaciones_en_las_Ciencias_Ambientales

Fraga, H., Polare, M., y Antola, M. (2017). *Rocas Ígneas*. https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Rocas Igneas 070317.pdf

Fuentes, J. (2020). Comparación de modelos de altura de la vegetación para estimación de biomasa en un bosque de manglar en el Caribe Colombiano. *Entorno Geográfico*, *19*, 1-18. https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/15888/Comparacion de modelos.pdf?sequence=1

García, M. (2012). Geologia estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas. Deformación dúctil: los pliegues y sus tipos. Mecanismos de plegamiento. Deformaciones frágiles: diaclasas y fallas. Características y tipos. Asociaciones de pliegues y fallas. En *Biología y Geología*. Editorial: Cenoposiciones. https://www.researchgate.net/publication/263925700_Geologia_estructural_Esfuerzos_y_deformaciones_de_las_rocas_Deformacion_ductil_los_pliegues_y_sus_tipos_Mecanismos_de_plegamiento_Deformaciones_fragiles_diaclasas_y_fallas_Caracteristicas_y_tipos_Asoc

Geovirtual. (2020). *Símbolos y colores en la leyenda*. Apuntes Geología General: Confección mapa. https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10a.htm

Gómez, I. (2020). *Vector vs Raster: ¿Cuál es la diferencia entre estos tipos o formatos de datos espaciales GIS?* ECOSCRIPT. https://ecoscript.org/vectorvsraster/

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

Gorshkov, G., y Yakyshova, A. (1970). *Geología General (V. Grekov, Trad.)*. Editorial MIR.

Grupo TYC GIS Formación. (2021). *¿Quieres especializarte en ArcGIS aplicado a la Geología?* CursosGIS. https://www.cursosgis.com/quieres-especializarte-en-arcgis-aplicado-a-la-geologia/

Hernández, M. (1986). *Petrografía de las Rocas Sedimentarias*. Editorial Pueblo y Educación.

IGM. (2013a). *«Proyecto de Generación de Geoinformación a Escala 1:25000 a nivel Nacional» para el cantón Olmedo provincia de Loja.* Catálogo de Metadatos. http://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/olmedo_loja.html

IGM. (2013b). *Shapes de Carta Topográfica a escala 1:50 000 de Chaguarpamba*. Geoportal. http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/

IIGE. (1980). *Hoja Geológia Zaruma, escala 1:100.000*. https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/

IIGE. (2013). *Hoja Geológica Zaruma, escala: 1:100 000*.

IIGE. (2019a). *Estándares de nomenclatura estratigráfica, simbolización y abreviaturas para la cartografía geológica. Versión 2.0*.

IIGE. (2019b). *Metodología para levantamiento geológico*. Mapas Temáticos. https://drive.google.com/file/d/1bVS_ZnU-QcOhyhgJ9yhyMcCFA2WntWq6/view

INMAHI. (2017). *Tipos de Climas del Ecuador a escala 1:100 000*. Geoinformación Hidrometeorológica. https://www.inamhi.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/

Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. (s. f.). *Elementos de los mapas geológicos*. gencat. Recuperado 13 de enero de 2022, de https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Atlas/Atlas-geologico-de-Cataluna/Elementos-de-los-mapas-geologicos

Iriondo, M. H. (2006). *Introducción a la Geología* (3.ª ed.). Editorial Brujas.

Jumbo, M. (s. f.). *Buzamiento real y buzamiento aparente: Definición y cómo medirlo*. GeotécniaFácil. Recuperado 13 de enero de 2022, de https://geotecniafacil.com/buzamiento-real-y-aparente/

Lopez Vergara, M. . (1988). *Manual de Fotogeología* (3.ª ed.). Editora CIEMAT.

MAE. (2015). *Plan de Reparación Integral de la cuenca del río Puyango*. http://pras.ambiente.gob.ec/documents/228536/737569/LIBRO_PRI_PUYANGO.pdf/94bcfdb4-bf26-4d3a-afa3-d5e87cf7398b

MAG. (2012). Modelos Digitales de Terreno (MDT) de la zona norte de la parroquia La Tingue. En *SigTierras*.

Maldonado, Y. (2020). *Pliegues Geológicos*. GEOLOGIAWEB. https://geologiaweb.com/geologia-general/pliegues/#more-559

Martínez, J. A. (1981). *Mapas Geológicos. Explicación e Interpretación* (2.ª ed.). Paraninfo.

Matellanes, R. (2017). *Modelo vectorial y ráster: ventajas y desventajas*. GeoInnova.

https://geoinnova.org/blog-territorio/modelo-vectorial-y-modelo-raster/

Narango, J. (2015). *Fotogeología práctica. Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia*. Editorial Universidad de Caldas.

Navarrete, E. (2017). Apuntes de Estratigrafía y Sedimentación. *ResearchGate*, 1-232. https://www.researchgate.net/publication/320532579_APUNTES_DE_ESTRATIGRAFIA_Y_SEDIMENTACION

Orozco, W., Sucursal, J., y Jiménez, J. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada . *Boletin de Ciencias de la Tierra*, 1-9. https://biblat.unam.mx/es/revista/boletin-de-ciencias-de-la-tierra/articulo/clasificacion-de-rocas-igneas-sedimentarias-y-metamorficas-en-secciones-delgadas-a-traves-programacion-estructurada

Pasotti, P. (2010). *GEOMECÁNICA*. https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Imp_Geomecanica_Introduccion_2010s1.pdf

Pilatasig, L., Idabango, E., Torres, C., y INIGEMM. (2013). *PROYECTO MODELO PILOTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL GEOLÓGICO- MINERALÓGICO DE LAS ZONAS ZARUMA Y CARIAMANGA A ESCALA 1:100.000.*

Pilatasing, L., Gordon, D., Palacios, O., y Sánchez, J. (2005). *PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO:GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS ECUADOR-PERU-CANADA*.

Pindo, J. (2007). *Cartografía Geológica de un Sector de la Península de Santa Elena mediante Sistemas de Información geográfica* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/6096?show=full&locale-attribute=en

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia «La Tingue» 2015-2019. (s. f.). Recuperado 13 de enero de 2022, de https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html

Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos*. CEDIG - IPGH - ORSTOM.

Reuter, F. (2022). Práctico 5. Principios de Fotointerpretación. En *Carpeta de Trabajos Prácticos: Teledección Forestal* (pp. 30-34). https://fcf.unse.edu.ar/archivos/lpr/pdf/

Rojas, A. (2017). *4. CLASIFICACION MODAL – TIPO DE ROCA*. Geología - Publicaciones. https://post.geoxnet.com/rocas-igneas-textura-descripcion-tipo/

Schmid, R. (1981). *Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Geology.

SENPLADES. (2013). *Cobertura Base IGM*. Archivos de Información Geográfica. https://sni.gob.ec/coberturas

Tarbuck, E. J., y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física (AMR Traducciones científicas,Trad.)* (8.ª ed.). Person Prentice Hall.

Tomás, R., Ferreiro, J., Sentana, I., y Díaz, M. (2002). *Aplicaciones de la proyección*

estereográfica en ingeniería geológica. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/21681

Universidad Nacional de San Luis. (2011). *ELEMENTOS DE GEOLOGÍA -PRINCIPIOS DE GEOCIENCIAS - GEOLOGÍA*. Trabajos Prácticos. http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/contenidos/apoyo_teorico/APU-2011-Fotointerpret.pdf

Universidad Nacional de San Luis. (2021). *Fotointerpretación*. Elementos de Geología. Trabajos Prácticos. http://www0.unsl.edu.ar/~geo/materias/Elementos_de_Geologia/documentos/documentos.html

Vera, J. (1994). *Estratigrafía Principios y Métodos*. Editorial Rueda.

Viteri, F., y IIGE. (2013). *Intructivo para el manejo de fichas de descripción macroscópica de muestras de rocas*.

11. Anexos.

Anexo 1. *Fichas de Descripción y Etiquetas.*

Anexo 2. *Mapa Topográfico a Escala 1:10 000 de la Zona Norte de la Parroquia La Tingue.*

Anexo 3. *Mapa Hidrográfico.*

Anexo 4. *Mapa de Pendientes.*

Anexo 5. *Mapa Geomorfológico.*

Anexo 6. *Puntos de Muestreo y Control.*

Anexo 7. *Listado de Afloramientos.*

Anexo 8. *Descripción de Principales Afloramientos.*

Anexo 9. *Descripción Petrográfica Macroscópica.*

Anexo 10. *Fotointerpretación (Análisis Geológico - Estructural) de la Zona Norte de la parroquia La Tingue.*

Anexo 11. *Mapa Geológico – Estructural a Escala 1:10 000 de la Zona Norte de la Parroquia La Tingue.*

Anexo 12. *Corte Geológicos Locales.*

Anexo 13. *Gráficas Utilizadas para la Descripción de Rocas.*

Anexo 14. *Certificación de Traducción del Abstract.*

(Ubicados en el CDR - 1)