

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

**ESTUDIOS DE LOS DEPÓSITOS CUATERNARIOS
ENTORNO A CHUNCHI (CHIMBORAZO):
MORFOESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN
PETROGRÁFICA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
GEÓLOGA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANA MARÍA ANDRADE VILLEGAS


anitanegas@hotmail.com

DIRECTOR: PhD. ANA CABERO DEL RÍO

ana.cabero@epn.edu.ec

DECLARACIÓN

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de titulación aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a dashed horizontal line.

ANA MARÍA ANDRADE VILLEGAS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana María Andrade Villegas, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'A. Cabero del Río', written over a horizontal line.

DIRECTORA
PH. D ANA CABERO DEL RIO

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a mi madre por ser mi ejemplo para seguir y demostrarme su apoyo incondicional, sin ella no estaría terminando este sueño de culminar mis estudios universitarios. Este es nuestro triunfo.

A mí, por lograrlo en tiempos muy difíciles que parecía que no lo iba a terminar.

A la Dra. Ana Cabero del Río por ser mi guía y transmitirme conocimientos desde paleontología y ahora con el desarrollo de esta tesis.

A la Ing. Alexandra Orozco por su paciencia y entrega a esta investigación, que desde el inicio de este trabajo hasta el final ha estado pendiente de mí.

Al Ing. Bernardo Beate por ser un gran maestro y amigo que me ha ayudado en el desarrollo de mi tesis.

Al Ing. Pedro Reyes por sus conocimientos compartidos a lo largo de carrera universitaria.

A la Ing. Yesenia Enríquez por su colaboración en la petrología de láminas delgadas.

Al Ing. Stalin Pilatasig por su ayuda en la elaboración de láminas delgadas.

A mi familia que me ha ayudado a seguir adelante y terminar este proyecto.

A mi amiga y hermana Daniela Torres con quien pase grandes momentos de la vida y seguimos coleccionando.

A la Ing. Valeria Armijos, por enseñarme tanto en la vida profesional como personal y estar conmigo sin importar la distancia.

A mis grandes amigos de la universidad m: Jonathan Jaramillo, Viviana Valenzuela, Sergio Espinoza, Christopher Saca, Yariv Díaz, David Morales y Leidy Zapata con quienes pase buenos y malos momentos, muchas gracias son los mejores.

DEDICATORIA

A mi Madre Carmen Andrade Villegas, por ser mi ejemplo de vida, mi compañera de aventuras, mi amiga confidencial y mi gran amor. Por demostrarme que cada tropiezo, siempre tenemos que volvernos a levantar. Todo lo que me enseñaste sobre el propósito de la vida, sigue y seguirá despertando en mí. Siempre juntas.

Te amo Mami.

RESUMEN

El Cantón Chunchi está ubicado en la zona del Valle Interandino, en la unión de la Cordillera Real y Occidental, el área de estudio de este trabajo se encuentra entre 2°17.3 S y 78°55.5W, al extremo sur de la provincia de Chimborazo. En la zona se realizó un estudio detallado de los depósitos cuaternarios incluyendo la caracterización petrográfica y realización de la cartografía geológica a una escala 1:25.000 para determinar la distribución espacial de las litologías y la ubicación de las estructuras que aparecen en esa zona. La cartografía y el trabajo de campo permitieron concretar la distribución espacial de las distintas unidades cuaternarias, estimar sus espesores, e interpretar su origen. Para esto se recopiló bibliografía y salidas de campo con el fin de obtener muestras de mano y realizar petrología (láminas delgadas), levantamientos de columnas estratigráficas y elaboración del mapa geológico. A través del estudio análisis se determinaron 6 Unidades Cuaternarias en la zona, y considerando las edades estimadas para la Formación Cangahua se pudo establecer edades relativas para las mismas.

Las unidades definidas incluyen: Unidad de Brechas Antiguas (Pleistoceno Medio-Inferior) compuesta de debris Flow y brechas consolidadas; Unidad Cangahua (Pleistoceno Medio-Superior) compuesta de tobas con líticos volcánicos; Unidad I de Terraza de Debris (Pleistoceno Medio-Superior); Unidad II de Terraza de Debris (Holoceno) compuesta de coluviones; Aluviales recientes (Holoceno) depósitos transportados por flujos de gua; y depósitos acumulados por Derrumbes recientes (Holoceno) producidos por fenómenos de remoción de masa que afectan a toda la zona. Todas estas unidades cuaternarias se acumularon sobre paleorelieves de las Formaciones volcánicas y volcanoclásticas de Puñay (Oligoceno-Mioceno) y Fm. Cisarán (Mioceno). En esta última Formación, se cartografió la distribución de una alteración hidrotermal que afecta a esos materiales en torno a Chunchi.

PALABRAS CLAVE: Unidades Cuaternarias, brechas, tobas, depósitos retrabajados, aluviales, coluviales

ABSTRACT

Canton Chunchi is located in the Inter-Andean Valley, at the junction of the Cordillera Real and Occidental, the study area of this work is located between 2°17.3 S and 78°55.5W, at the southern of the province of Chimborazo. A detailed study of the Quaternary deposits was carried out in the area, including petrographic characterization and geological mapping at a scale of 1:25,000 to determine the spatial distribution of the lithologies and the location of the structures that appear in that area. The mapping and field work made it possible to determine the spatial distribution of the different Quaternary units, estimate their thicknesses, and interpret their origin. For this purpose, bibliography was compiled, and field trips were made to obtain samples, and carry out petrology (thin sections), stratigraphy and the geological map. Through the analysis, 6 Quaternary Units were determined in the area, and considering the estimated ages for the Cangahua Formation it was possible to establish relative ages for them.

The defined units include: Old Breccia Unit (Middle and Lower Pleistocene) composed of Debris-flow consolidated breccias; Cangahua Unit (Middle and Upper Pleistocene) composed of tuffs with volcanic lithics; Debris Terrace Unit I (Middle and Upper Pleistocene); Debris Terrace Unit II (Holocene) composed of colluviums; Recent Alluvial (Holocene) deposits transported by water flows; and deposits accumulated by Recent Landslides (Holocene) produced by mass removal phenomena affecting the entire area. All these Quaternary units accumulated on paleo-valleys on the volcanic and volcanoclastic Puñay Formations (Oligocene-Miocene) and Cisarán Fm. (Miocene). In the latter Formation, the distribution of a hydrothermal alteration affecting these materials around Chunchi was mapped.

KEYWORDS: Quaternary Units, breccias, tuffs, reworked deposits, alluvial, colluvial

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

DECLARACIÓN	2
CERTIFICACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
DEDICATORIA	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
TABLA DE CONTENIDO.....	8
TABLA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLA.....	11
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcance.....	3
1.4. Localización de la zona de estudio.....	3
1.5. Clima y flora	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Litologías y Depósitos de materiales habituales en la zona de trabajo.....	5
2.1.1. Depósito Volcano-sedimentario.....	5
2.1.2. Depósitos Geomorfológicos	7
2.2. Contexto Geodinámico.....	11
2.3. Geología Regional	12
2.4. Marco Geológico del Valle Interandino (VI).....	13
2.5. Geología Local	13
2.6. Estratigrafía del área de estudio.....	14
2.6.1. Unidad Huigra	14
2.6.2. Formación Ocaña	15
2.6.3. Unidad Puñay	15
2.6.4. Unidad Alausí.....	15

2.6.5.	Foración Cisarán.....	15
2.6.6.	Formación Tarqui.....	16
2.6.7.	Depósitos Cuaternarios	16
CAPÍTULO III		19
3.	DATOS Y METODOLOGÍA.....	19
3.1.	Información de Campo.....	19
3.1.1.	Recopilación bibliográfica y Cartografía de la Zona	19
3.1.2.	Trabajo de Campo y Toma de Muestras.....	19
3.1.3.	Columnas Estratigráficas.....	20
3.2.	Metodología para el estudio de las muestras.....	20
3.2.1.	Muestreo Petrográfico	20
CAPÍTULO IV.....		24
4.	RESULTADOS	24
4.1.	UNIDADES LITOLÓGICAS	24
4.1.1.	Unidad Huigra	24
4.1.2.	Unidad Puñay:	26
4.1.3.	Fm. Cisarán:.....	26
4.1.4.	Zona Hidrotermal Alterada dentro de la Formación Cisarán	29
4.2.	UNIDADES CUATERNARIAS	33
4.2.1.	Unidad de Brechas Antiguas	33
4.2.2.	Unidad I de Terraza de Debris	41
4.2.3.	Unidad II de Terraza de Debris	47
4.2.4.	Aluviales y Derrumbes recientes.....	48
4.3.	Mapa y corte geológico de la zona de estudio	51
5.	DISCUSIÓN.....	54
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
6.1.	Conclusiones.....	59
6.2.	Recomendaciones	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		61
ANEXOS		65

TABLA DE FIGURAS

Figura 2.1.1.1 Matriz y grado de sorteo de los granos. Tomada de (Woodcock, 2005).	7
Figura 2.1.2.1 Desprendimiento o caída de rocas. Tomada de (Suarez, 2012).....	8
Figura 2.1.2.2 Flujo de detritos. Tomada (Suarez, 1998).	9
Figura 2.1.2.3 Esquema de los coluviones. Tomada de (Ochoa-Tejeda, 2009).	9
Figura 2.1.2.4 Planicie de inundación. (b) formación de terrazas (1,2,3,4,5). Modificado de (Huggett, 2011).	10
Figura 2.1.2.5 Tipos de Terraza a) Terrazas de acumulación. b) Terrazas erosivas. Tomado de (Núñez, 2011).	11
Figura 4.1.1.1 Lámina delgada de la muestra CH13-28-05-2021 A. Brecha con clastos andesíticos y volcánicos, con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP).....	26
Figura 4.1.1.2 Lámina delgada de la muestra CHUN-05 A. luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP).....	26
Figura 4.1.4.1 Afloramiento de Zona Alterada por la Ruta Magna (UTM:733384/9746619) y muestra de mano CH40-26-08-22	30
Figura 4.1.4.2 Lámina delgada de las muestras CH40-26-08-22; CH5-27-01; CH6-27-01 A. clasto silicificado de la brecha. Con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP)	31
Figura 4.1.4.3 Afloramiento macizo a lo largo de Kulpa con las siguientes coordenadas: (UTM:730357/9747986) y muestra de mano CH49-27-08-22.	32
Figura 4.1.4.4 Lámina delgada de las muestras CH49-27-08-22 A. Con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP).....	33
Figura 4.2.1.1 Unidad de brechas antiguas aflorando por la vía a Huigra en las siguientes coordenadas (UTM:728610/9746885;728579/9747010;728259/9748106;728304/9748089) y muestras de manos CH46-27-08-22; CH32-04-12-21; CH1-27-05-21; CH45-27-08-22.	36
Figura 4.2.1.2 Lámina delgada de la muestra CH1-27-05-21 (A), con luz natural (LPP). (B). Polarizador cruzado (XLP).....	37
Figura 4.2.1.3 Columna Estratigráfica de las Unidad de Brechas Cuaternarias	40
Figura 4.2.1.4 Unidad de brechas antiguas aflorando por la vía a Huigra en las siguientes coordenadas (UTM:728733/9746313;728775/9746243) y muestras de manos CH47-27-08-22; CH2-27-05-21	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.2.2.1 Lámina delgada de las muestras CH4-27-01; CH5-27-01; CH6-27-01 (A, C & D), con luz natural (LPP). (B, D & F). Polarizador cruzado (XLP)	43
Figura 4.2.2.2 Afloramiento de los depósitos antiguos y actual respectivamente (UTM: 730842/9746554; 730627/9746519) y muestras de manos CH12-27-05; CH55-27-08.....	44
Figura 4.2.2.3 Lámina delgada de las muestras CH12-27-05; CH55-27-08 (A, & C), con luz natural (LPP). (B, & D). Polarizador cruzado (XLP).	45
Figura 4.2.2.4 Columna Estratigráfica de la Terraza de Debrí.....	46
Figura 4.2.4.1 Lámina delgada de las muestras CH50-27-05 (A, & C), con luz natural (LPP). (B, & D). Polarizador cruzado (XLP).....	50
Figura 4.3. Mapa y corte Geológico de la zona.....	51
Figura 5. Evolución del Entorno.....	57

LISTA DE TABLA

Tabla 1.2.1 Coordenadas UTM de los lugares donde se tomaron los datos estudiados.....	22
--	----

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La región de estudio está ubicada en la zona del valle interandino en la unión de la Cordillera Occidental y la Cordillera Real, correspondiente al Municipio de Chunchi (Anexo 1). La zona se encuentra en el sistema de fallas Puná-Pallatanga-Cosanga-Chingual (PPCC), la cual ajusta la subducción oblicua entre las placas de Nazca y Sudamérica (Alvarado et al., 2016). Estas fallas están asociadas a la dinámica de subducción entre la placa de Nazca y Sudamérica. El relieve es escarpado, dominado por valles en V y en U, cuyas laderas experimentan alta inestabilidad gravitacional (Hughes & Pilatasig, 2002).

El Cantón Chunchi se ha visto afectado por diversos fenómenos de remoción en masa, como flujos de detritos y deslizamientos, entre ellos: el deslizamiento de tierra del 12 de febrero de 2021 que afectó al sector La Armenia, al oeste de Chunchi provocó la evacuación de más de 500 personas. Adicionalmente este deslizamiento bloqueó parte del Río Picay. (Servicio Nacional de Gestión y Riesgos, 2021). En el Cantón Chunchi, el deslizamiento de tierra de La Armenia suscitó un movimiento de masa, el cual afectó un área de 115.35 hectáreas con un volumen aproximadamente de 30 millones de metros cúbicos, que posteriormente bloquearía el río Picay lo que generó un flujo de detritos que destruyó varias poblaciones aledañas (Servicio Nacional de Gestión y Riesgos, 2021) Este movimiento de masa estuvo conformado por 3 deslizamientos de gran magnitud: 2 tipo rotacional y uno de tipo flujo (Petley, 2021).

En el área de estudio entorno a Chunchi, los depósitos cuaternarios involucran en su estructura componentes clásticos angulares a subredondeados con elementos aluviales rodeados de una matriz arenosa consolidada de manera variable. Además, sobreyacen potentes depósitos antiguos de coluviales y flujos de lo que se incluyen esencialmente elementos y matriz con carácter tobáceo (Eguez et al., 1992), los cuales están distribuidos alrededor del río Picay cerca de la unión con el río Chanchán.

Estos depósitos cuaternarios son generalmente materiales poco consolidados y que tienen distribución discontinua en la superficie. Estos materiales se han acumulado como resultado de procesos: glaciares, aluviales, fluviales y volcánicos, principalmente (Sepúlveda et al., 2005).

Los materiales cuaternarios del área pueden jugar un papel relevante en los deslizamientos del entorno en función del grado de consolidación, distribución, composición y espesores. Estudios geomorfológicos hechos por Instituto Espacial Ecuatoriano (2013) se enfocan en los fenómenos de remoción en masa típicos de la región, y precisan de información detallada sobre el origen de los depósitos cuaternarios, su distribución espacial y sus características petrográficas. El estudio

detallado de dichos depósitos es clave para analizar los fenómenos de remoción que han sucedido y pueden suceder en el futuro.

1.1. Justificación

En este trabajo de titulación se realizó un estudio detallado de los depósitos cuaternarios, ubicados alrededor de Chunchi, que implica la caracterización petrográfica y realización de la cartografía litológica-estructural a una escala 1:25.000 para determinar la distribución espacial de las litologías y la ubicación de las estructuras que aparecen en esa zona. El estudio contribuye a la interpretación de la evolución de estos fenómenos de remoción de masa (Rivera, 2013) para poder establecer la relación entre el marco litológico estructural con los procesos geológicos como vulcanismo, antiguos deslizamientos, cantidad de agua presente y factores externos como los sismos y la lluvia.

La cartografía y el trabajo de campo permiten concretar la distribución espacial de las distintas unidades cuaternarias, estimar sus espesores, e interpretar su origen. En el estudio de unidades cuaternarias juega un papel relevante la morfología de los depósitos, por lo que se analizaron las características geomorfológicas del entorno y de los depósitos, para caracterizar la morfoestratigrafía de las unidades cuaternarias (en un área de aproximadamente 60 Km²).

La petrografía se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas, según su textura, estructura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela las características y/o propiedades evaluables en los cristales y fragmentos de rocas que se relacionan o no genéticamente con la roca que los engloba (Crespi et al., 1980). La relación que existen entre ellos, lo que ayuda a determinar la composición de la roca, la naturaleza y origen de esta (Castroviejo & García, 1998).

El estudio de los depósitos cuaternarios del área de Chunchi ayuda a interpretar mejor su relieve y las características de las laderas que experimentan una inestabilidad gravitacional definidos por un lecho de roca debilitado y depósitos cuaternarios moderadamente consolidados que lo recubren. Este estudio contribuye al conocimiento geológico del sector y aporta a la definición de las áreas más susceptibles a los fenómenos de remoción en masa en el cantón Chunchi.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Generar el mapa de depósitos cuaternarios entorno a Chunchi a partir de la descripción morfoestratigráfica y caracterización litológica de los depósitos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los depósitos cuaternarios entorno a Chunchi a través de su estudio morfoestratigráfico.
- Describir las características litológicas de los depósitos cuaternarios del cantón Chunchi a través de su estudio en campo, petrográfico y en lámina delgada.

- Sintetizar la información morfoestratigráfica y litológica en una cartografía de depósitos cuaternarios del entorno de Chunchi (Escala 1:25000).

1.3. Alcance

El estudio de los depósitos cuaternarios entorno en Chunchi genera el mapa geológico a escala 1:25000, donde se concreta aspectos geomorfológicos, litoestratigráficos y estructuras utilizando datos levantados por medio de campañas de campo e información previa del deslizamiento que se generó en Chunchi. Además, la geología del cantón Chunchi es estudiada en detalle, mediante la descripción, caracterización y muestreo de los depósitos en campo, así como seleccionando muestras para analizar láminas delgadas y análisis petrográficos.

1.4. Localización de la zona de estudio

El área de estudio comprende alrededor del cantón Chunchi ($2^{\circ}17.3$ S y $78^{\circ}55.5$ W), y está ubicado al extremo sur de la provincia Chimborazo, donde se encuentra la unión entre las Cordilleras Occidental y Real de los Andes ecuatorianos. (Fig. 1.1)

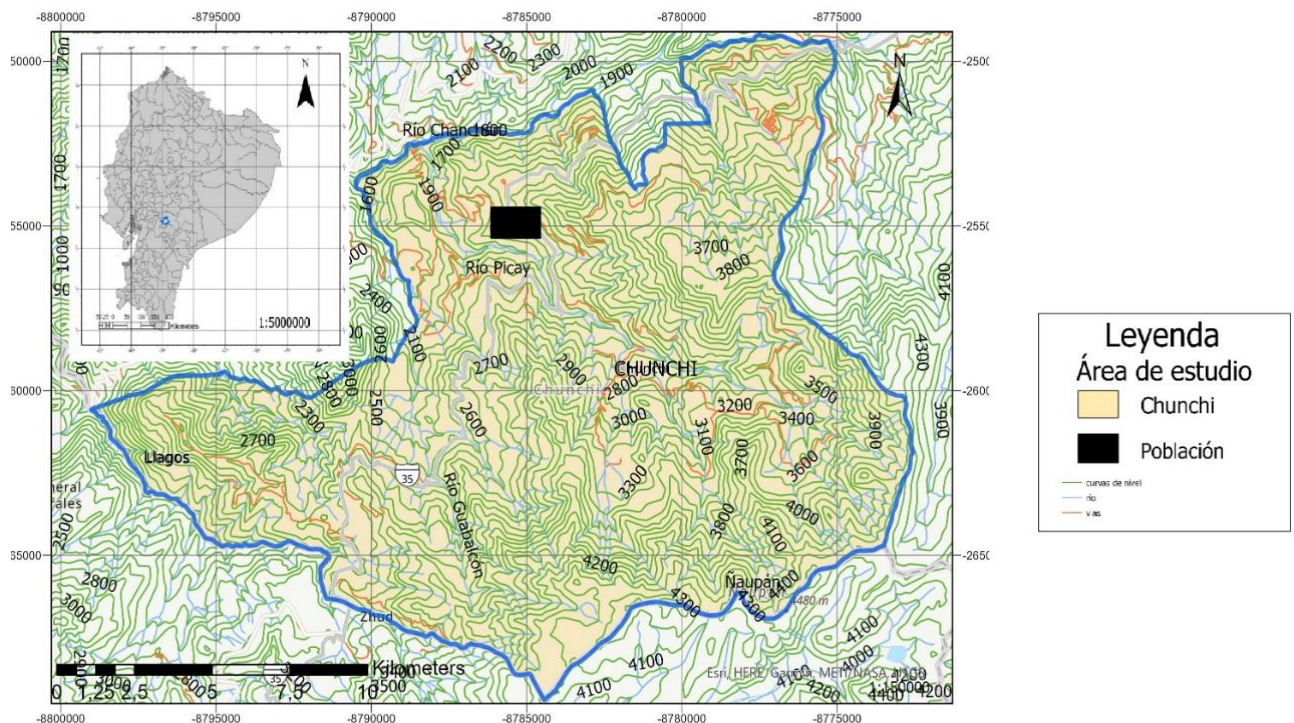


Figura 1.4 Localización de la zona de estudio

1.5. Clima y flora

La provincia de Chimborazo tiene diversidad de relieves (desde los 6310 msnm a menos de 1000 msnm) los climas son muy variados, aunque predominan del templado-frío con un promedio de 13°C . (Morillo & Ortiz, 2014) Así pues, el clima de

la zona es templado seco, con temperaturas medias entre 12 y 15 °C, el invierno, entre los meses de diciembre a abril es relativamente lluvioso y el verano casi seco (Pourrut, 1983), aunque, según información verbal de los moradores, durante la mayor parte del año se presenta ligeras lluvias y neblina en las últimas horas del día.

Esta variedad de ecosistemas es una gran oportunidad para sembrar distintos cultivos como maíz, habas, pepinos, alfalfa y frutas tropicales, así como criar la ganadería pues permiten la producción de una gran diversidad de alimentos de origen vegetal y animal.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Litologías y Depósitos de materiales habituales en la zona de trabajo

La génesis de las rocas volcano-sedimentarias depende de muchos factores como el clima o procesos sedimentarios, que involucran a la formación de los clastos, matriz y composición. En esta sección se explica los conceptos de los depósitos que son objeto de esta investigación.

2.1.1. Depósito Volcano-sedimentario

Depósito en cuya formación intervienen procesos volcánicos y sedimentarios (Díaz et al., 2019), por ejemplo flujos volcánicos en donde el material es de origen volcánico, y a medida avanza se incorpora material sedimentario (Umeres, 2014). Estos flujos se conocen como oleadas piroclásticas y el material más fino en suspensión en el aire se acumula, forma tobas.

- ❖ **Roca volcano-sedimentaria:** roca formada por fragmentos de rocas y minerales preexistentes, que han sido transportados hasta el lugar de depósito. Los minerales o rocas que las componen, se originan fuera del área de depósito y son transportadas a ella en forma de partículas sólidas por diversos agentes: agua, hielo, viento y acción de la gravedad (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Roca volcanoclástica:** roca compuesta principalmente por granos y clastos volcánicos o al menos en un 10% de su volumen por fragmentos de naturaleza volcánica, independiente del mecanismo de fragmentación y de acumulación (Teruggi, 1982).
- ❖ **Roca piroclástica:** material vidrio o cristal volcánico, fragmentos de lava y cenizas de dimensiones variables, formado explosivamente por fragmentación y trituración volcánica (Teruggi, 1982).
- ❖ **Clasificación de rocas piroclásticas:** (Gillespie & Styles, 1999) clasifica las rocas piroclásticas en función de la granulometría.

ROCAS PIROCLÁSTICAS (TOBAS)



Figura 2.1.1 Clasificación de rocas y depósitos piroclásticos en función de su granulometría. Tomada de (Gillespie & Styles, 1999).

- ❖ **Toba:** roca formada de fragmentos volcánicos compactados, generalmente son de 4mm de diámetro (The American Geological Institute, 1984).
- ❖ **Toba brechoide:** roca piroclástica cuyo contenido en fragmentos de diámetro superior a 64mm está entre el 25% y 75% del volumen de los piroclastos (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Brecha:** roca sedimentaria constituida, en más de un 50%, por elementos detríticos angulosos de más de 2mm de diámetro y rodeados por un cemento o una matriz detrítica fina (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Conglomerado:** también denominado rudita, es una roca sedimentaria constituida, en más de un 50%, por elementos detríticos de más de 2mm de diámetro y cementados entre sí por otra sustancia mineral o rodeados de matriz más fina. (The American Geological Institute, 1984).
- ❖ **Brecha volcánica:** compuesta por fragmentos de rocas volcánicas, incluyendo fragmentos de lava y de material arrancado de los conductos volcánicos durante las erupciones (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Brecha piroclástica:** roca formada en más de un 75% de su volumen por fragmentos de diámetros mayor de 64mm, entre los que predominan los bloques piroclásticos que son de forma angulosos o subangulosos. (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Brecha tobácea:** roca mixta piroclástica-epiclástica formada en más de un 75% de su volumen por fragmentos angulosos de diámetro mayor de 2mm (Díaz et al., 2019).

Todas las rocas anteriores poseen texturas elásticas, detríticas con presencia de fragmentos, materiales que se pueden clasificar como:

- ❖ **Clasto:** también denominado detrito, es un fragmento de un mineral, una roca o un fósil, que está incluido en un sedimento o una roca, formando parte constitutiva de ellos (Díaz et al., 2019).
- ❖ **Grano:** son partículas o cristales discretos que componen una roca o sedimento de tamaño arena (0.062-2mm) (The American Geological Institute, 1984).
- ❖ **Matriz:** las rocas sedimentarias detríticas presentan además de clastos, una matriz de grano más fino y/o un cemento que dan cohesión al sedimento. En una roca en la que ciertos granos son mucho más grandes que otros, y los granos de menor tamaño constituyen la matriz (The American Geological Institute, 1984). No existe un rango de tamaño absoluto para la matriz, por ejemplo la matriz de un conglomerado puede ser arena, limo o arcilla (Nichols, 2009).

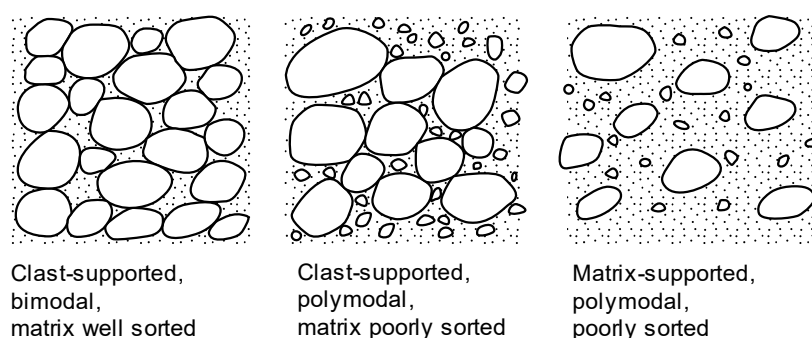


Figura 2.1.1 Matriz y grado de sorteo de los granos. Tomada de (Woodcock, 2005).

En función de la cantidad de matriz vs clastos, gravas, los sedimentos se pueden describir como:

Matriz soportados: se refiere al sedimento o roca, donde los clastos no están en contacto y la matriz rodea cada clasto, contienen un 15% o más del tamaño de la arena y una matriz clástica más fina (Woodcock, 2005). Los clastos detríticos gruesos flotan en una matriz detrítica de grano más fino (Fig.2.2).

Clasto soportados: los clastos se tocan entre sí y la matriz llena los vacíos o están rellenos con cemento químico (Woodcock, 2005), contienen menos del 15% de matriz, es decir, material compuesto de clastos más finos que el tamaño de los gránulos (2mm de diámetro o menos) (Fig.2.2.).

2.1.2. Depósitos Geomorfológicos

El análisis geomorfológico del entorno permite identificar los depósitos que se forman en superficies de origen gravitacional (de laderas), fluvial y por escorrentía superficial, glacial, eólico y litoral. Para esta investigación se toma en cuenta los de origen gravitacional y fluvial, ya que son los procesos que dominan las acumulaciones superficiales de la zona.

Movimientos en Masa: se le asigna a todo tipo de movimientos ladera debajo de una masa de rocas, detritos o suelo por efecto de la gravedad, estos movimientos pueden ser de baja velocidad y algunos otros pueden desarrollar grandes velocidades a lo largo del deslizamiento (GEMMA, 2007). Existe una variedad de clasificaciones de los movimientos de remoción en masa y se basan en los aspectos morfológicos del movimiento tanto como la superficie de rotura y área de depósito.

- *Deslizamiento*: es un movimiento de roca, suelo o una combinación de los dos, que ocurren principalmente en laderas de pendientes altas, estos deslizamientos se producen en una sola masa o en varias unidades a lo largo de una superficie de falla (Suarez, 1998). Las principales causas que producen deslizamientos se originan por la acción humana como la deforestación, las construcciones de edificios en las laderas, excavaciones, y factores naturales como los cambios climáticos y la sismicidad (Fig.2.3).

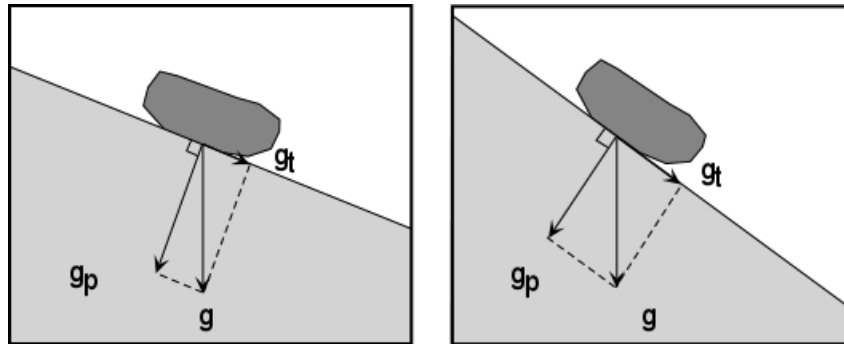


Figura 2.1.2 Deslizamiento. Tomada de (Suarez, 2012).

- *Desprendimiento*: son movimientos descendientes bruscos de roca o tierra, o ambos, que se desprenden de laderas empinadas o acantilados. El material que cae suele golpear el talud inferior en un ángulo menor que el ángulo de caída, lo que hace que rebote. La masa que cae se puede romper en el impacto, puede empezar a rodar en las pendientes más pronunciadas y puede continuar hasta que el terreno se aplane (Suarez, 2012) (Fig.2.4).

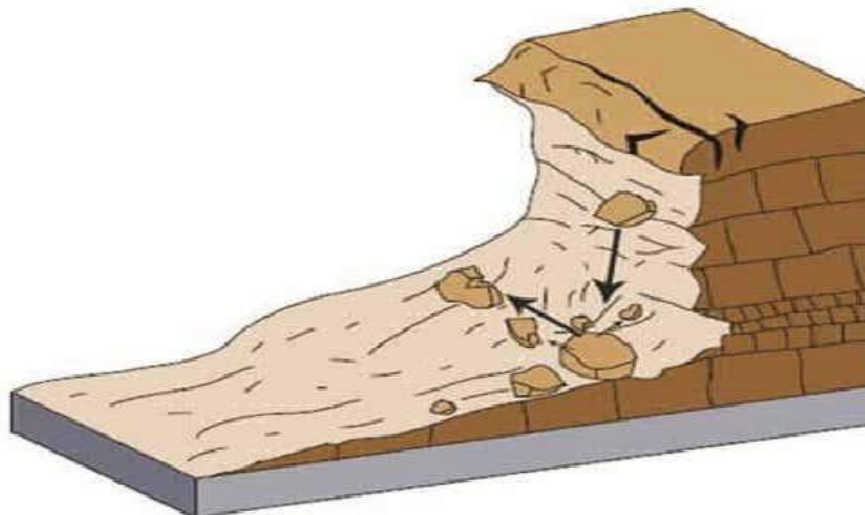
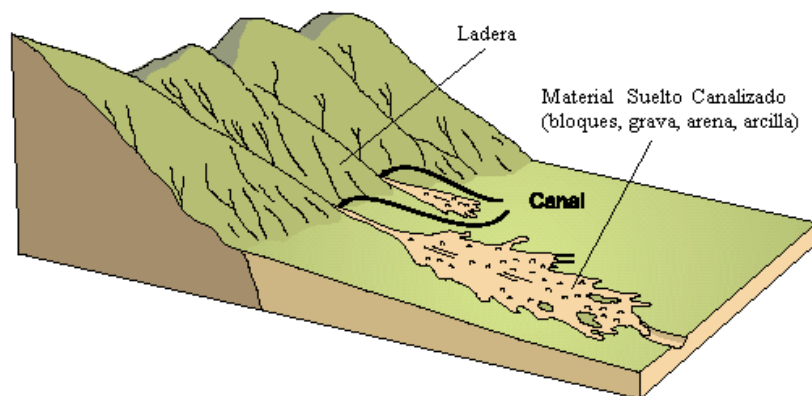


Figura 2.1.2.1 Desprendimiento o caída de rocas. Tomada de (Suarez, 2012).

- *Flujo*: es un movimiento de masa que durante su desplazamiento sobre una superficie de falla puede ser lento o rápido, como también pueden ser secos o húmedos (Cuervo, 2000). Esto se produce en algunos casos porque hay suelos que absorben agua debido a la presencia de fracturas, grietas por un deslizamiento anterior y está saturación produce la formación del flujo. Los diferentes tipos de flujos son lodo, roca o detritos (Suarez, 1998) (Fig.2.5).



FLUJO DE DETRITOS

Figura 2.1.2.2 Flujo de detritos. Tomada (Suarez, 1998).

Coluvión: es un término general que se aplica a los depósitos sueltos e incoherentes de tamaño limo a arena, generalmente al pie de una pendiente o acantilado que llegan ahí por la gravedad. Los escombros de taludes y acantilados están incluidos en estos depósitos (The American Geological Institute, 1984) (Fig.2.6).



Figura 2.1.2.3 Esquema de los coluviones. Tomada de (Ochoa-Tejeda, 2009).

Acumulaciones de materiales por flujos de agua:

Depósito aluvial: sedimento de los sistemas fluviales y, en general, de las corrientes de aguas superficiales (Díaz et al., 2019).

Depósito fluvial: sedimento depositado por las aguas circulantes en los valles fluviales (Díaz et al., 2019), formando terrazas fluviales que pueden ser superficies planas o casi planas, es decir presentan una pendiente relativamente suave a muy suave (0-5%). Estas terrazas se forman a partir de una llanura de inundación antigua, que se encuentran por encima del nivel máximo de aguas del cauce del río, a consecuencia de su incisión (Paez, 2019) (Fig.2.7a)

Depósitos de Terraza: depósito fluvial que configura un rellano en la vertiente de un valle fluvial, a una altura superior a la del curso del agua, y que representa a un

antiguo lecho fluvial en el que el curso de agua ha profundizado un nuevo cauce (Díaz et al., 2019) (Fig.2.7b).

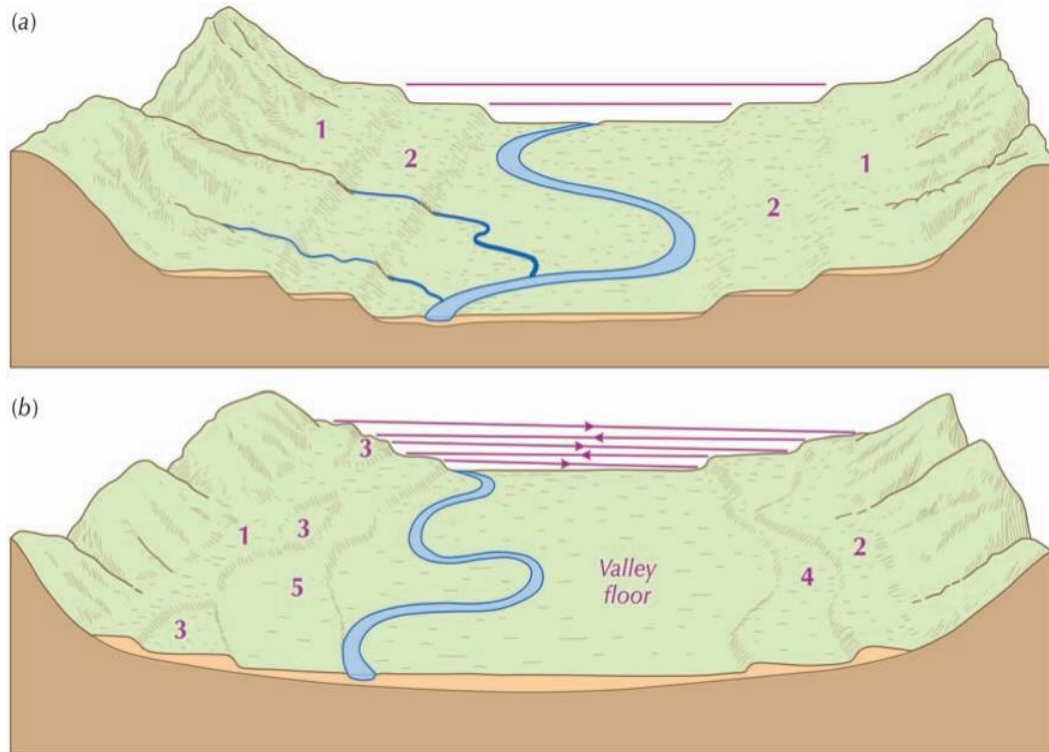


Figura 2.1.2.4 Planicie de inundación. (b) formación de terrazas (1,2,3,4,5). Modificado de (Huggett, 2011).

Tipos de Terraza: a partir de la génesis y de los factores como el clima o tectónica que involucran en la formación de las terrazas, existen dos tipos principales:

- *Terraza de acumulación:* se define por un depósito aluvial grueso enterrado hacia el fondo del valle, por lo general un valle antiguo que se encuentra sepultado por este tipo de terrazas. Los depósitos aluviales no erosionan a la roca, solo depositan todo el material arrastrado en su propio cauce (Núñez, 2011).
- *Terrazas erosivas:* se definen por tener una base erosión subhorizontal, marcando el contacto entre la terraza y la roca, siendo de carácter aluvial el material de la terraza (Núñez, 2011).

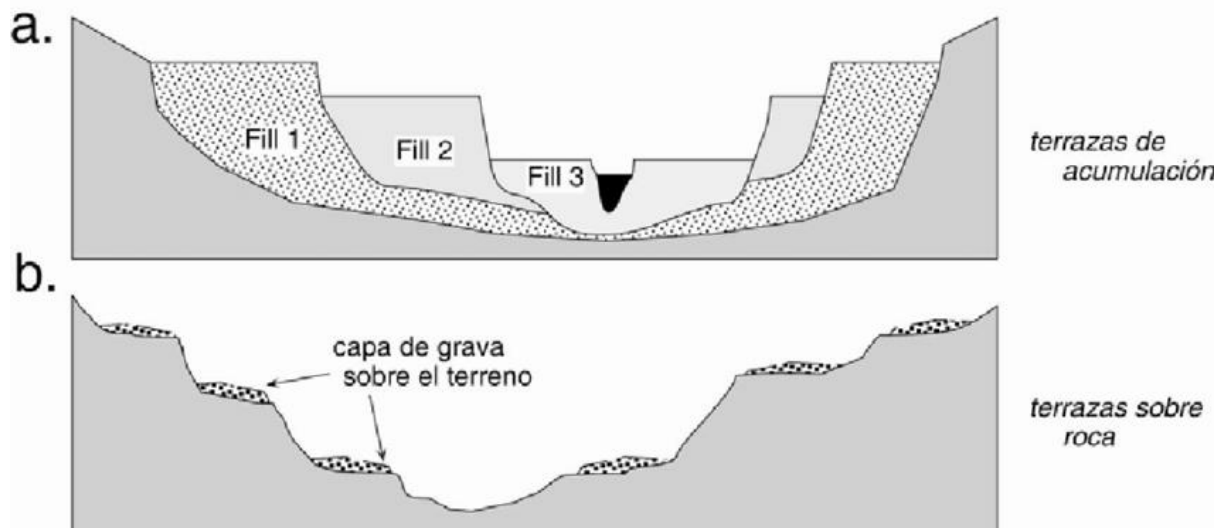


Figura 2.1.2.5 Tipos de Terraza a) Terrazas de acumulación. b) Terrazas erosivas. Tomado de (Núñez, 2011).

2.2. Contexto Geodinámico

La actividad tectónica ecuatoriana corresponde a un margen convergente por la interacción de las placas tectónicas Sudamericana y Nazca (Fig.2.2). La subducción de las placas provoca levantamientos orogénicos, volcanismos y deformación a lo largo del margen continental.

La placa oceánica de Nazca subduce por debajo de la placa continental sudamericana con una velocidad de convergencia aproximadamente 60-70 mm/año en una dirección W a E (Trenkamp et al., 2002)

El margen activo ecuatoriano está influenciado por la entrada en subducción del Carnegie Ridge, ubicado en la placa Nazca, la cual es la responsable del desplazamiento relativo del Bloque Norandino hacia el NE, además su ingreso por debajo del continente influye directamente en la tectónica regional (Gutscher et al., 1999).

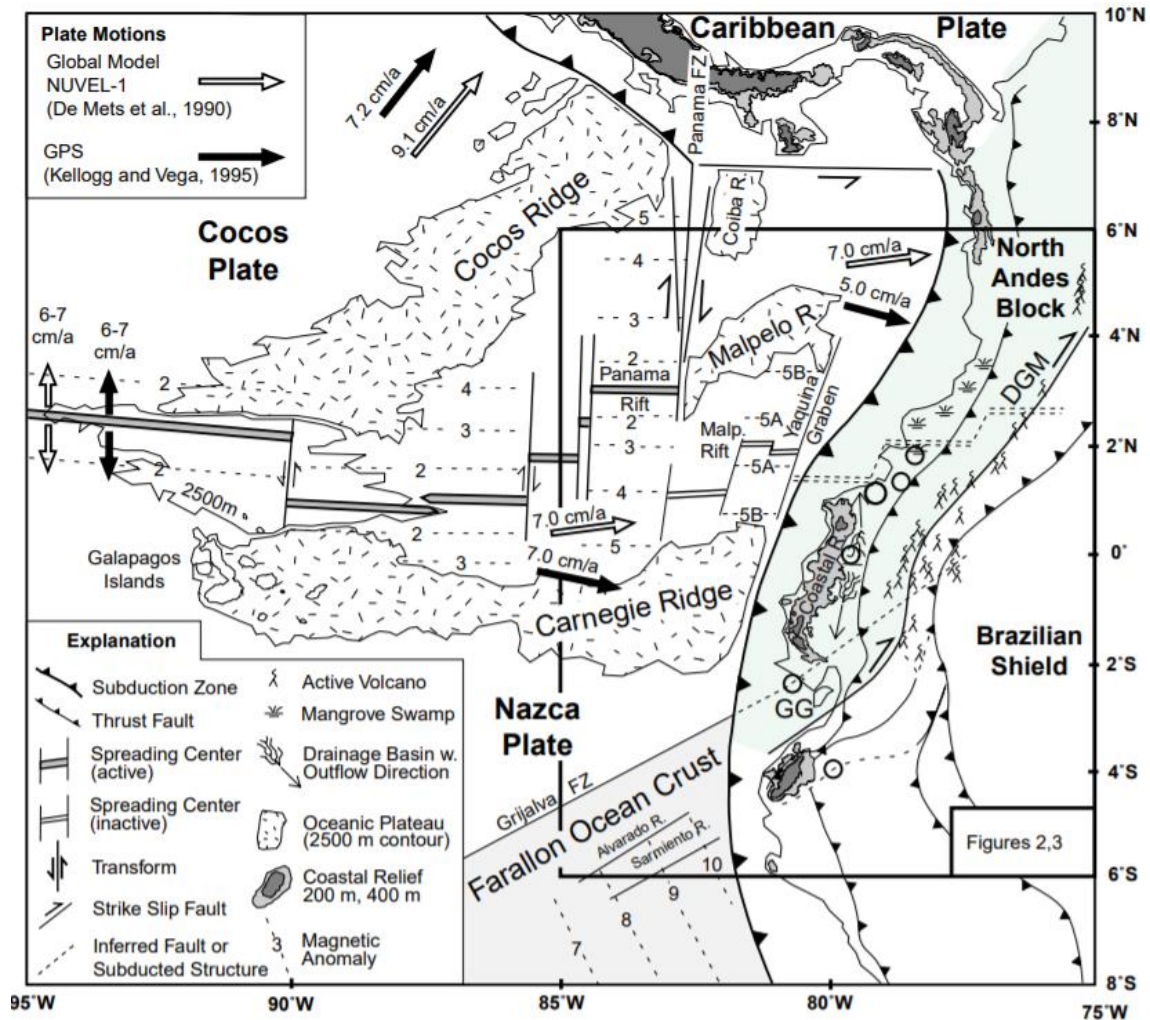


Figura 2.2. Esquema del Contexto geodinámico del Ecuador. Tomado por Gutscher et al., (1999).

2.3. Geología Regional

Debido al margen convergente se ha desarrollado cinco regiones morfotectónicas: Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y Cuenca Oriente; cada una de ellas reflejan un ambiente tectónico y geodinámico particular (Vallejo, 2019).

La costa ecuatoriana comprende toda el área al oeste de los Andes, compuesta por el basamento de origen oceánico de la Fm. Piñón, cubierta por rocas sedimentarias desde el Cretácico al Cuaternario (Reyes, 2012).

La Cordillera Occidental está compuesta por terrenos alóctonos, incluidos fragmentos de corteza ofiolítica y oceánica, acrecionada en el margen sudamericano durante el Cretácico tardío y el Terciario temprano (Vallejo, et al., 2009; Hughes & Pilatasig, 2002). Los terrenos alóctonos son dos: uno más antiguo denominado terreno Pallatanga (Cretácico), que consiste de un plateau oceánico y turbiditas, y el otro terreno más joven denominado Macuchi (Paleoceno tardío-Eoceno), que comprende una secuencia de volcasedimentario de arco de isla (Hughes & Pilatasig, 2002).

La Cordillera Real u Oriental consiste de cinturones sublineares alargados de rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico, intruidos por granitoides de tipo S e I, y

cubiertas por depósitos volcánicos del Cenozoico (Hughes & Pilatasig , 2002). Estas rocas han sido afectadas por una sucesión de eventos tectónicos y magmáticos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario, que corresponden a cinco terrenos litotectónico son de oeste a este: Terreno Guamote, Terreno Alao, Terreno Loja, Terreno Salado y Terreno Zamora (Litherland, et al., 1994).

La Cuenca Oriente, es una cuenca del retroarco de edades Cretácico Tardío-Cuaternario que se desarrolló en el margen de la placa Sudamericana, como respuesta al crecimiento de la Cordillera Oriental (Ruiz et al., 2004). Asimismo, la Cuenca Oriente forma parte del sistema ante-país Marañón-Oriente-Putumayo (Barragán et al., 2005) desarrollado entre el basamento Pre-Cámbrico del escudo Brasileño-Guyanes al este, y la Cordillera Real al oeste.

El Valle Interandino, es una depresión tectónica que hospeda depósitos volcánicos gruesos, geomorfológicamente situada entre las Cordilleras Occidental y Real, de dirección N-S a NNE-SSW, de 25 km de ancho, 300 km de largo que va desde 0°30'N (zona del Chota) hasta 2°10'S (zona de Alausí) y que empezó a formarse desde el Mioceno Tardío-Plioceno (Hughes & Pilatasig , 2002).

2.4. Marco Geológico del Valle Interandino (VI)

El Valle Interandino en el que se ubica el área de interés, comprende una estructura extensional de ocurrencia regional limitada por fallas sinestral-dextral activas que corresponden a fallas regionales que separan el Valle de las Cordilleras Real y Occidental (Villagómez, 2003). Estas fallas regionales se limitan a las cordilleras mencionadas.

En la Cordillera Occidental, está limitado por el sistema de fallas Calacalí-Pallatanga-Pujilí (Villagómez, 2003; Winkler et al., 2005). Este sistema de fallas representa una sutura entre el margen continental sudamericano y las rocas oceánicas acumuladas (Aspden & Litherland, 1992) conocida como el Melange Tectónico (Unidad de Pujilí), a lo largo de la sutura ocurrió en algún tiempo entre 85Ma-60Ma, la acreción del terreno Pallatanga y el margen continental (Spikings et al., 2005). En cambio, en la Cordillera Oriental o Real, está limitado por la Falla Péltetec, que se interpreta como el resultado de la acreción de una cuña que incluyó rocas oceánicas y continentales que en parte fueron extraídas de la propia Cordillera Real durante Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Villagómez, 2003).

Para entender la formación del Valle Interandino, estudios recientes (Winkler et al., 2005), proponen un modelo de la formación del Valle Interandino, que resulta del desplazamiento a lo largo de la banda comprimida (*restraining bend*) formando una cuenca de tipo pull-apart *spindle shaped*, que se abrió y cerró como movimiento de tijeras entre las dos cordilleras. Según (Villagómez, 2003) la apertura originó la formación de una cuenca que se llenó con depósitos volcánicos, aluviales, fluviales y lacustres de manera inmediata, aunque (Spikings et al., 2005), indica que las dos cordilleras fueron solo una cadena montañosa antes del Mioceno Tardío, cabe recalcar que estos trabajos tienen poca evidencia de campo hasta el sur del Valle Interandino.

2.5. Geología Local

La geología del cantón Chunchi, que es nuestra área de interés, se desarrolla en la parte sur del Valle Interandino, que se encuentra entre las cordilleras Real y

Occidental, esa parte es pobremente conocida y debatido por varios autores sobre la estratigrafía y geología.

De acuerdo con Feininger & Bristow, (1980) el relleno volcanosedimentario Plio-Cuaternario fue depositado posiblemente sobre las rocas antiguas de las cordilleras que constituían el basamento del Valle Interandino.

Según Winkler et al., (2005), dentro del Valle Interandino, se formaron desde el Mioceno Tardío al Plioceno, una serie de cuencas intramontañosas desde el norte al sur, como Chota, Quito-Guayllabamba, Latacunga-Ambato y Alausí-Riobamba, las cuales se rellenaron con sedimentos de edad Mioceno Tardío a Holoceno.

2.6. Estratigrafía del área de estudio

Para realizar la estratigrafía y conjuntamente la petrografía se basó primeramente en las salidas de campo, donde se observó afloramientos y se obtuvo muestras de mano, con el fin de realizar láminas delgadas y levantamiento geológico.

La estratigrafía de esta zona es poco conocida, empezando con el basamento del Valle Interandino, según Bruet, (1949) revela un basamento de composición metamórfica y máfica por la presencia de xenolitos metamórficos en lavas del complejo volcánico Pichincha, localizado en el margen occidental del Valle Interandino.

Los afloramientos de rocas parecidas a las cordilleras Real y Occidental sugiere una continuidad de las rocas de Cordillera Real bajo el Valle Interandino (Villagómez, 2003). En cambio, para Eguez et al., (1992), el basamento es tectónicamente complejo e involucra a rocas de la Cordillera Real y Occidental en una cuña de acreción debido por la separación de parte de la Cordillera en el Jurásico-Triásico Temprano.

Las Unidades geológicas descritas en la zona por diferentes autores, se mencionan a continuación:

2.6.1. Unidad Huigra

Litología: La Unida Huigra, según Eguez et al., (1992), considera que es lo más antiguo de Chunchi, donde se incluye a las rocas andesíticas previamente agrupadas en la Fm. Macuchi. En esta Unidad incluye de andesítas, brechas volcánicas andesíticas e intercalaciones volcano-sedimentarias, que el autor divide en dos miembros:

Miembro inferior: consiste de mantos de lavas verdosas y grises, de composición andesítica, porfiríticas con hornblendas y plagioclasa, a veces de carácter tobaceo.

Miembro superior: consiste de brechas volcánicas estratificadas con escasas intercalaciones de lavas andesíticas. Localmente, con secuencias métricas de volcano-sedimentario formados por microconglomerados, grauvacas, limolitas de colores negros, verdes y rojo violeta.

Ocurrencia: La Unidad aflora a lo largo del valle del río Chanchán, desde los 2200 msnm al este hasta los 900 msnm al oeste (cerca de la confluencia del río Angas). El miembro inferior se observa al este de la estación de Chanchán hasta la Nariz del Diablo y desde Huigra hasta el oeste del río Chanchán

Además, se encuentra a lo largo de la carretera Alausí-Huigra-El Truinfo (Dunkley & Gaibor, 1997; Eguez et al., 1992), donde se observa el miembro superior a lo largo de la vía férrea y sobre la carretera de El Triunfo hasta el oeste de Huigra.

Edad: en rocas andesíticas obtuvo una edad oligocénica de K/Ar de 35.9 ± 0.9 Ma (Eguez et al., 1992).

2.6.2. Formación Ocaña

Litología: consiste en tobas de flujo de ceniza dacíticas masivas, ricas en cristales redondeados de cuarzo y feldespato en una matriz vítrea, que se depositaron sobre un basamento de rocas metasedimentarias (Dunkley & Gaibor, 1997).

Ocurrencia: La toba de flujo de ceniza dacítica se rastrea en un cinturón continuo desde el área de Ocaña hasta el norte del valle de Chanchán, donde están expuestos a lo largo de la carretera Huigra- El Triunfo y entre la Quebrada San Carlos y Río Angas (Dunkley & Gaibor, 1997).

Edad: La toba de flujo de ceniza dacítica, según Dunkley & Gaibor, (1997) considera una edad de 37.8 ± 3.5 Ma.

2.6.3. Unidad Puñay

Litología: está compuesta por lavas andesíticas, brechas de color verde y rojo púrpura debido a los depósitos por flujo de masa, areniscas volcánicas que incluyen red beds. (Dunkley & Gaibor, 1997).

Ocurrencia: aflora en una faja de dirección NE entre Chanchán y Javin, donde predomina el cerro Puñay que se sitúa en la parte central de la faja, además, están plegados a lo largo de los ejes de tendencia NE y superpuestas discordantes por estratos subhorizontales de las Formaciones Cisarán y Turi (Dunkley & Gaibor, 1997)

Edad: se desconoce la edad de esta unidad pero por analogías con rocas similares al norte, que se han datado radiométricamente, por lo que podría ser del Oligoceno tardío o del Mioceno temprano (Dunkley & Gaibor, 1997).

2.6.4. Unidad Alausí

Litología: Espesor de 2000m y está compuesta de aglomerados, lavas andesíticas a riolíticas, brechas volcánicas, tobas soldadas ácidas e intercalaciones sedimentarias, con carácter tobáceo (Eguez et al., 1992).

Ocurrencia: Los principales afloramientos se localizan sobre la carretera Pallatanga-Alausí, en el paso de Alpachaca hacia Sibambe y sobre la carretera Tixán-Alausí-Chunchi (Eguez et al., 1992).

Edad: Las primeras estimaciones fueron Paleogeno, (DGGM, 1975). En cambio, según Eguez et al., (1992) las dataciones radiométricas indican una edad Miocénica.

2.6.5. Formación Cisarán

Litología: según Dunkley & Gaibor, (1997), tiene un espesor de aproximadamente 2500m y consiste esencialmente de 3 unidades subhorizontales:

Lavas inferiores: Las rocas expuestas a lo largo de la carretera entre Alausí y Chunchi consisten en lavas andesíticas y dacíticas microporfídicas de color gris

pálido a gris oscuro con cantidades menores de brechas. Las lavas tienen formas tabulares y lenticulares, son de grano fino a casi vítreo y contienen fenocristales de plagioclasa, anfíbol, ortopiroxeno y clinopiroxeno. El método de fission track de circón las dató en 6.9 ± 0.7 Ma (Dunkley & Gaibor, 1997)

Rocas Volcanoclásticas: En la zona Chunchi-Cerro Cisarán tiene un espesor aproximadamente de 1500m y consiste de brechas de clastos muy gruesos y mal sorteadas pero también incluyen areniscas, tobas retrabajadas y rocas piroclásticas Steinmann, (1997) con el método de fission track de circón de una toba fina las dató en 6.8 ± 0.8 Ma.

Lavas superiores: Las lavas se intercalan dentro de las rocas volcanoclásticas y también se superponen. Estas lavas superiores se presentan en el páramo al sureste de Cerro Cisarán, Coronado, Estero y Carshao y se extiende hasta la Cordillera Real. La litología de las lavas superiores son similares a las lavas inferiores con rocas afaníticas y microporfídicas de grano fino, contiene fenocristales de plagioclasa y anfíbol, de composición andesita a básicas de dacita con alto contenido de sílice.(Dunkley & Gaibor, 1997).

Ocurrencia: La formación Cisarán está aflorando en el área de Guasuntos-Achupallas, también cerca de Chunchi y también expuesta a lo largo de la carretera entre Zhud y Tixan (Dunkley & Gaibor, 1997)

Edad: De acuerdo a DGGM, (1975) se presume de edad Paleogénica. En cambio Eguez et al., (1992), asignó las rocas de la formación en el área Alausí una edad Mioceno a Plioceno.

2.6.6. Formación Tarqui

Litología: son tobas ácidas calinizadas, muy meteorizadas de tonalidades rojas y blancas. Su principal característica es la abundancia de cristales euhédricos de cuarzo.(Dunkley & Gaibor, 1997).

Ocurrencia: por su meteorización es difícil reconocer la fuente original de los depósitos, aunque por su evidencia de reelaboración dentro de las tobas rellenas de conglomerado, se exponen en el tramo de la carretera de Sunsun. (Dunkley & Gaibor, 1997). Esta Formación cubre las unidades de Huigra y Alausí, junto con deslizamientos y cangahua. (DGGM, 1975)

Edad: según (Hungerbühler et al., 2002) comparó estos depósitos en la cuenca de Cuenca con la Fm. Tambo Viejo de la cuenca Nabón, por lo que asigna con el método de fission track una edad de Mioceno tardío 6.3 ± 1.0 Ma. En cambio, (Eguez et al., 1992) establece una edad plio-cuaternaria, aunque se debe realizar una discriminación cartográfica detallada, puesto que el volcanismo de esta edad parece ausente en la parte sur.

2.6.7. Depósitos Cuaternarios

Sobre estas unidades mencionadas se encuentran los depósitos glaciares, coluviales, aluviales, deslizamientos y cangahua. La génesis de estos depósitos cuaternarios se vinculan a levantamientos y hundimientos verticales en los Andes, erupciones volcánicas y glaciaciones (Sauer, 1950).

2.6.7.1. Unidad Cangahua

Litología: Según Hall & Beate, (1991), la cangahua consiste de tobas alteradas, típicamente de colores amarillentos a marrones, el material es vesicular de color café

oscuro, con presencia de líticos en bajo porcentaje. Su mineralogía es de andesitas volcánicas (Hoffstetter, 1952) de composición plagioclasa, hornblenda, biotita, augita, cuarzo y fragmentos de líticos. En algunos casos se encuentran intercaladas con tobas en capas decimétricas a métricas. Cabe resaltar que la cangahua es bastante resistente a la compresión pero sumamente débil a la erosión mecánica de las aguas y también a la acción del viento.

Ocurrencia: constituye la última fase del volcanismo cuaternario y se encuentra distribuida en todo el cantón. Los depósitos volcánicos cuaternarios consisten principalmente en cangahua, que cubre casi todo el Valle Interandino actual, expandiéndose desde el noroeste hasta el sur (área de Huigra) (Dunkley & Gaibor, 1997). El espesor es variable. Es mayor hacia las depresiones, valles y planicies y disminuye regionalmente hacia el sur, desde unos 100 metros en el norte hasta 22 metros en la provincia Chimborazo (Villagómez, 2003).

Edad: Existe varias edades radiométricas de cenizas para la Unidad Cangahua indicando un rango de 0.26Ma-0.01 Ma (Hall & Mothes, 1996). Evidencia arqueológica, sugiere que la depositación pudo llegar hasta 12900 años y contiene fósiles descritos como del Pleistoceno Superior al Holoceno (Hoffstetter, 1952).

2.6.7.2. Depósitos Aluviales

Litología: depósitos aluviales principalmente compuestos de gravas medias a gruesas intercaladas con material laharítico y tobas, el tamaño de grano va de centímetros a métricos. El espesor es variable aunque no muy potente.

Ocurrencia: El aluvión está presente en todos los valles de los ríos y forma superficies muy extensas a lo largo de los márgenes de la cordillera en la llanura costera y en la cuenca de Cuenca. Están distribuidos principalmente hacia las riberas del río Chanchán y sus afluentes. Las terrazas aluviales ocurren en algunos de los valles más grandes, como por ejemplo en el Valle de Chimbo al sur de Pallatanga y cerca de Alausí y Simbabi (Dunkley & Gaibor, 1997).

Edad: Los depósitos aluviales son sedimentos jóvenes o nada consolidados relacionados con la actividad fluvial del Holoceno (Villagómez, 2003).

2.6.7.3. Depósitos Coluviales

Litología: compuestos por clastos angulosos métricos a milimétricos de composición polimíctica en una matriz arenosa que rellenan los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas. Los clastos son subredondeados provienen de rocas volcánicas y piroclásticas, con poco aporte sedimentario y metamórfico.

Ocurrencia: ubicados al pie de las vertientes abruptas de los relieves tectónicos erosivos y volcánicos como consecuencia del transporte gravitacional de los materiales resultantes de la desintegración de los relieves primarios. Estos depósitos están asociados generalmente a movimientos de masas y se depositan en las base de las laderas y pueden ser transportados desde pocos metros hasta algunos kilómetros (Suarez, 1998).

Edad: Cuaternaria (Dunkley & Gaibor, 1997).

2.6.7.4. Depósitos Glaciares y Valles glaciares

Litología: compuestos litológicamente por tillitas, arenas, gravas y bloques sedimentarios de composición variable, estos materiales han sido arrastrados y depositados en las partes bajas (Dunkley & Gaibor, 1997).

Valle en U: El valle en U es originado por la erosión glaciaria que movilizaba grandes masas de hielo erosionando las paredes y dejando a su paso una forma U, esta forma es dada por los flancos rocosos con pendientes que van desde muy suave a suave, que dominan un fondo plano y relativamente ancho. En el cantón Chunchi los valles en U se localizan en las zonas de Pumamaqui y Coronado (Pilatasig, 2021), a alturas entre 1760 y 4160 m.s.n.m.

Uno de los hechos más representativos de la geomorfología cuaternaria fue la ocurrencia de glaciaciones, no solo modelaron directamente los paisajes, sino que a la vez produjeron incidencias indirectas prácticamente en todo el cantón. De esta manera los voluminosos depósitos coluviales de deslizamiento se ubicaron durante las fases de cambios de un periodo glaciario a otro. Con todos estos sucesos ocurridos se pueden reconstruir los hechos que fueron modelando la actual morfología del cantón Chunchi (Pilatasig, 2021).

CAPÍTULO III

3. DATOS Y METODOLOGÍA

El trabajo de titulación abarco la aplicación de metodologías de recopilación bibliográfica, selección de área de muestreo, trabajo de campo, búsqueda y recolección de muestras, análisis de laboratorio y representación de los resultados.

3.1. Información de Campo

3.1.1. Recopilación bibliográfica y Cartografía de la Zona

Se recopiló publicaciones científicas relacionadas a la zona de estudio como:(Eguez et al., 1992); (Hungerbühler et al., 2002); (Winkler et al., 2005); (Hughes & Pilatasig, 2002), pero existe poca información dentro de la zona de estudio en lo que concierne al cantón Chunchi.

También se obtuvo información a partir de informes de (Servicio Nacional de Gestión y Riesgos, 2021);(Rivera, 2013), blogs y conferencias relacionadas al cantón Chunchi y al deslizamiento que sucedió el 12 de febrero de 2021 de (Pilatasig, 2021);(Petley, 2021).

Los estudios cartográficos empleados para la descripción geológica del área de estudio se basaron en (Dunkley & Gaibor, 1997);(Eguez et al., 1992). A partir de esta información junto con el trabajo de campo se realizó el mapa Geológico del cantón Chunchi en el software de ArcGis Pro 2.6.0 con el sistema de referencia de coordenadas de la proyección Universal Transversal del Mercator (UTM), Datum WGS84 Zona 17S a escala 1:25000.

3.1.2. Trabajo de Campo y Toma de Muestras

Una vez realizado un análisis general de las morfologías se determinó la presencia de terrazas jóvenes y los depósitos cuaternarios. Se realizaron 4 campañas de campo para verificar los depositos cuaternarios y encontrar contactos para establecer la litología y determinar unidades, realizando columnas estratigráficas y análisis petrográfico.

En la primera y segunda salida de campo se reconoció los principales afloramientos de la terraza de Chunchi, se definieron litológicamente algunas zonas de interés y se obtuvieron muestras petrográficas.

Para la tercera campaña de campo se recorrió el entorno del deslizamiento de Chunchi, el río Chanchan y el río Picay para definir la litología, recolectar muestras petrográficas y levantamiento de columnas estratigráficas.

En la última salida de campo se recorrió más al NO de Chunchi para definir la zona hidrotermal y recolectar muestras, y nuevamente verificar la terrazas de Chunchi que se ubican al SO, con el fin de entender si son del mismo material.

En el entorno del deslizamiento, tanto en el flanco izquierdo como en el flanco derecho del deslizamiento, se recolectaron muestras para comparar la litología y levantar columnas estratigráficas para presentar las formaciones y unidades que rodea dicho deslizamiento.

3.1.3. Columnas Estratigráficas

Para el levantamiento de columnas estratigráficas se consideró a partir de la recopilación bibliográfica y las campañas de campo. En la primera y segunda campaña de campo se realizó una trayectoria de 5 km en la ciudad de Chunchi, donde se asienta en una terraza joven. A primera instancia se levantó una columna estratigráfica de acuerdo a su litología, el espesor, el color, el tamaño de grano, la petrografía y los contactos geológicos. Posteriormente, para la tercera campaña de campo, con reconocimiento de vías y caminos de acceso por el río Chanchán, Picay, y el deslizamiento se copiló la litología descritas de afloramientos mediante columnas estratigráficas.

En total se recorrió 21 km de caminos, con descripción de 55 puntos de afloramientos. El levantamiento de las columnas se centró en las unidades cuaternarias, objeto de este estudio. Se copiló la información de campo y petrográfica y levantamiento de 3 columnas de 120m, 123m y 36m correspondientes a 3 unidades morfoestratigráficas cuaternarias definidas en campo.

3.2. Metodología para el estudio de las muestras

A partir del reconocimiento geomorfológico del cantón Chunchi se definieron áreas de interés para extraer muestras de rocas y ubicarlas dentro de una bolsa plásticas ziploc, anotando sus respectivas coordenadas tanto en las bolsas como en las libretas de campo para que luego sean transportadas a laboratorio y realizar su estudio en el laboratorio.

3.2.1. Muestreo Petrográfico

Con la recolección de alrededor 67 muestras a lo largo de las salidas de campo y las descripciones hechas en la libreta, se eligieron 11 muestras de rocas de mayor interés para realizar estudios micros y macroscópicos para identificar su composición mineralógica. (Figura 3.1.A)

Puntos	X	Y	Z	Interpretación/Nombre de la Roca
P1	728629	9746829	1862	Depositos volcanosedimentarios
P2	728259	9748106	1800	Andesita porfirítica
P3	728775	9746243	1900	Brecha con clastos de andesitas
P4	732061	9745361	2084	Terraza aluvial
P5	731697	9746443	2182	Depositos coluviales
P6	731636	9746445	2235	Depositos coluviales alterados
P7	731551	9746436	2255	Brecha con clastos de alterados
P8	731576	9746872	2281	Cangahua
P9	731497	9746926	2280	Toba andesítica
P10	729649	9747175	1950	Toba retrabajada
P11	729359	9747152	1871	Brecha con clastos de andesitas
P12	730619	9746536	2215	Tobas andesíticas
P13	730842	9746554	2233	Brecha con clastos de alterados
P14	728474	9749184	1481	Brecha muy consolidada y clastos tobaceos
P15	728605	9749310	1488	Brechas consolidadas

P16	728143	9749006	1511	Brecha con clastos volcánicos
P17	727907	9748996	1536	Coluvial
P18	728238	9748810	1623	Debris flow y cangahua
P19	726899	9745526	1823	Brecha con clastos volcánicos
P20	726725	9745761	1919	Debris flow
P21	726624	9746060	1955	Brecha o toba meteorizada?
P22	726537	9746074	1958	Cangahua
P23	726942	9745224	1838	Coluvial
P24	726948	9745199	1844	Coluvion
P25	727051	9745594	1785	Brecha con clastos de andesitas
P26	727096	9745684	1716	Debris flow
P27	731566	9745432	1116	Debris flow y brechas con clastos volcánicos
P28	732029	9745491	2108	Brecha con clastos volcánicos
P29	732195	9745730	2120	Tobas con clastos alterados
P30	731931	9746460	2251	Brecha con clastos volcánicos
P31	729912	9745060	2202	Brecha con clastos volcánicos y alterados
P32	729353	9745489	2034	Brecha con clastos volcánicos y alterados
P33	728579	9747017	1801	Brecha con clastos andesíticos
P34	728821	9747123	1774	Deposito Aluvial
P35	728845	9747100	1763	Deposito Coluvial
P36	728212	9749177	1576	Deposito aluvial con clastos silicificados
P37	734013	9747992	3002	Tobas retrabajadas
P38	734055	9747739	3000	Tobas retrabajadas
P39	733486	9746866	2914	Toba andesítica
P40	733384	9746619	2569	Toba silicificada
P41	731491	9747321	2451	Toba alterada
P42	732219	9745749	2142	Toba silicificada
P43	731261	9746188	2096	Toba silicificada
P44	729731	9747703	2112	Brecha con clastos volcánicos y tobaceos
P45	728304	9748089	1792	Depositos retrabajados
P46	728610	9746885	1819	Brecha con clastos volcánicos y andesíticos
P47	728733	9746313	1900	Bracha retrabajada
P48	729369	9745461	2040	Toba andesítica
P49	730357	9747986	2150	Toba silicificada
P50	729657	9747213	1936	Toba andesítica
P51	729505	9747044	1884	Toba andesítica
P52	729629	9746896	1880	Deposito retrabajo por deslizamiento
P53	729526	9747610	1980	Brecha con clastos volcánicos
P54	730598	9746942	2159	Toba
P55	730627	9746519	2229	Brecha con clastos areniscas

P56	739198	9764738	3396	Andesita alterada
P57	732197	9747641	2631	volcánicos alterados
P58	735575	9747735	3190	Debry flow
P59	734372	9747829	2934	Andesita
P60	734052	9747723	2989	Silice amorfo
P61	734784	9747236	3076	Material alterado
P62	733479	9746871	2913	Andesita porfírica
P63	733744	9746273	2850	Roca silicificada
P64	732905	9746767	2719	Vuggy silice
P65	730401	9748008	2159	Toba silicificada
P66	732195	9745726	2119	Toba dacítica
P67	732183	9745720	2153	Brecha meteorizada

Tabla 3.2.1 Coordenadas UTM de los lugares donde se tomaron los datos estudiados.

Estudio macroscópico: para este estudio se necesito la lupa con aumentos de 10-20x, ácido clorhídrico al 10% y lapiz de dureza para revisar las muestras de mano. Describiendo en aspectos composicionales, texturales, estructurales y de alteración. (Figura 3.1B)

Estudio microscópicos: para este estudio se realizaron 11 láminas delgadas para complementar el análisis macroscópico hechas en las rocas y determinar las propiedades ópticas de cada mineral con el fin de comparar y afirmar los minerales de las muestras. Gracias al laboratorio de la Facultad de Geología en la Escuela Politécnica Nacional se elaboró las láminas delgadas con el siguiente procedimiento:

- i. Cortar en forma de chips rectangulares 27x46mm las 11 muestras seleccionadas mediante una cortadora manual. (Figura 3.1C)
- ii. Pulir una cara de los chips con la devastadora que tiene lijas de carburo de silicio, para eliminar imperfecciones o restos de abrasivo que deja la cortadora.
- iii. Secar el chip pulido al aire libre hasta que esté endurecido. (Figura 3.1D)
- iv. Mezclar cantidades iguales de resina y endurecedor para preparar el epoxy para pegar cada chip en su respectivo portaobjetos tratando de evitar que queden burbujas de aire y dejar secar por 48 horas. (Figura 3.1E)
- v. Pulir el chip hasta dejar una capa de roca muy delgada, para observar que este bien pulido, se ve en un microscopio petrográfico la birrefringencia de primer orden de los minerales cuarzo y plagioclasa. (Figura 3.1F)
- vi. Colocar un cubreobjeto, cuando el chip este bien pulido, utilizando bálsamo de Cánada. (Figura 3.1G)



Figura 3.2.1 Procedimiento para elaboración de láminas delgadas A. Selección de muestras. B. Corte de la muestra en chips. C. Pulimento de los chips. D. Secar el chip E. Mezcla de agua y resina F Análisis de microscopio. G. Puesta de cubreobjeto.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

La descripción geológica entorno a Chunchi conllevó ubicar y verificar descripciones de unidades citadas por autores previos, para concretar las unidades geológicas a representar en el mapa geológico. Así como, definir y describir las unidades cuaternarias cartografiadas. Las unidades encontradas y definidas en la cartografía se describen a continuación, desde las más antiguas a las más recientes.

4.1.UNIDADES LITOLÓGICAS

4.1.1. Unidad Huigra

Litología: en la zona de estudio afloran brechas muy consolidada matrizsoportadas de color gris a verdosa, sus clastos son de forma angulosos a subangulosos de tamaño grueso, son tobas parcialmente cloritizadas y tobas andesíticas que contiene plagioclasa y anfíbol.

Ocurrencia: aflora en las vías del ferrocarril tramo Chunchi- El Tambo con un espesor visible de afloramiento de 2m, hoy en día esa vía férrea se encuentra en un mal estado y poblada de mucha vegetación (UTM: 728474/9749184/1481m) (Fig.4.1.1).

Las rocas de esta unidades se observan con una estratificación grosera que permite identificar deformación y plegamiento, y basculamiento en la misma.



Figura 4.1.1 Afloramiento de la Unidad Huigra en la vía ferrocarril tramo Chunchi-El Tramo (UTM: 728474/9749184/1481m) y muestra de mano CH13-28-05-21.

La lámina delgada de la muestra CH13-28-05-2021 (Fig.4.1.1.1A) formada por: fenocristales de plagioclasa, hornblenda, ortoclasa y minerales opacos, la textura es clástica, las hornblendas presentan bordes de oxidación. Con nicols cruzados (Fig.4.1.1.1B) se observa ortoclasa con macla de carslab y la plagioclasa con macla de albita. La muestra corresponde a una brecha con clastos andesíticos y volcánicos.

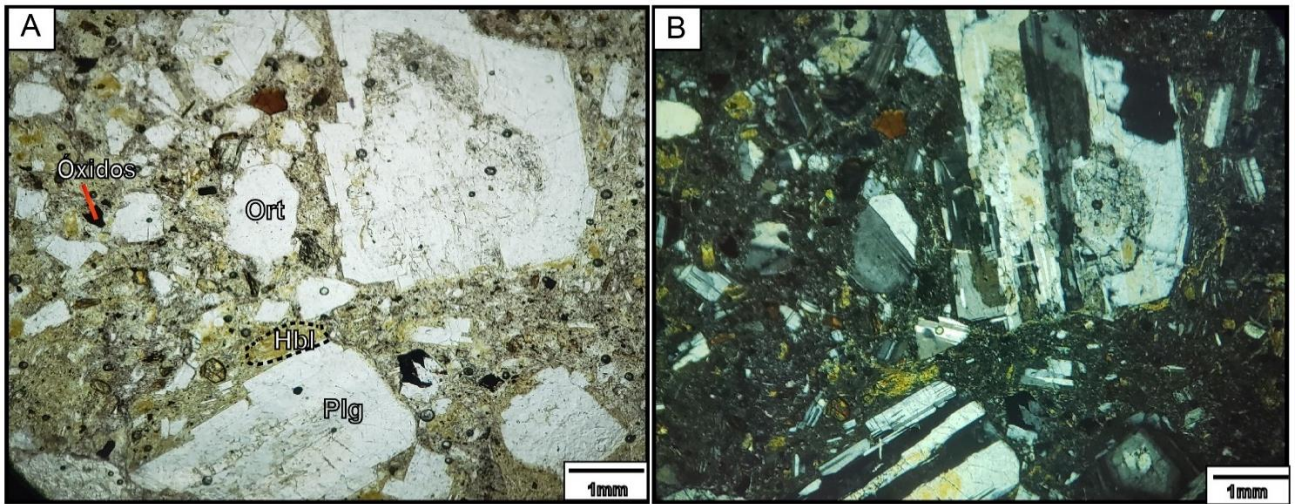


Figura 4.1.1.1 Lámina delgada de la muestra CH13-28-05-2021 A. Brecha con clastos andesíticos y volcánicos, con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP)

La lámina delgada de la muestra CHUN-05 (Fig.4.1.1.2A) formada por: fenocristales de plagioclasa, hornblenda, epidota y óxidos, textura porfídica, matriz intersertar. Con nicoles cruzados (Fig.4.1.1.2B) se observa los bordes de oxidación en la hornblenda, la plagioclasa alterándose a epidota y leve reemplazamiento de carbonato (RC) en la plagioclasa. La muestra corresponde a una Andesítica hornbléndica.

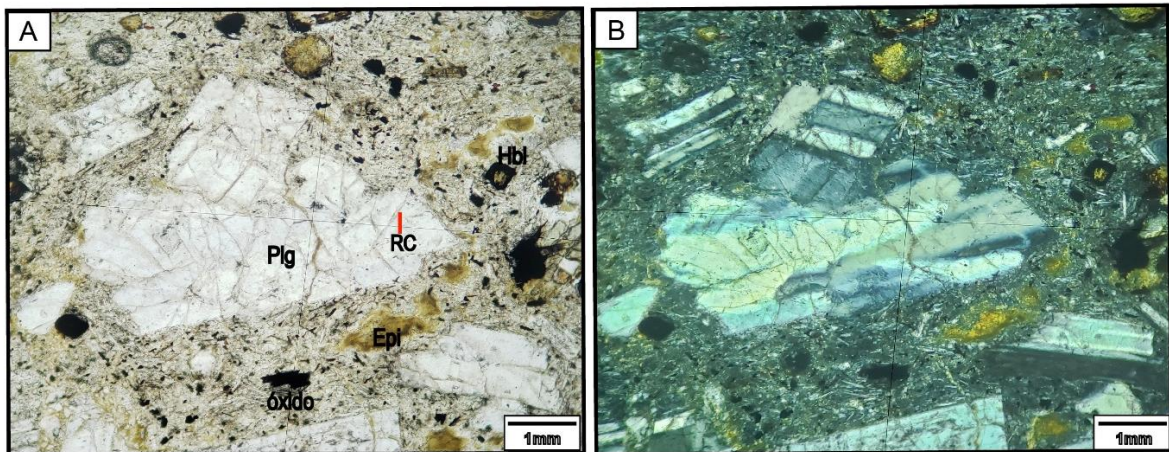


Figura 4.1.1.2 Lámina delgada de la muestra CHUN-05 A. luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP)

4.1.2. Unidad Puñay:

En la bibliografía (Dunkley & Gaibor, 1997) argumentan que afloran por la ruta desde Chanchán hasta Pepinales, pero en las salidas de campo no se pudieron observar afloramientos in situ porque las rutas fueron afectadas por los deslizamientos ocurridos.

4.1.3. Fm. Cisarán:

Litología: Andesitas y tobas retrabajadas de color amarillo verdoso y grisáceo, de grano grueso a fino y matriz arcillosa, contiene anfíbol, plagioclasa y piroxeno.

Ocurrencia: aflora a lo largo de la ruta desde la parroquia Gonzol hasta el centro comunitario "Toctezinin", con un espesor de afloramiento visible de 20m. (UTM: 734013/ 9747992; 734055/ 9747739; 733486/ 9746866) (Fig.4.1.3)

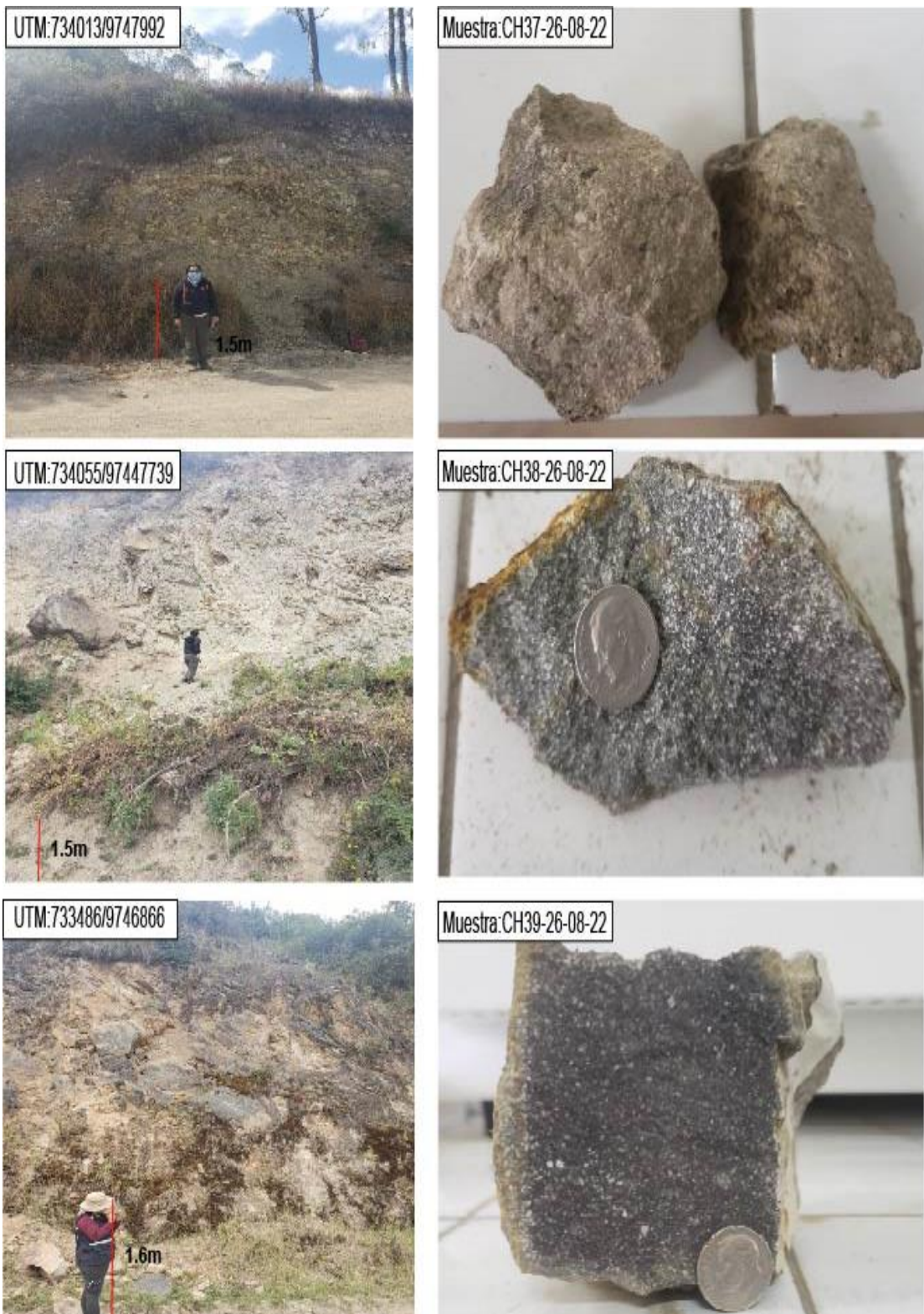


Figura 4.1.3 Afloramiento de la Fm. Cisarán a lo largo de la comunidad "Toctezinin" (UTM: 734013/9747992; 734055; 97447739; 733486/9746866) y muestras de manos CH37-26-08-22; CH38-26-08-22; CH39-26-08-22.

La lámina delgada de la muestra CHUN-01 (Fig.4.1.3 A) formada por: fenocristales de plagioclasa, hornblenda y óxidos, la matriz se encuentra silicificada, la textura de la roca es porfiritica, las hornblendas presentan bordes de oxidación. Con nicoles cruzados (Fig.4.1.3 B) se ve el reemplazamiento carbonatado (RC) en las plagioclasas, la hornblenda se encuentra alterada parcialmente a clorita. La muestra corresponde a una Andesita Hornbléndica.

La lámina delgada de la muestra CHUN-02 (Fig.4.1.3 C) formada por: fenocristales de plagioclasa, clinopiroxeno y ortoclasa, la textura es porfídica, intergranular, glomeroporfídica y ofítica con una matriz microcristalina de plagioclasa. Con nicoles cruzados (Fig.4.1.3 D) se observa clinopiroxeno con birrefringencia alta y ortopiroxeno por con planos de exfoliación en las secciones basales. La muestra corresponde a una Andesita.

La lámina delgada de la muestra CHUN-03 (Fig.4.1.3 E) formada por: cristales de plagioclasa y cristales que previamente era hornblenda, opacos. Con nicoles cruzados (Fig.4.1.3 F) se ve el reemplazamiento carbonato (RC) en las plagioclasas, la hornblenda se encuentra levemente cloritizando. La muestra corresponde a una Andesítica Hornbléndica.

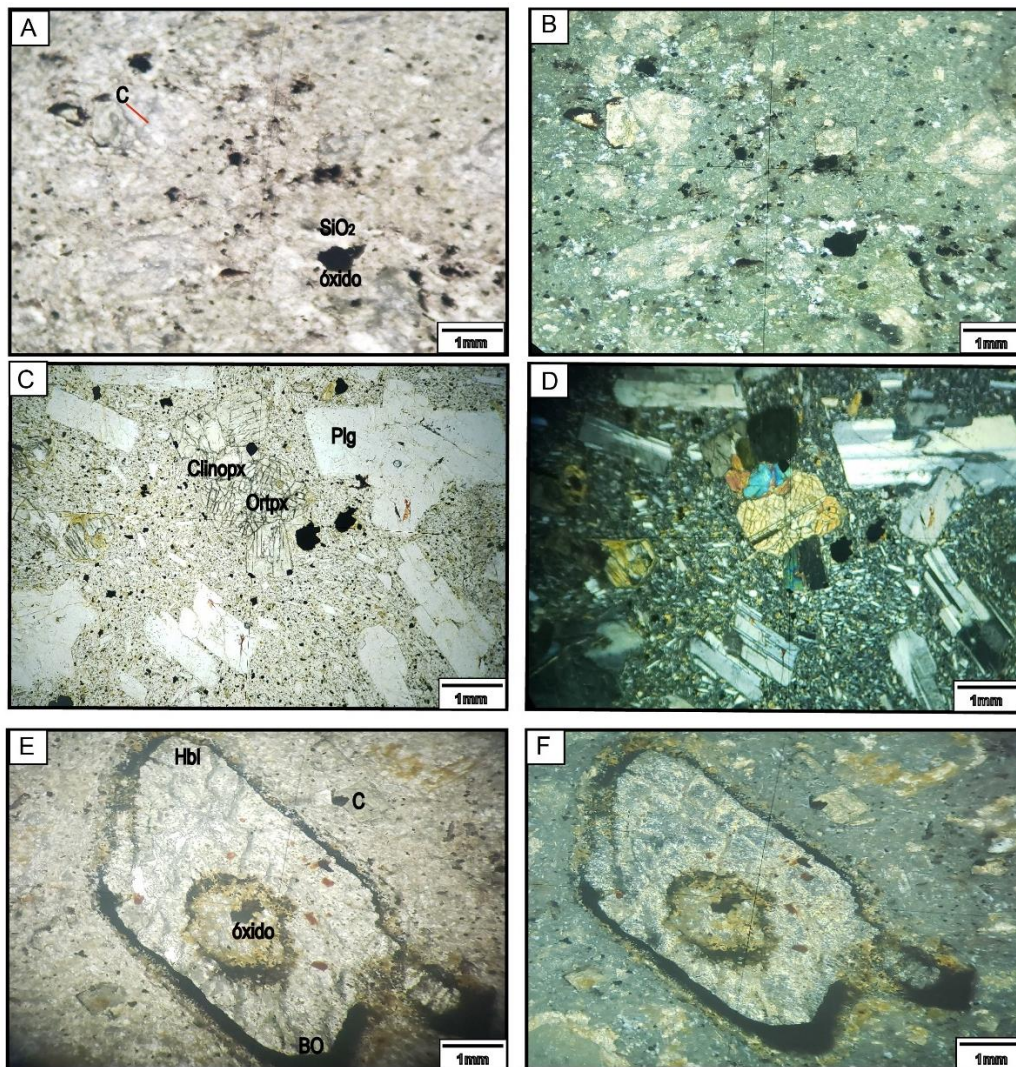


Figura 4.1.3 Lámina delgada de las muestras CHUN-01; CHUN-02; CHUN-03 (A, C & D), con luz natural (LPP). (B, D & F). Polarizador cruzado (XLP)

4.1.4. Zona Hidrotermal Alterada dentro de la Formación Cisarán

Litología: brechas con clastos subredondeados a subangulares, mal sorteados, clastos de 20-50cm y silificados, matriz soportada con matriz muy fina de color marrón a rojizo a amarillento con una presencia de minerales de óxidos de hierro. (Fig.4.1.4.1). Además, se observa zona silificada con planos orientados E-O y posiblemente es de un sistema de alta sulfuración

Ocurrencia: aflora a lo largo por la Ruta Magna y por una cantera antigua con las siguientes coordenadas: (UTM:733384/9746619; 733748 9746274)

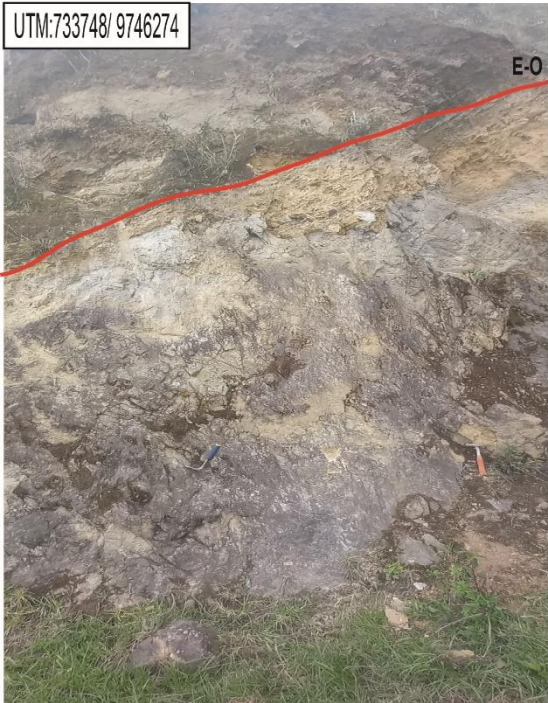


Figura 4.1.4.1 Afloramiento de Zona Alterada por la Ruta Magna y Cantera Antigua (UTM:733384/9746619; 733748 9746274) y muestra de mano CH40-26-08-22.

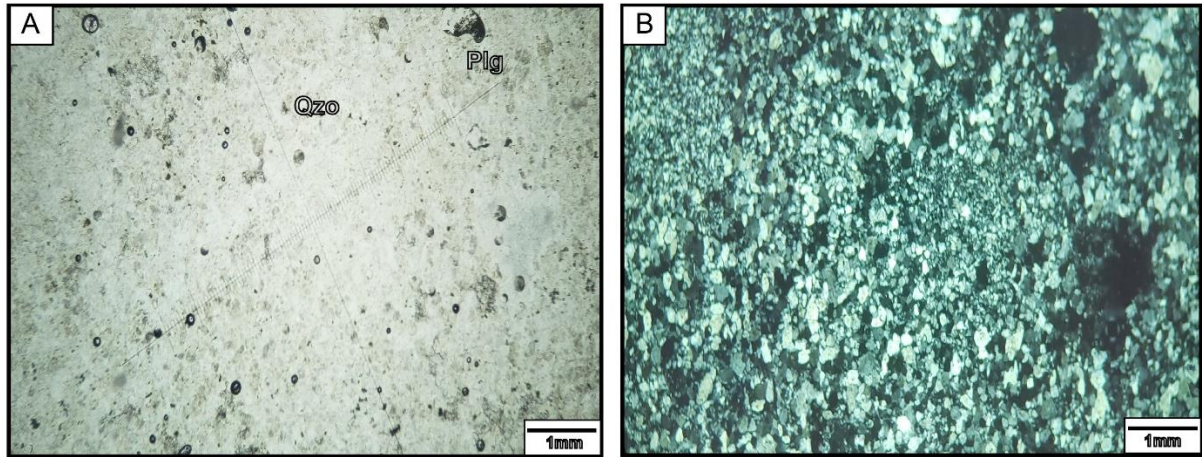


Figura 4.1.4.2 Lámina delgada de las muestras CH40-26-08-22; CH5-27-01; CH6-27-01 A. clasto silicificado de la brecha. Con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP)

La lámina delgada de la muestra CH40-26-08-22 (Fig.4.1.2 A) formada por cuarzo y plagioclasa, textura microcristalina. Con nicols cruzados (Fig.4.1.2 B) se ve con una birrefringencia baja al cuarzo. La muestra corresponde a una Brecha silicificada por su alto contenido de cuarzo.

Litología: toba silicificada de color ocre, amarilla y dura, fracturada y alterada. (Fig.4.1.4.3)

Ocurrencia: afloramiento macizo de espesor 15m a lo largo de Kulpa con las siguientes coordenadas: (UTM:730357/9747986)



Figura 4.1.4.3 Afloramiento macizo a lo largo de Kulpa con las siguientes coordenadas: (UTM:730357/9747986) y muestra de mano CH49-27-08-22.

La lámina delgada de la muestra CH49-27-08-22 (Fig.4.9. A) formada por: ópalo que es un mineral isotrópico con hábito xenomorfo, textura criptocristalina, en una matriz silíceea. Con nicoles cruzados (Fig.4.9.B) en algunos de los microcristales se ve un ángulo de extinción ondulante. La muestra corresponde posiblemente a una Toba silicificada.

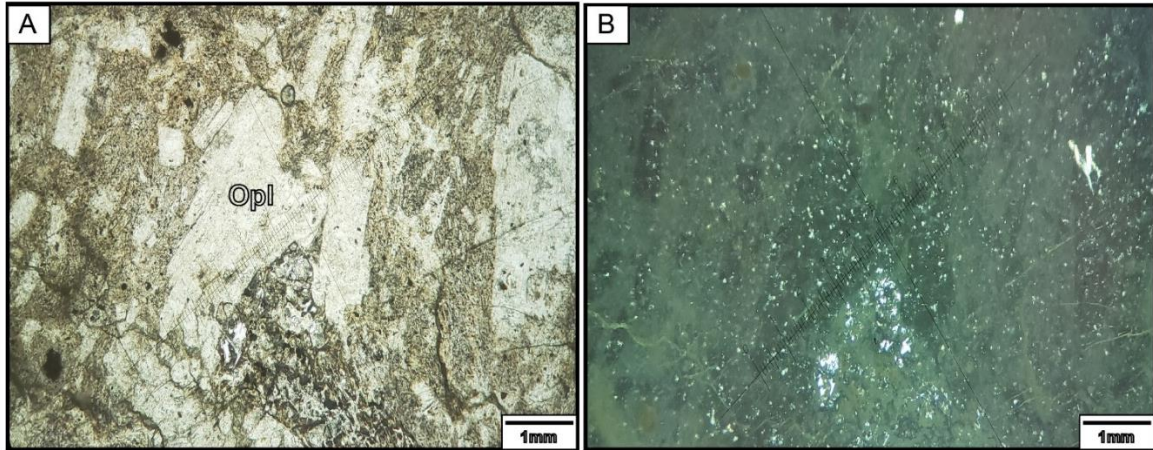


Figura 4.1.4.4 Lámina delgada de las muestras CH49-27-08-22 A. Con luz natural (LPP). B. Polarizador cruzado (XLP)

4.2. UNIDADES CUATERNARIAS

Se observaron seis unidades cuaternarias aflorando en los alrededores de Chunchi, de esta manera se pudo distinguir lo más antiguo a lo más reciente.

4.2.1. Unidad de Brechas Antiguas

Se describen varios afloramientos y muestras analizadas en ellos:

Litología: brecha matriz soportada consolidadas, tobas meteorizadas de clastos subangulares y color café a grisáceo-blanco. (Fig.4.2.1)

Ocurrencia: afloran a lo largo de la ruta para ir al Complejo Turístico “El Edén del Puñay”, donde se tomó varias muestras en las siguientes coordenadas: (UTM:726725/9745761;726624/9746060;726537/9746074;726948/9745199).



Figura 4.2.1 Unidad de brechas antiguas aflorando por “El Edén del Puñay”, siguientes coordenadas: (UTM:726725/9745761;726624/9746060;726537/9746074;726948/9745199) y muestras de manos CH19-03-12-21; CH20-03-12-21; CH21-03-12-21; CH23-03-12-21.

La lámina delgada de la muestra CH19-03-12-21 (Fig.4.2.1 A) tomada de la matriz de la brecha, está formada por: clastos ígneos volcánicos, fragmentos de cristales y óxidos, textura volcanoclástica y matriz arenosa. Con nicoles cruzados (Fig.4.2.1.B) se observa cemento carbonatado (C) de color beige y en las plagioclasas con colores de interferencia blancos grisáceos. La muestra corresponde a una Arenisca tobácea.

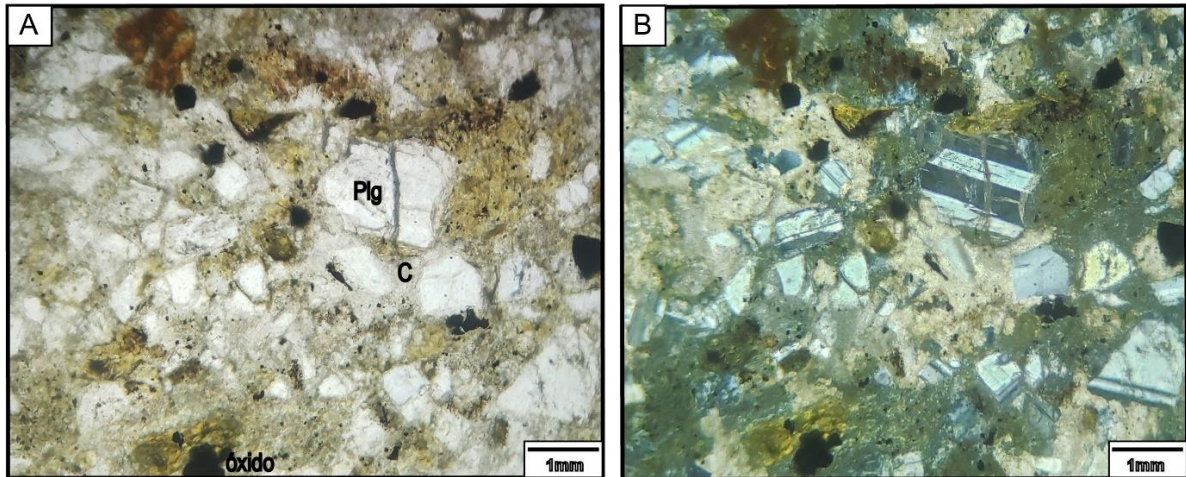


Figura 4.2.1 Lámina delgada de la muestra CH19-03-12-21 (A), con luz natural (LPP). (B). Polarizador cruzado (XLP).

Litología: brecha clasto soportado entre 50-1cm, clastos andesíticos de colores gris a amarillo verdoso y rosáceo. Además, megabloques de brecha clasto soportado, clastos subangulares a subredondeados de tamaños métricos y color grisáceo. Brecha matriz soportada, clastos angulosos volcánicos grisáceos y matriz arenosas. (Fig.4.2.1.1)

Ocurrencia: afloran por la vía Huigra con un espesor aproximado de 140m, donde se tomó varias muestras, se realizó lámina delgada y se realizó una columna estratigráfica en las siguientes coordenadas: (UTM:728610/9746885;728579/9747010;728259/9748106;728304/9748089).

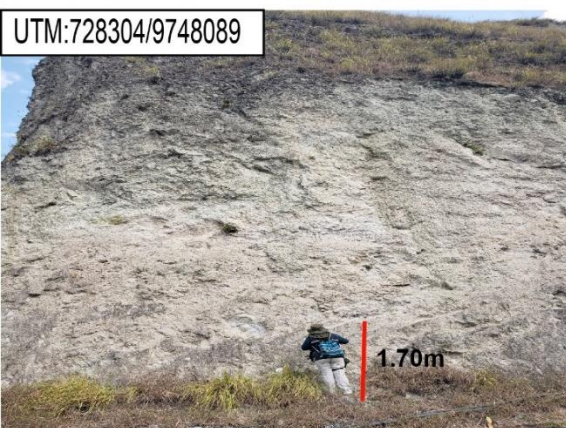
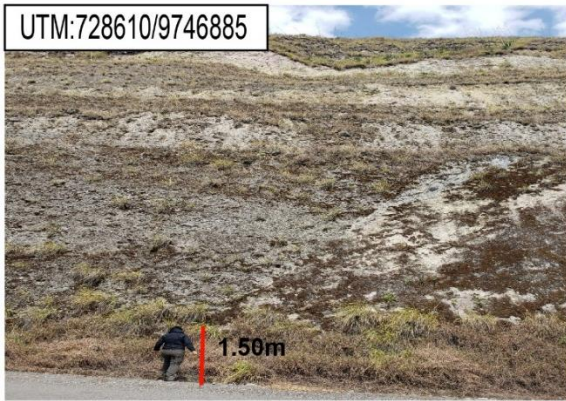


Figura 4.2.1 Unidad de brechas antiguas aflorando por la vía a Huigra en las siguientes coordenadas (UTM:728610/9746885;728579/9747010;728259/9748106;728304/9748089) y muestras de manos CH46-27-08-22; CH32-04-12-21; CH1-27-05-21; CH45-27-08-22.

La lámina delgada de la muestra CH1-27-05-21(Fig.4.2.1.2 A), formada por: fenocristales de paglioclasa,horblendas presentando bordes de oxidación, textura porfírica y matriz microcristalina de plagioclasa. Con nicols cruzadas (Fig.4.2.1.2B) se ve las hornblendas con una exfoliación marcada y la plagioclasa con maclas polisintéticas. La muestra corresponde a una Brecha con clastos andesíticos.

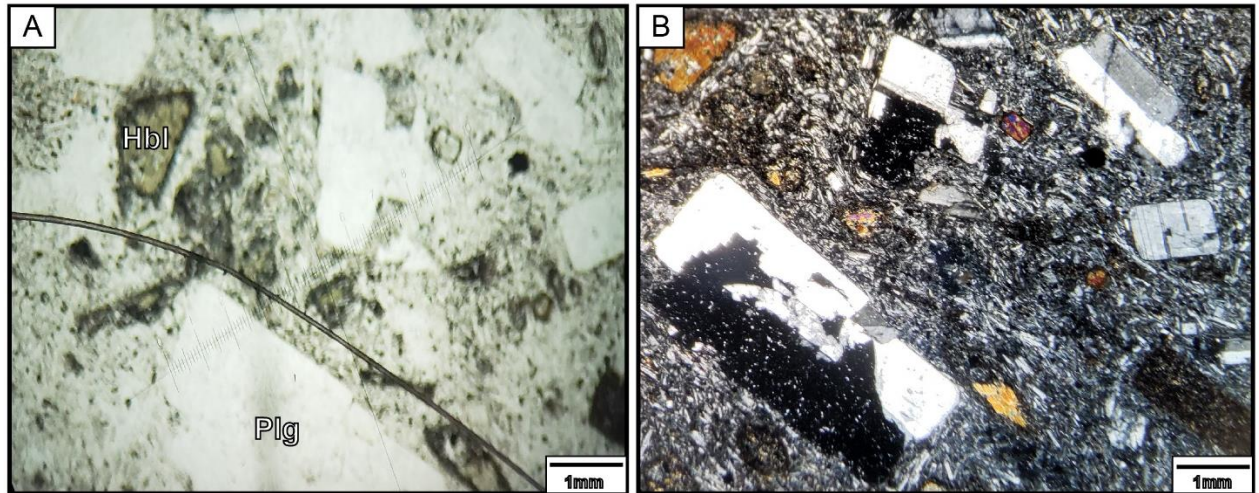


Figura 4.2.1.2 Lámina delgada de la muestra CH1-27-05-21 (A), con luz natural (LPP). (B). Polarizador cruzado (XLP).

Litología: depósito de brecha de matriz soportada a clasto soportado entre 6-7cm, clastos subangulares de color verdosa por la epidota, mal sorteadas. Se observa un plano tectonizado de dirección N-S. Además, brecha retrabajada con líticos volcánicos de andesitas y tobas subredondeadas a angulosos, matriz arenosa y dura. (Fig.4.2.1.4).

Ocurrencia: afloran por la vía Huigra (este de Chunchi) pasando el puente que se encuentra roto con un espesor aproximado de 50m, donde se tomó varias muestras en las siguientes coordenadas: (UTM:728733/9746313;728775/9746243; 729553/9747555).

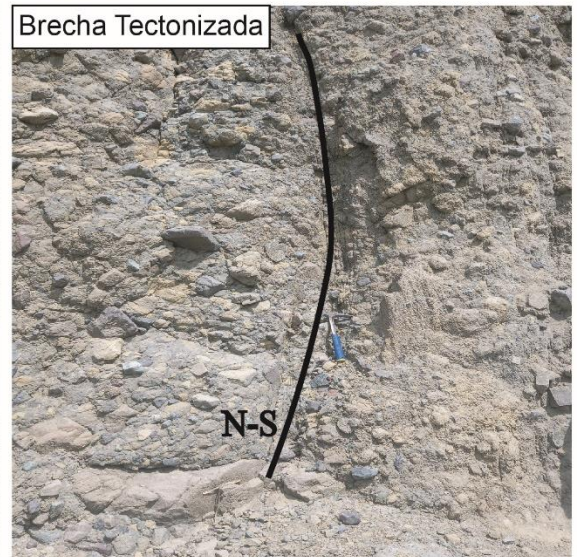
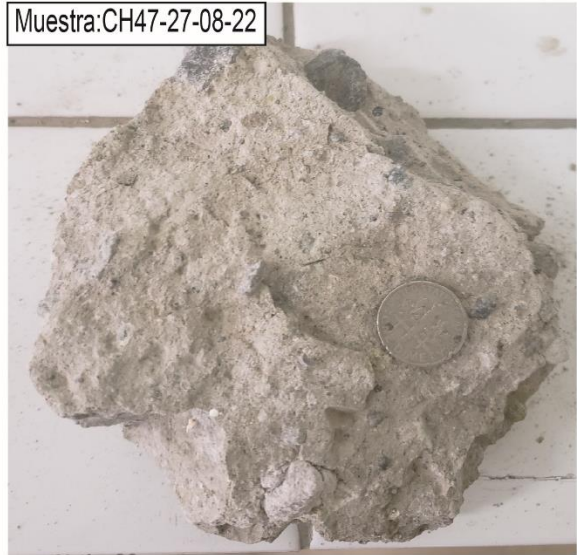


Figura 4.2.1.3 Unidad de brechas antiguas aflorando por la vía a Huigra en las siguientes coordenadas (UTM:728733/9746313;728775/9746243; 729553/9747555) y muestras de manos CH47-27-08-22; CH2-27-05-21.

Unidad Cangahua:

La Unidad de brechas antiguas aparece parcialmente cubierta por la cangahua como se ve en la Fig.4.2.1. y Fig.4.2.1.1, de ese modo se interpreta que la cangahua se depositó posteriormente a estas brechas.

Litología: son tobas con líticos volcánicos de colores amarillentos, beige, café y grisáceos.

Ocurrencia: expuestas al NO de Chunchi, en Capsol, Chunchi con un espesor aproximadamente de 18 a 20m.

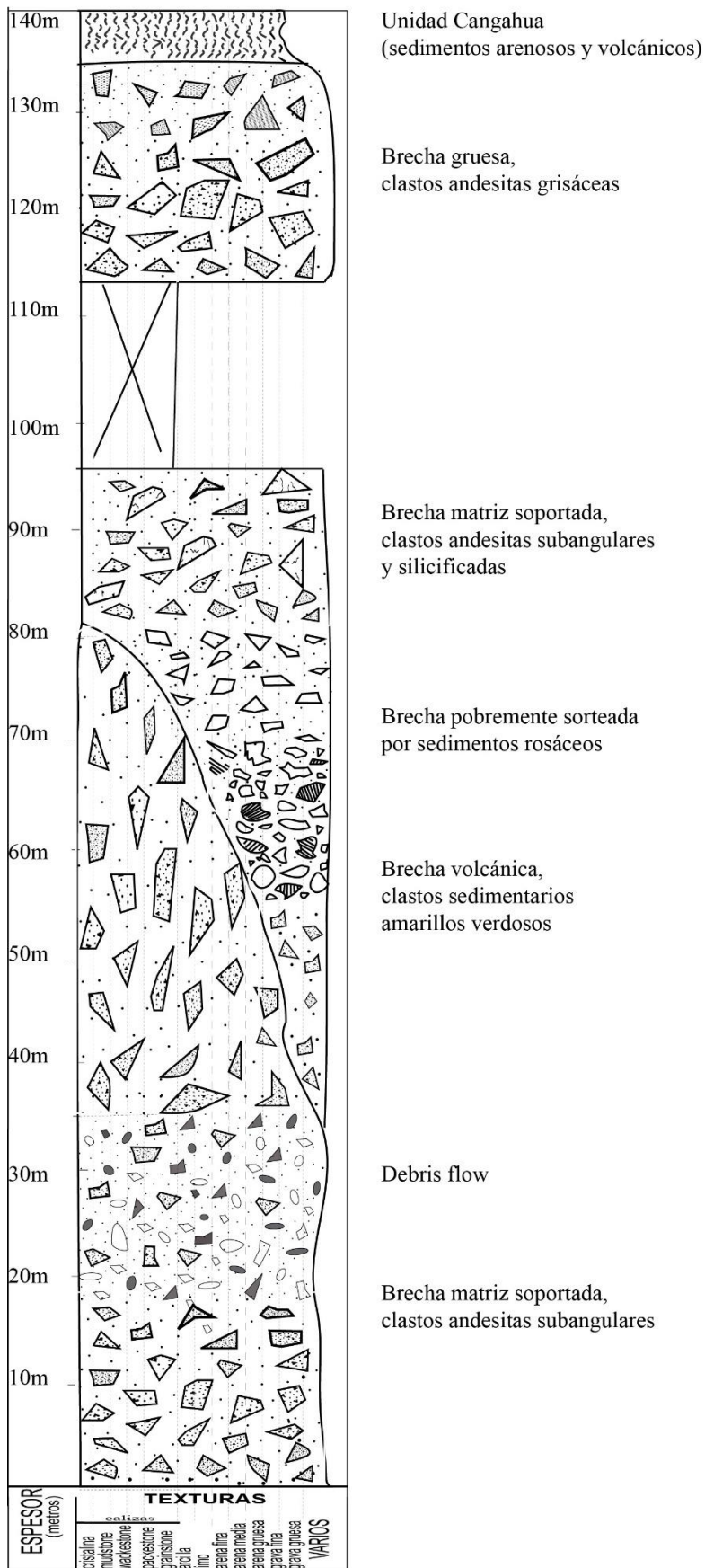


Figura 4.2.1.4 Columna Estratigráfica de las Unidad de Brechas Cuaternarias

4.2.2. Unidad I de Terraza de Debris

Se describen varios afloramientos y muestras analizadas en ellos:

Litología: brecha de composición andesítica de color rojo a anaranjado y de matriz soportada a clastos soportadas, clastos silicificados subangulares a subredondeado de tamaño de 20 a 50cm y alterados. (Fig.4.2.2).

Ocurrencia: Aflora a lo largo de la ruta a la Iglesia “Gruta Católica Virgen de Agua Santa” con un espesor aproximado de 100m, donde se tomó varias muestras, se realizó laminas delgadas y se levantó la columna estratigráfica en las siguientes coordenadas (UTM:731697/9746443;731636/9746445;731551/9746436).



Figura 4.2.2 Afloramiento de la Terraza de Debris por el camino a la Iglesia "Gruta" (UTM:731697/9746443;731636/9746445;731551/9746436) muestras de manos CH4-27-01; CH5-27-01;CH6-27-01.

La lámina delgada de la muestra CH4-27-01 (Fig.4.2.2.1 A) formada por: cuarzo, plagioclasa y epidota que se encuentra dentro de una vetilla, matriz microcristalina silíceica. Con nicols cruzados (Fig.4.2.2.1 B) se ve la plagioclasa con maclas polisintéticas y la epidota con birrefringencia alta. La muestra corresponde a una Roca silicificada.

Otra lámina delgada de la muestra CH5-27-01(Fig.4.2.2.1 C), formada por: plagioclasa, hornblenda y ortoclasa, matriz de vidrio. Con nicols cruzados (Fig.4.2.2.1D) se ve la plagioclasa con macla polisintética, la hornblenda con una exfoliación marcada y la ortoclasa con macla carslab. La muestra corresponde a una Brecha con clastos andesíticos ácidos.

Tomada en la Iglesia “Gruta Católica Virgen de Agua Santa”. Otra muestra de lámina delgada CH6-27-01(Fig.4.2.2.1 E), formada por: fragmentos clastos volcánicos, clastos de cuarzo y opacos, textura clástica. Con nicoles cruzados (Fig.4.2.2.1 F) se ve cemento ferruginoso (CF) alrededor de los clastos. La muestra corresponde a una Brecha silicificada.

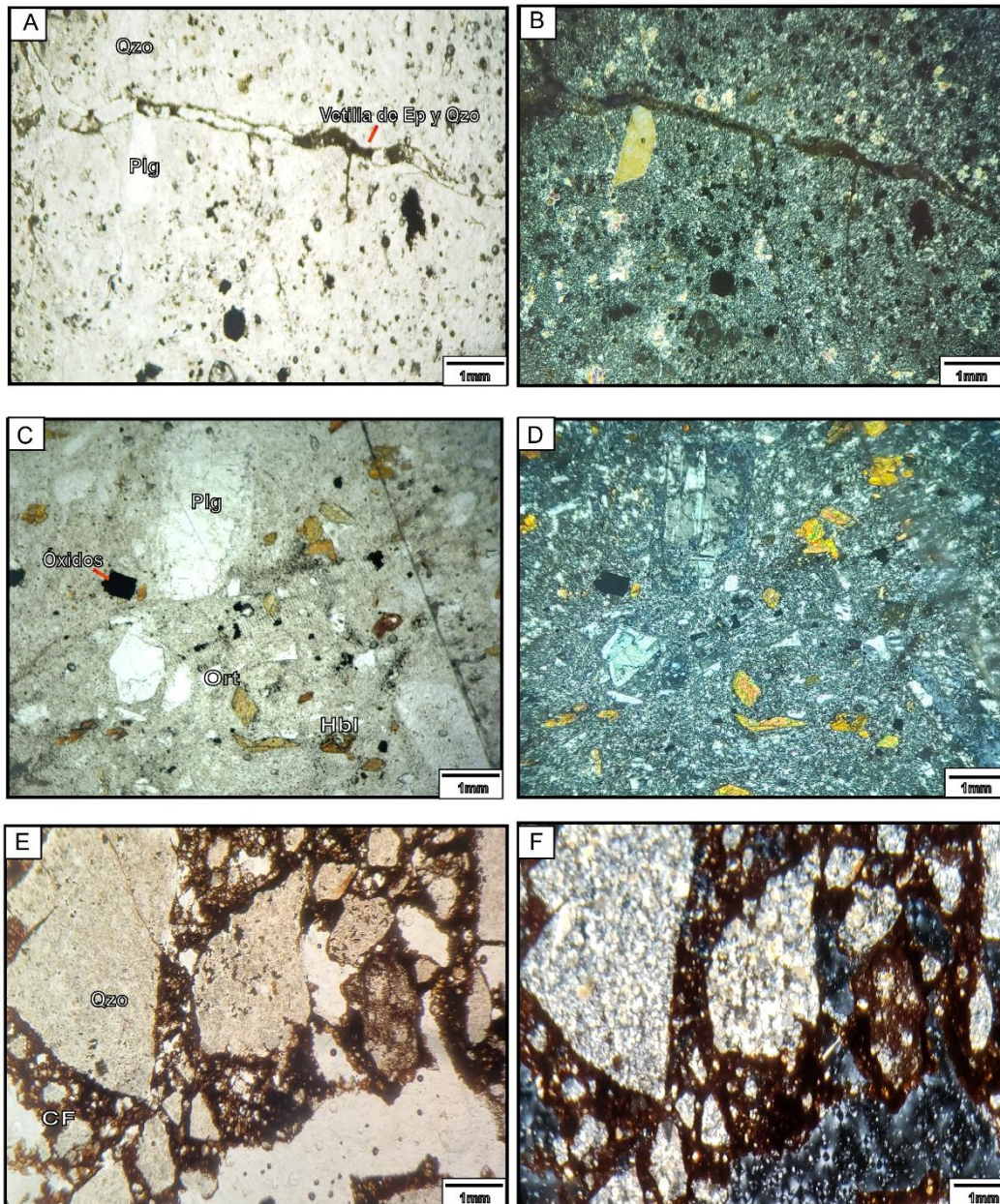


Figura 4.2.2.1 Lámina delgada de las muestras CH4-27-01; CH5-27-01; CH6-27-01 (A, C & D), con luz natural (LPP). (B, D & F). Polarizador cruzado (XLP)

En la ciudad Chunchi, para ir al deslizamiento Armernia, se ingresa por la calle Arturo Ordóñez & Quito (UTM: 730842/9746554) y se observó un afloramiento de espesor de 5m, con mal sorteo y clastos soportados de subangular a subredondeado puede ser un depósito de un deslizamiento antiguo porque presenta caolitización. Más adelante por la calle Chimborazo y Eloy Alfaro (UTM: 730627/9746519), al llegar al

deslizamiento actual, se observó un depósito arenoso deleznable, clastos de areniscas. (Fig.4.2.2.2)

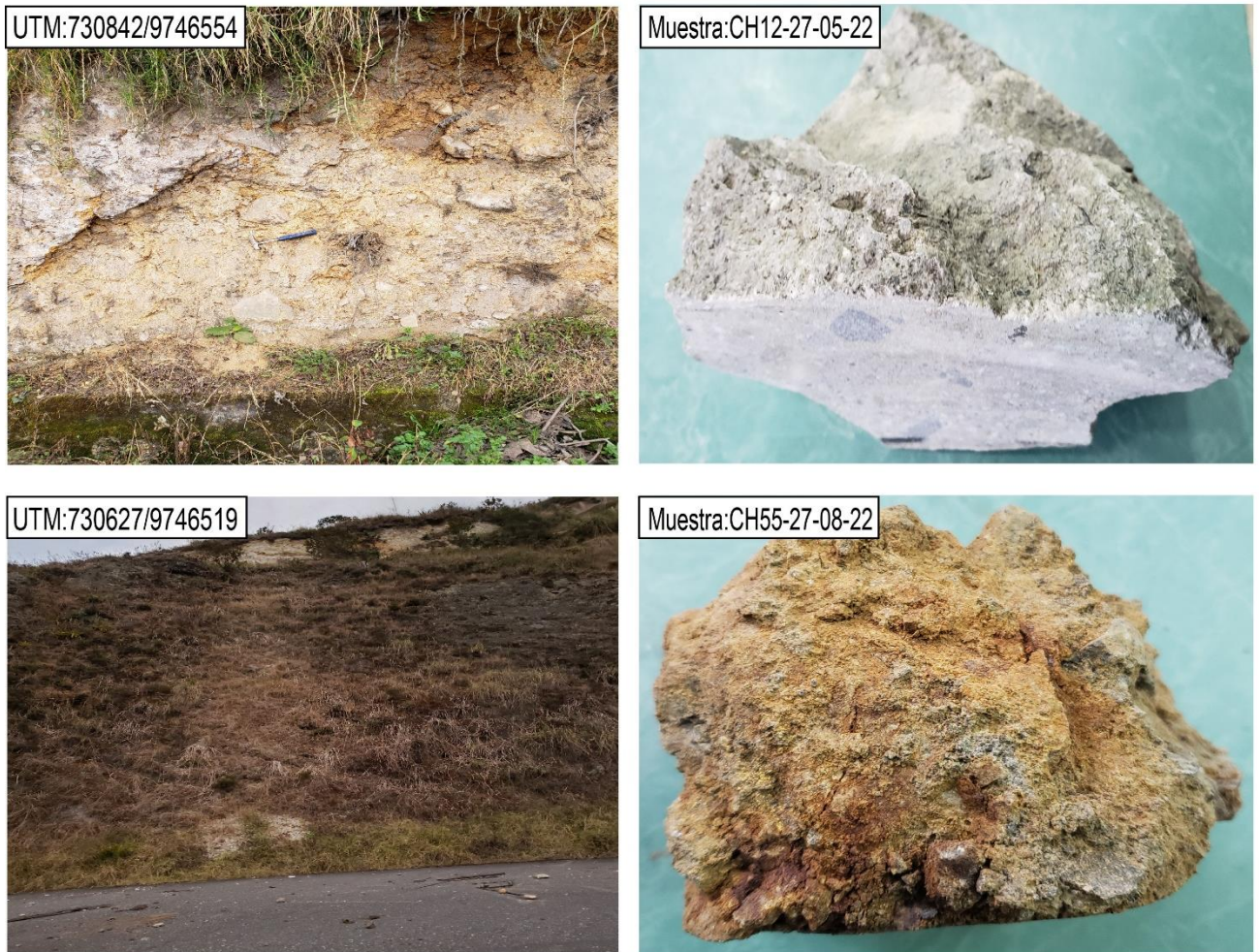


Figura 4.2.2.2 Afloramiento de los depósitos antiguos y actual respectivamente (UTM: 730842/9746554; 730627/9746519) y muestras de manos CH12-27-05; CH55-27-08.

La lámina delgada de la muestra CH12-27-05 (Fig.4.2.2.3 A) formada por: fenocristales de plagioclasa, hornblenda, ortoclasa y óxidos, textura clástica. Con nicols cruzados (Fig.4.2.2.3 B) se observa la plagioclasa con maclas polisintéticas, hornblenda con birrefringencia media y ortoclasa con maclas de carslab. La muestra corresponde a Brecha con clastos andesíticos.

La lámina delgada de la muestra CH55-27-08 (Fig. 4.2.2.3 C) formada por: fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, textura clástica. Con nicols cruzados (Fig.4.2.2.3 D) se ve la plagioclasa con macla polisintética y clinopiroxeno con birrefringencia alta. La muestra corresponde a una Brecha con clastos andesíticos.

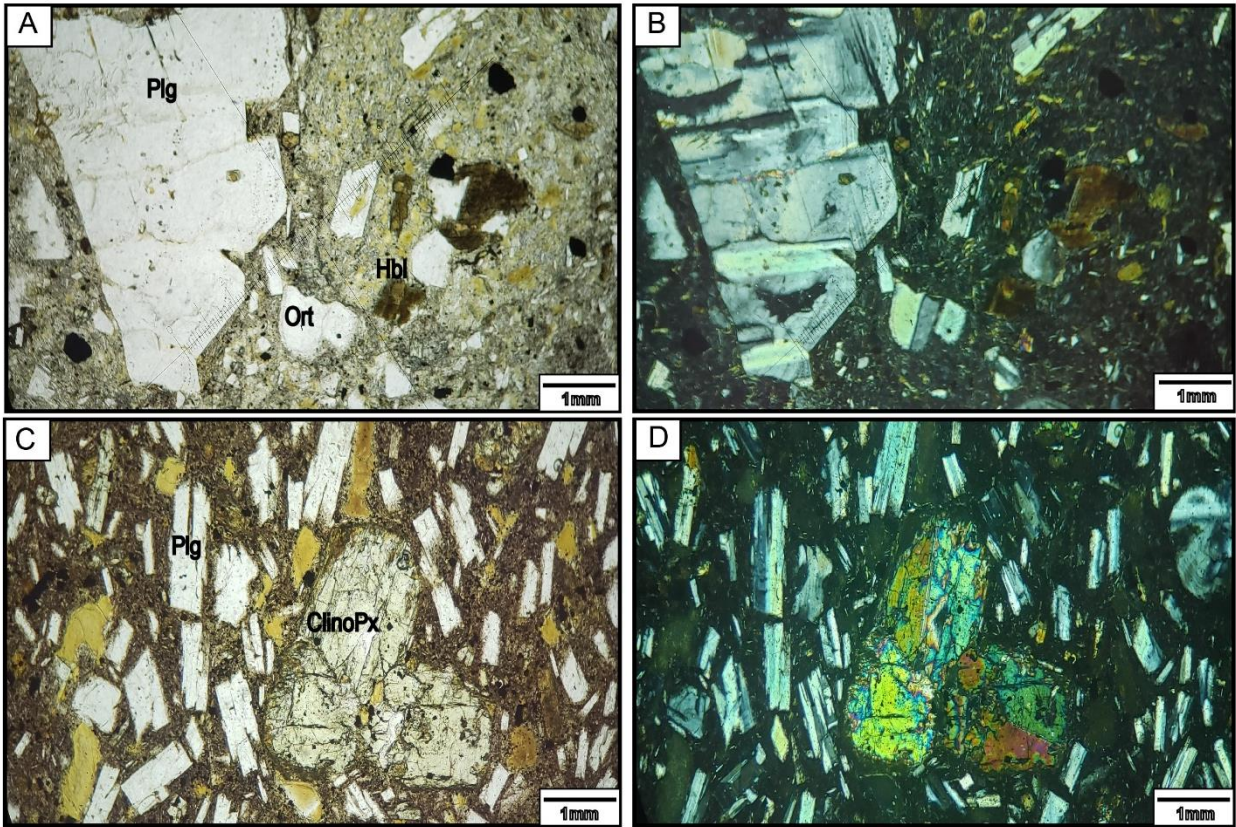


Figura 4.2.2.3 Lámina delgada de las muestras CH12-27-05; CH55-27-08 (A, & C), con luz natural (LPP). (B, & D). Polarizador cruzado (XLP).

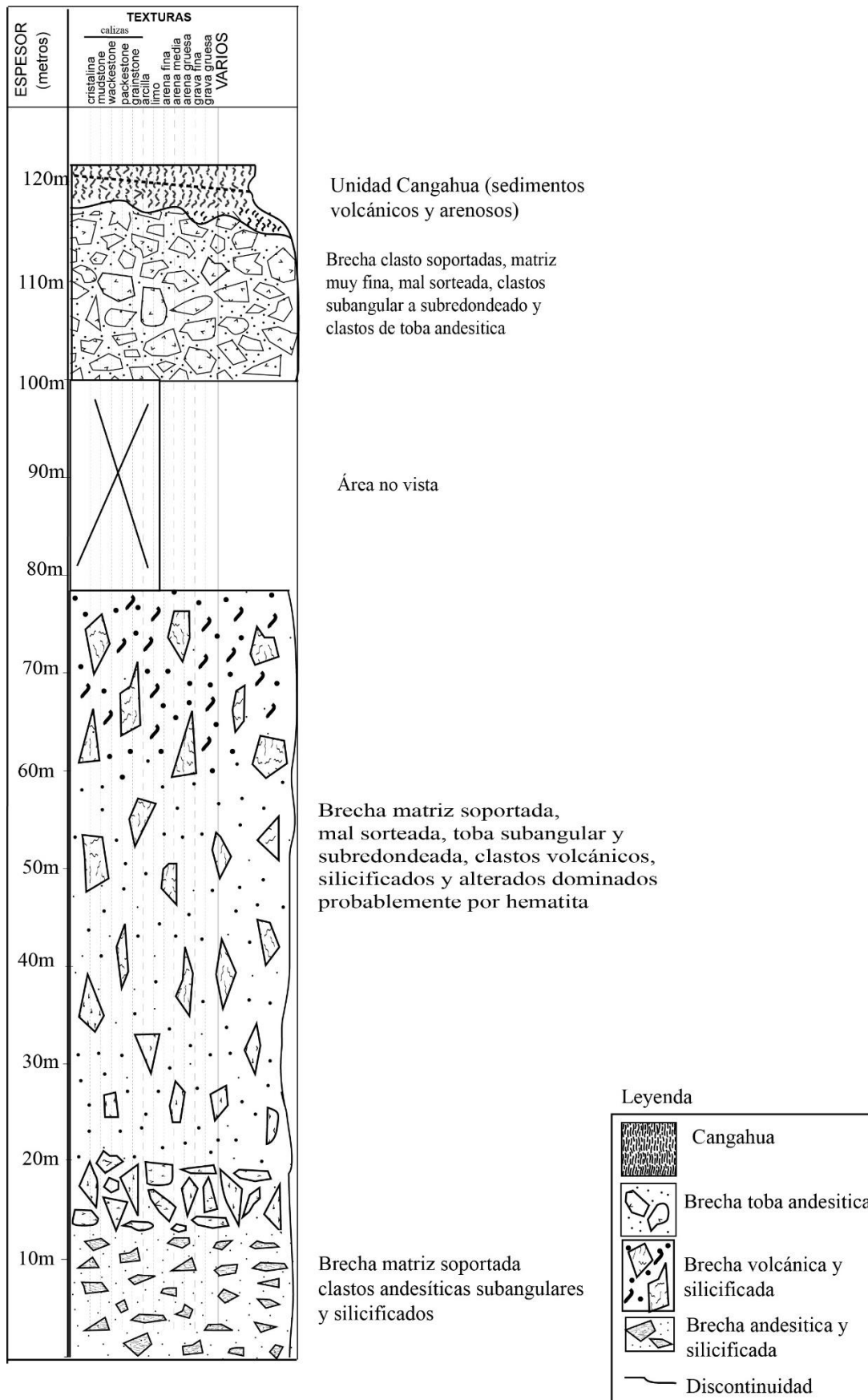


Figura 4.2.2.4 Columna Estratigráfica de la Unidad I de Terraza de Debris.

4.2.3. Unidad II de Terraza de Debris

Litología: es material re TRABAJADO de material poco consolidado como arena-limosa de clasto soportado y tamaño subredondeados a subangulares. Los clastos son volcánicas de color rojizos, gris oscuro y verdoso. Además, son clastos andesíticos frescos.

Ocurrencia: Aflora a al margen del río Picay y río Guahualcan, en esta unidad se encuentras con dos deslizamientos activos. (UTM: 732029/9745749;732061/9745361).

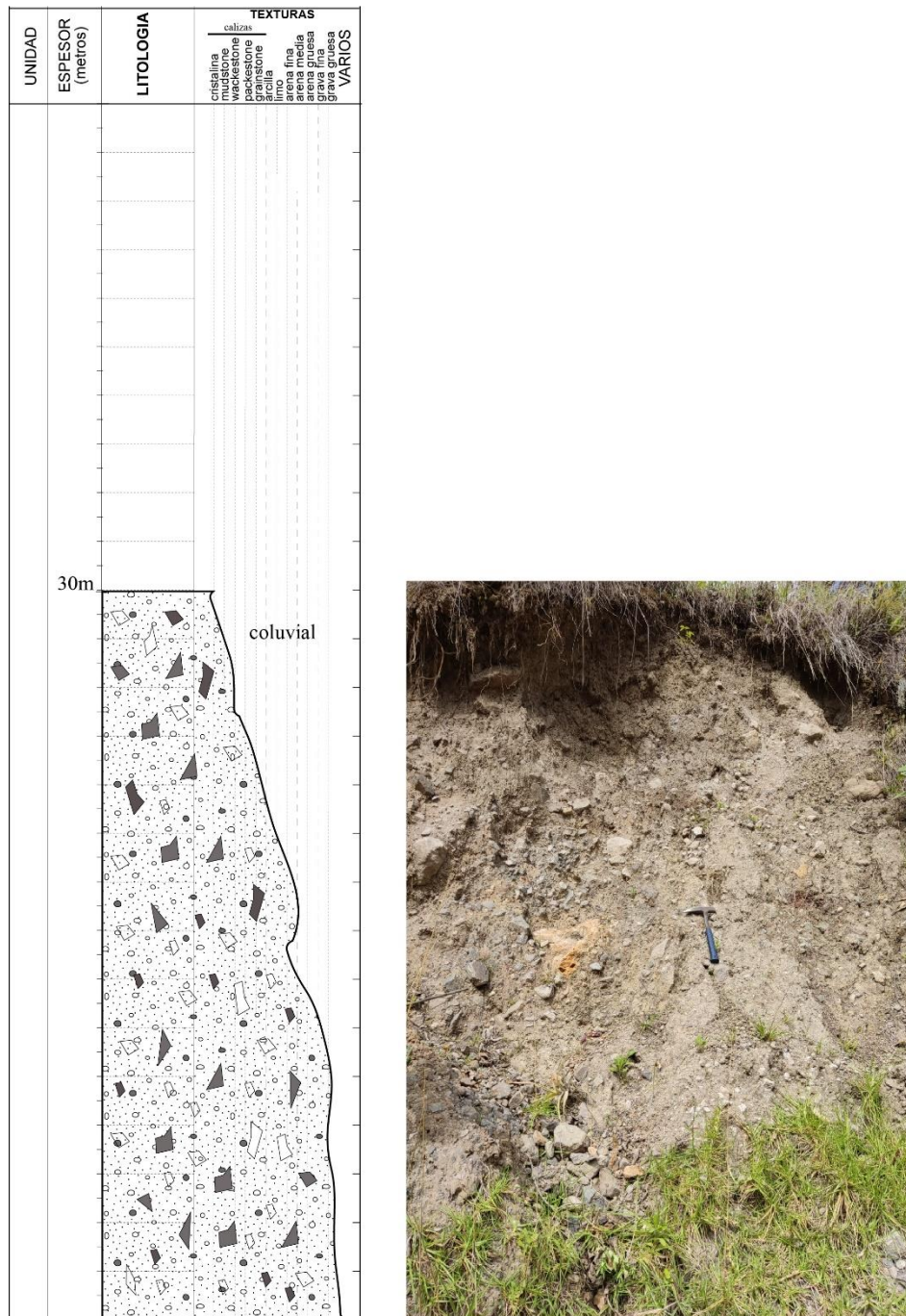


Figura 4.2.3 Columna Estratigráfica de la Unidad II de Terraza de Debris.

4.2.4. Aluviales y Derrumbes recientes

Litología: estos depositos están compuestos por brechas, tobas andesíticas de matriz soportada con poros, los clastos de color rojo, gris claro a oscuro de tamaño 1-40 cm, sus minerales son anfíbol y plagioclasa. (Fig.4.2.4)

Ocurrencia: afloramiento suelto orgánico, retrabajado debido al deslizamiento de Armenia (UTM: 729657/9747213; 729649/9747175 ;789505/9747044).

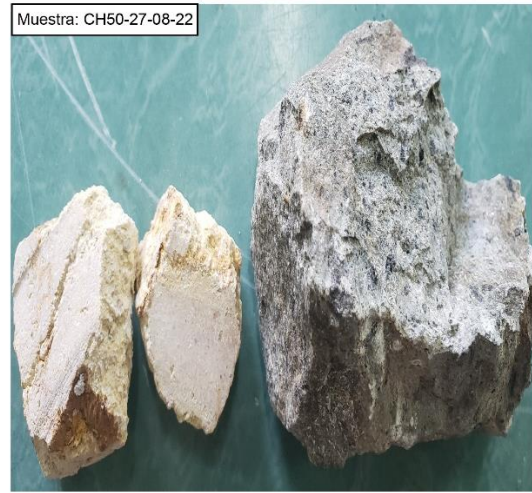


Figura 4.2.4 Afloramiento de los depósitos del deslizamiento de Armenia (UTM: 729657/9747213; 729649/9747175 ;789505/9747044).

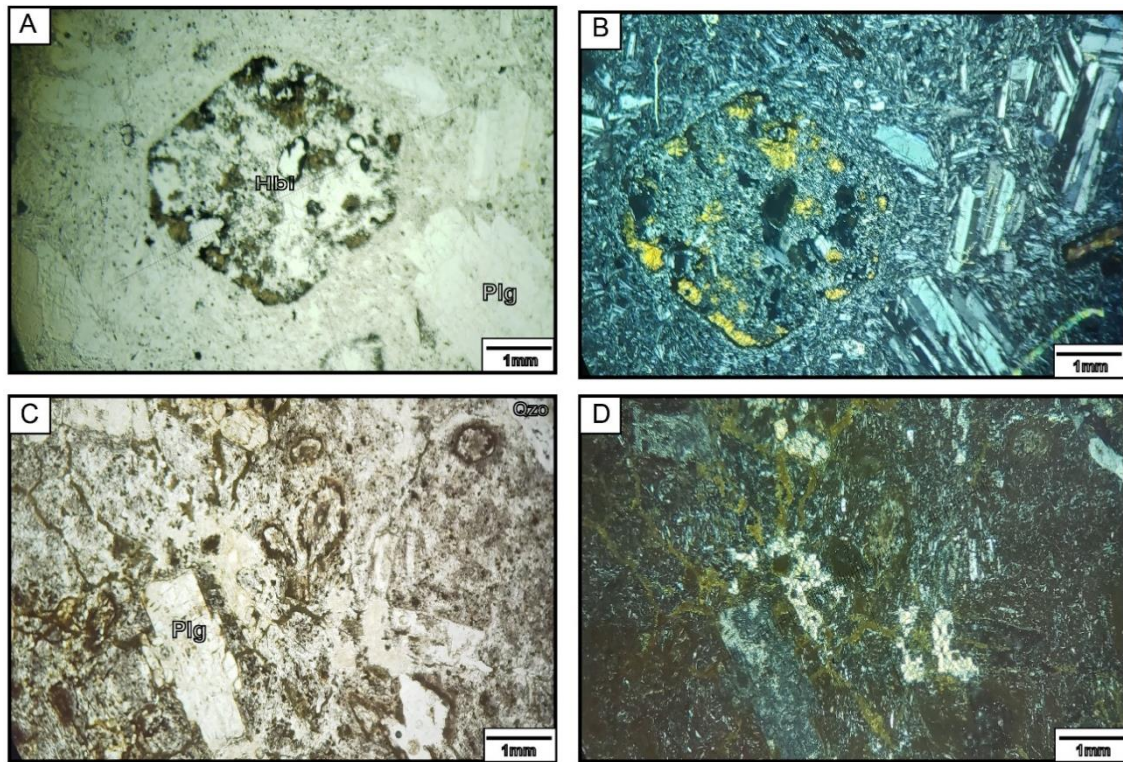
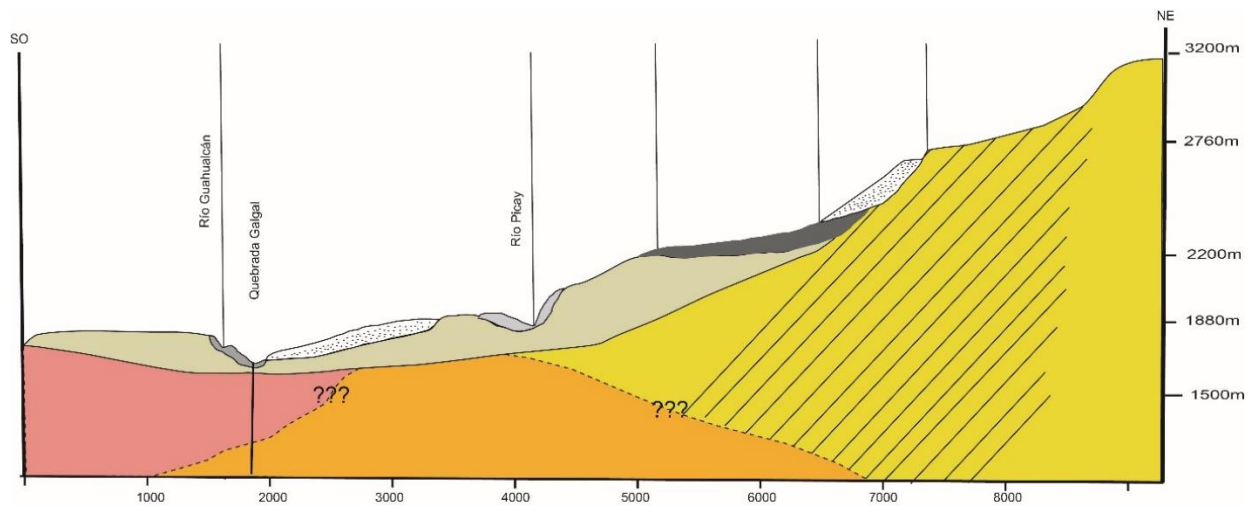
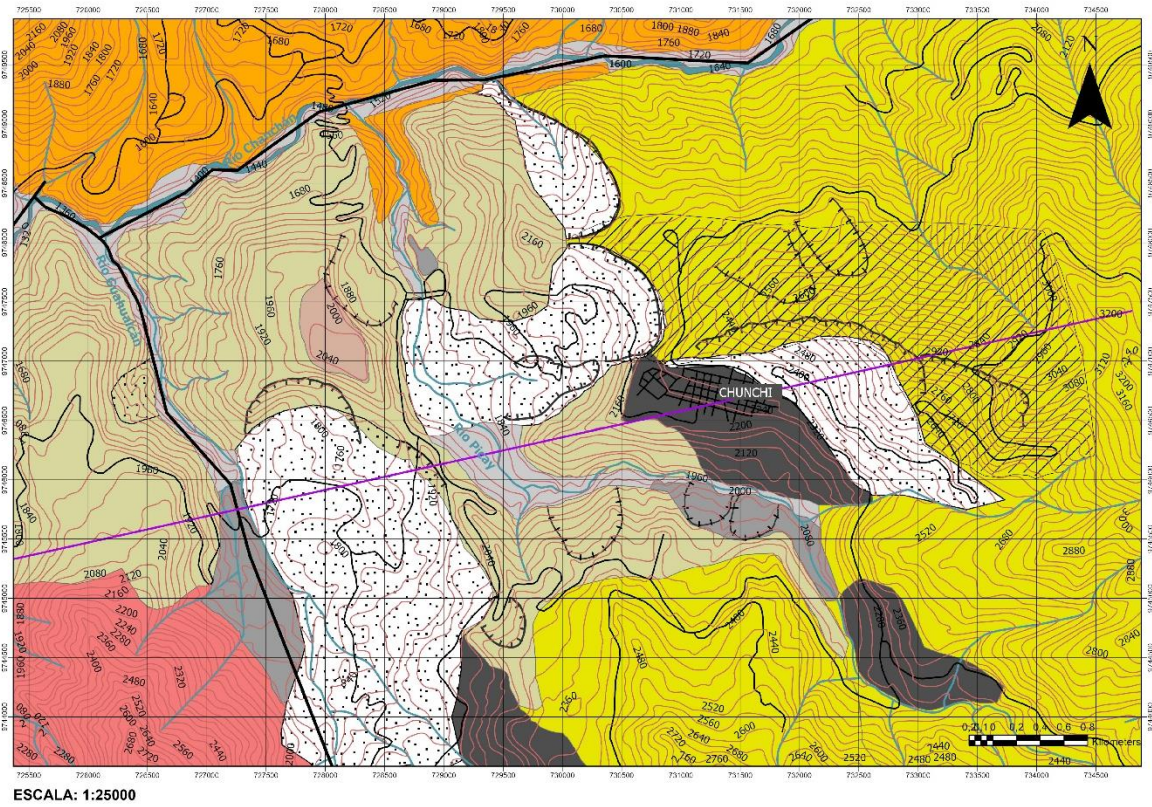


Figura 4.2.4.1 Lámina delgada de las muestras CH50-27-05 (A, & C), con luz natural (LPP). (B, &D). Polarizador cruzado (XLP).

Las láminas delgadas de las muestras CH50-27-05 (Fig.4.2.4.1 A) formada por: hornblenda reclítica con bordes de oxidación y plagioclasa en tamiz o sieve, textura porfídica, matriz microcristalina de plagioclasa. Con nicoles cruzados (Fig.4.2.4.1B) se ve la hornblenda con birrefringencia media y algunas plagioclasas zonadas. La muestra corresponde a una Andesítica Hornbléndica.

En cambio, la lámina delgada (Fig.4.2.4.1 C) formada por: cuarzo y plagioclasa, textura porfirítica, matriz microcristalina de plagioclasa. Con nicoles cruzadas (Fig.4.2.4.1 D) se ve el cuarzo con birrefringencia baja. La muestra corresponde a una lava brechificada.

4.3. Mapa y corte geológico de la zona de estudio



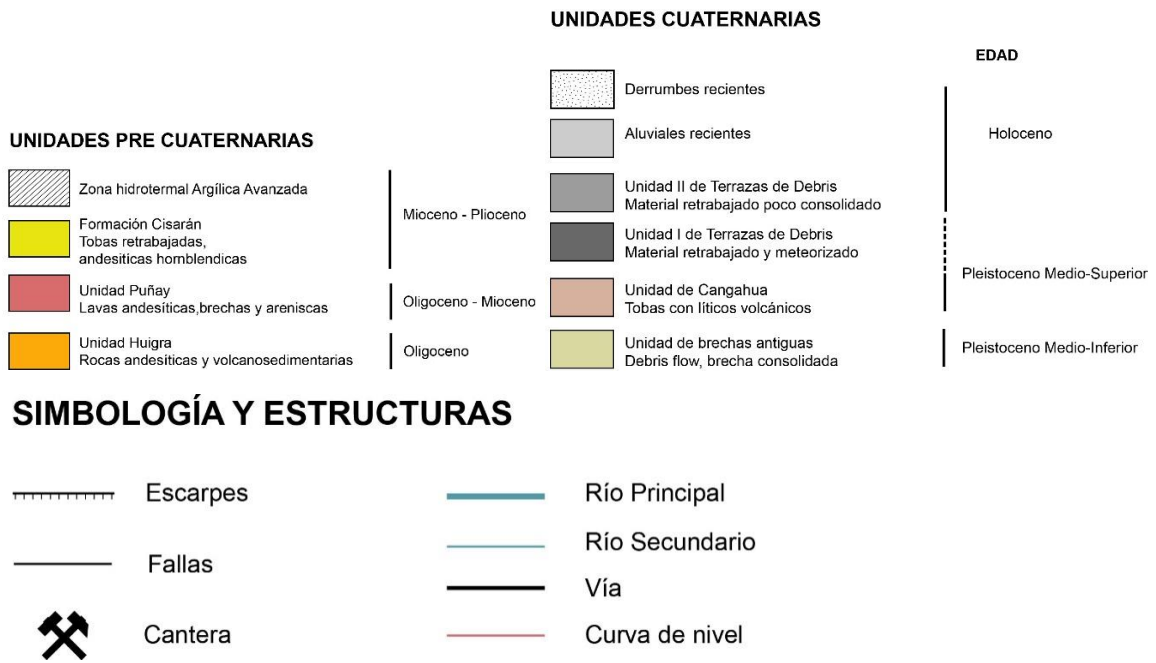


Figura 4.3. Mapa y corte geológico de la zona

El área de estudio Chunchi se cartografió con una escala 1:25000. En la zona afloran las siguientes unidades.

Unidad Huigra: son brechas andesíticas y volcano-sedimentarias que esta expuesta Norte de Chunchi. Los mejores afloramientos están localizados en la vía férrea de Huigra y por el borde del río Picay.

Unidad Puñay: se encuentra desde el SO del Chunchi. Esta Unidad no se le observó en campo pero se tomó de referencia los mapas previos de (Sosa et al., 1975) y (INIGEMM, 2015).

Fm. Cisarán: es una secuencia de rocas de origen volcánico de composición andesítica a dacítica, aflora en la mayor parte NE-SE de Chunchi. Adicionalmente, dentro de esta Fm. Cisarán se mapeó la zona de alteración hidrotermal que está in situ (734052/9747723) y se encontraron materiales removidos hasta el este de Chunchi en la comunidad de Bacún, debido a los deslizamientos que lo ha transportado hasta por debajo de la terraza de Chunchi.

Estructuras: Son sistemas de fallas que se trazan a lo largo del cauce de los ríos Chanchán y Guahualcán, estas fallas son tomadas como referencia del mapa (INIGEMM, 2015) asociadas a la Falla Pujilí-Pallatanga-Calacalí.

Depositos Cuaternario: incluyen coluviales, aluviales, terrazas y cangahua relacionados a deslizamientos activos..

- **Unidad de Brechas Antiguas:** son brechas consolidadas que están expuestas al NO de Chunchi, hacia el sur del río Chanchán. Los mejores afloramientos se encuentran a lo largo de la vía a Piñacay.
- **Unidad Cangahua:** son tobas con líticos volcánicos que cubre parcialmente la unidad anterior, expuesta al NO de Chunchi, en Capzol Chunchi.
- **Unidad I de Terrazas de Debris:** depósitos re TRABAJADOS de material silicificado y meteorizados, expuestas tanto en el centro y al este del pueblo Chunchi que llegue hasta el sureste.
- **Unidad II Terrazas de Debris:** es material re TRABAJADO poco consolidado, expuesta al margen del río Picay y río Guahualcan, en esta unidad se encuentran dos deslizamientos activos.
- **Aluviales recientes:** son depósitos transportados por un flujo de agua y debido al salto topográfico se forma conos de detritos, expuestas a lo largo del río Chanchán y río Guahualcan.
- **Derrumbes recientes:** son brechas y materiales producidos por deslizamientos recientes, expuestas al NO-NE de Chunchi, cubre las unidades anteriores provocadas por el deslizamiento de Armenia y otros deslizamientos recientes.

5. DISCUSIÓN

Las salidas de campo, junto con los estudios previos de la parte sur del Valle Interandino, han permitido cartografiar los depósitos cuaternarios de la zona de Chunchi, y describir el origen de dichos depósitos.

UNIDADES PRE-CUATERNARIAS

La unidad más antigua descrita de esta zona corresponde a brechas con clastos andesíticos y otros materiales volcánicos encontrados por la vía ferrocarril tramo Chumchi-Tambo y aflorando al margen del río Chanchán. Según, (Sosa et al., 1975), describe como Fm. Piñón lo más viejo en torno a Chunchi y en el mapa (INIGEMM, 2015) se describe a la Fm. Ocaña. En cambio, (Eguez et al., 1992) menciona que la Unidad Huigra compuesta por brechas volcánicas y andesíticas de edad oligocénica es lo más antiguo de la zona aflorando por la estación ferrocarril de Chanchán hasta la Nariz del Diablo y desde Huigra hasta el este del río Chanchán. El análisis petrológicos (muestra de mano y lámina delgada) en esta unidad coincide con las descripciones de autores previos, y para la zona mapeada la Unidad Huigra es la litología más antigua aflorando.

La Unidad Puñay, no se pudo muestrear en campo pero se tomó de referencias a los mapas previos de (Sosa et al., 1975) y (INIGEMM, 2015) para la cartografía y descripción general, compuesta de lavas andesíticas, brechas y areniscas de edad Oligoceno a Mioceno.

Por otro lado, la Fm. Cisarán en la zona de estudio corresponde a tobas retrabajadas de color amarillo verdoso y grisáceo, de grano grueso a fino y matriz arcillosa, contiene anfíbol, plagioclasa y piroxeno aflorando a lo largo de la parroquia Gonzol hasta el Sur de Chunchi. Además, se ha delimitado el sistema hidrotermal que se encuentra in situ en las siguientes coordenadas (734052/9747723) compuesto de alteración argílica avanzada con sílice amorfo, calcedonia y sulfuros. También se encuentra en otras partes como la ruta de la Iglesia "Gruta Católica Virgen de Agua Santa" y por la vía de Guasuntos a Chunchi se encontró material alterado pero retrabajado por deslizamientos antiguos y recientes que destacan en el paisaje por las tonalidades amarillas y rojizas. A esta zona la interpretó como Zona de Alteración Hidrotermal Argílica Avanzada dentro de la Fm. Cisarán. Según, (Eguez et al., 1992) interpreta a estos depósitos como Unidad Alausí compuesta por lavas andesíticas a riolíticas, brechas volcánicas y tobas soldadas. De igual manera, (Sosa et al., 1975) le denomina Fm. Alausí compuesta de lavas volcánicas intermedias a ácidas y que en gran parte está alterada por emanaciones hidrotermales que han originado la presencia de azufre y geysers. Mediante el mapa (INIGEMM, 2015), menciona como Fm. Cisarán agrupada por 3 miembros, donde el inferior y superior constituye lavas andesíticas a dacíticas y el intermedio predominan volcanoclástico, aflorando desde el sector Huigra hasta el sector Atillo. Los materiales observados de esta Formación, coinciden con las descripciones de los autores previos, y aflora desde Huigra hasta al SE de Chunchi (comunidad Bacún) .

UNIDADES CUATERNARIAS

Previamente, los depósitos cuaternarios eran designados según (INIGEMM, 2015) y (Sosa et al., 1975) como a los lahares, coluviales, aluviales, terrazas, glaciales, morrenas y los movimientos en masa. Estos depósitos en nuestro trabajo se interpretaron según su morfoestratigrafía y litología en el mapa 1:25000 como 6 unidades:

Unidad de Brechas Antiguas:

Las brechas Antiguas con un espesor de 140m compuestas por varias capas brechas consolidadas a semiconsolidadas, con clastos tobáceas y volcánicos, y metamórficos en las unidades basales, de color gris a café que se exponen en gran parte de Chunchi entre cotas de 2000m a 1860m, desde el noroeste de Chunchi, bordeando al río Chanchán y continuando con el río Picay hasta el SO de Chunchi. Este depósito en el mapa (Sosa et al., 1975) se presenta como terraza de edad Holoceno con menor espesor y bordea por debajo del río Chanchán. En cambio en el mapa realizado por (INIGEMM, 2015) se localiza como Fm. Cisarán de brechas gruesas o Puñay y junto a ello abanicos aluviales. Estos autores lo mencionan como un solo depósito en un mismo período. En este trabajo, considerando la petrología observada en campo y la distribución por fotointerpretación, se interpreta la unidad formada por procesos de debris flow.

Unidad Cangahua

La Unidad Cangahua con un espesor aproximadamente de 20m compuesta de tobas con líticos volcánicos expuesta entre las cotas 2040m a 2000m de al NO de Chunchi, en Capzol Chunchi cubre a las brechas anteriores. Según, (INIGEMM, 2015) y (British Geological Survey, 1997) describen esa área como un solo depósito cuaternario incluyendo derrumbes expuestas al Sur de Cebadas. En cambio, (Sosa et al., 1975) describe la cangahua representada por sedimentos finos y la potencia sobrepasa los 100m. (Hall & Mothes, 1996) describen la cangahua en el Valle interandino como material fino endurecido de color caqui alterado por los procesos de meteorización, de edad Pleistoceno Tardío, asociados a los períodos de glaciación en las cordilleras, debido a las bajas condiciones climáticas (7°C) del valle interandino asignando edades de 230ka y 35-20ka. Dichas edades sirven de referencia para la estimación de edades relativas de las unidades cuaternarias de la zona.

Unidad I de Terrazas de Debris

Esta Unidad con un espesor de 120m es de material retrabajado y meteorizado como brechas con clastos silicificados, andesíticos a ácidos de tamaños subangulares a subredondeados, expuestas entre las cotas de 2360m a 2240m, aflorando por todo el cantón Chunchi y más al Sur por Callanga. A esta unidad no se le menciona en previos mapas, de modo que con análisis petrológicos (muestra de mano y láminas delgadas) y fotointerpretación se definieron depósitos asociados a esta unidad aterrazada. No fue posible verificar la cobertura de Cangahua sobre estas terrazas, ya que poseen coluviones y partes deslizadas por derrumbes posteriores, pero se le interpreta con una edad relativa de edad Pleistoceno Medio a Superior

Unidad II de Terraza de Debris

Esta Unidad con un espesor aproximado a 40m es de material retrabajado poco consolidada compuesta por coluviales de materiales volcánicos que se exponen entre las cotas aproximadamente de 1800m a 1760m y 2080m a 2040m al Sur de Chunchi en Capsol, donde se encuentra deslizamientos recientes, indicando material retrabajado. No posee cangahua que lo cubra, de modo que se interpretó esta Terraza II de Debris con una edad Holoceno.

Aluviales Recientes

Estos aluviales son depósitos transportados por flujos de agua que van formando acumulaciones de detritos, expuestos a lo largo del río Chanchán y río Guahualcan, como también por el río Picay, de edad Holoceno.

Derrumbes recientes

Son brechas y materiales producidos por deslizamientos recientes, expuestas al NO-NE de Chunchi, cubriendo las unidades anteriores provocadas por estos derrumbes recientes como el deslizamiento de Armenia del 12 de febrero de 2021 y otros deslizamientos. Según (INIGEMM, 2015) y (British Geological Survey, 1997) muestran derrumbes por el NE de Chunchi. En cambio (Sosa et al., 1975) indica derrumbes en el NE-NO de Chunchi, como está en nuestro mapa geológico, pero mostrando más derrumbes que van a cubrir el cantón Chunchi en un futuro.

EDADES Y EVOLUCIÓN DEL ENTORNO

A partir de la edad para la Formación Cangahua, se ha justificado las edades para las distintas unidades cuaternarias. La formación de la cangahua está relacionada con los climas secos y ventosos y a períodos de glaciaciones donde la temperatura era menor a 7°C durante el período Pleistoceno tardío (Hall & Mothes, 1996). Con este aporte se le interpretó la fuente de nuestros depósitos cuaternarios como sus edades, comenzando con la Unidad de Brechas Antiguas (Fig.5.A). Debido a su composición litológica que son brechas con clastos volcánicos y metamórficos en las partes basales, y a su grado de consolidación y posible afectación tectónica (ver apartado Resultados en Fig.4.2.1), se depositó mucho antes que le cubriera la cangahua, probablemente durante el período Pleistoceno Inferior a Medio. Proviene de una fuente volcánica y formaciones metamórficos alejadas que puede ser cerros del norte o sur de Chunchi y se transportó mediante flujos debris flow cubriendo formaciones Miocénicas y rellenando fondo de valles amplios diferentes a la topografía actual. Durante las acumulaciones iniciales de estas brechas no están siendo retrabajadas los volcánicos con los hidrotermales de la Fm. Cisarán por lo que en superficie quizás no afloraba o estaba cubierta la zona de la silificación -materiales alterados. Los espesores, distribución del depósito, y tamaños de bloques dentro de estas brechas sugieren grandes volúmenes de agua generando el depósito, quizás asociados a los primeros procesos de glaciación y deglaciación considerando la proximidad de circos glaciares hacia el Norte y Sur de la zona de estudio, en las partes altas de los páramos. Dichos depósitos se acumulan en valles anchos quizás excavados previamente por el hielo.

Posteriormente, la Unidad Cangahua cubre la topografía existente del Valle Interandino, (Hall & Beate, 1991). La mayor acumulación de la cangahua va desde el norte de Ecuador por Ibarra-Quito y que va disminuyendo la acumulación de cangahua hacia el sur del Ecuador por Riobamba, por ende en Chunchi se encontró poco espesor de Cangahua que se acomodó encima de las Brechas Antiguas tras un periodo de erosión de las mismas. (Fig.5.B).

La Unidad de Cangahua marca también un posible cambio en la dinámica de sedimentación del entorno, con menor humedad y quizás mayor aridez respecto al periodo de acumulación de la Unidad de Brechas antiguas.

Considerando las edades asociadas a la cangahua, y la erosión de la Unidad de brechas antiguas sobre la que se apoya los depósitos posteriores, se interpreta que la Unidad I de Terraza de Debris se depositó durante Pleistoceno Medio a Superior sobre las Brechas y se encuentra rodeando a la población de Chunchi (Fig 5.C). Esta unidad compuesta por material retrabajado y meteorizado, sugiere que se acumuló mediante varios episodios de depositación mezclándose acumulaciones de flujos del fondo del valle y coluviones. Chunchi se asienta sobre brechas con clastos volcánicos, alterados y meteorizados que pueden ser de la Fm. Cisarán y/o de la Unidad de las Brechas Antiguas.

Por otro lado, la Unidad II de Terraza de Debris es de material retrabajado poco consolidado, solamente con clastos volcánicos, sin cangahua que los cubra, y esta Unidad esta rodeada de deslizamientos antiguos y recientes (Fig.5.C). En base a estos fenómenos de remoción de masa se interpreta de edad Holocénica y acumulada principalmente por procesos de ladera en el fondo del valle.

Los últimos depósitos de edad Holocénica son los Aluviales y Derrumbes recientes, estos aluviales se han transportado gracias a los ríos Chanchán, Guahualcán y Picay (Fig.5.D), sugiriendo que estos aluviales provienen de las formaciones volcánicas cercanas, junto con materiales retrabajos. Los derrumbes procedentes de deslizamientos en el entorno son los depósitos más recientes, cubriendo a las unidades previas provocando inestabilidad y daños en la población Chunchi retrabajando todos los materiales anteriores.

MODELO EVOLUTIVO

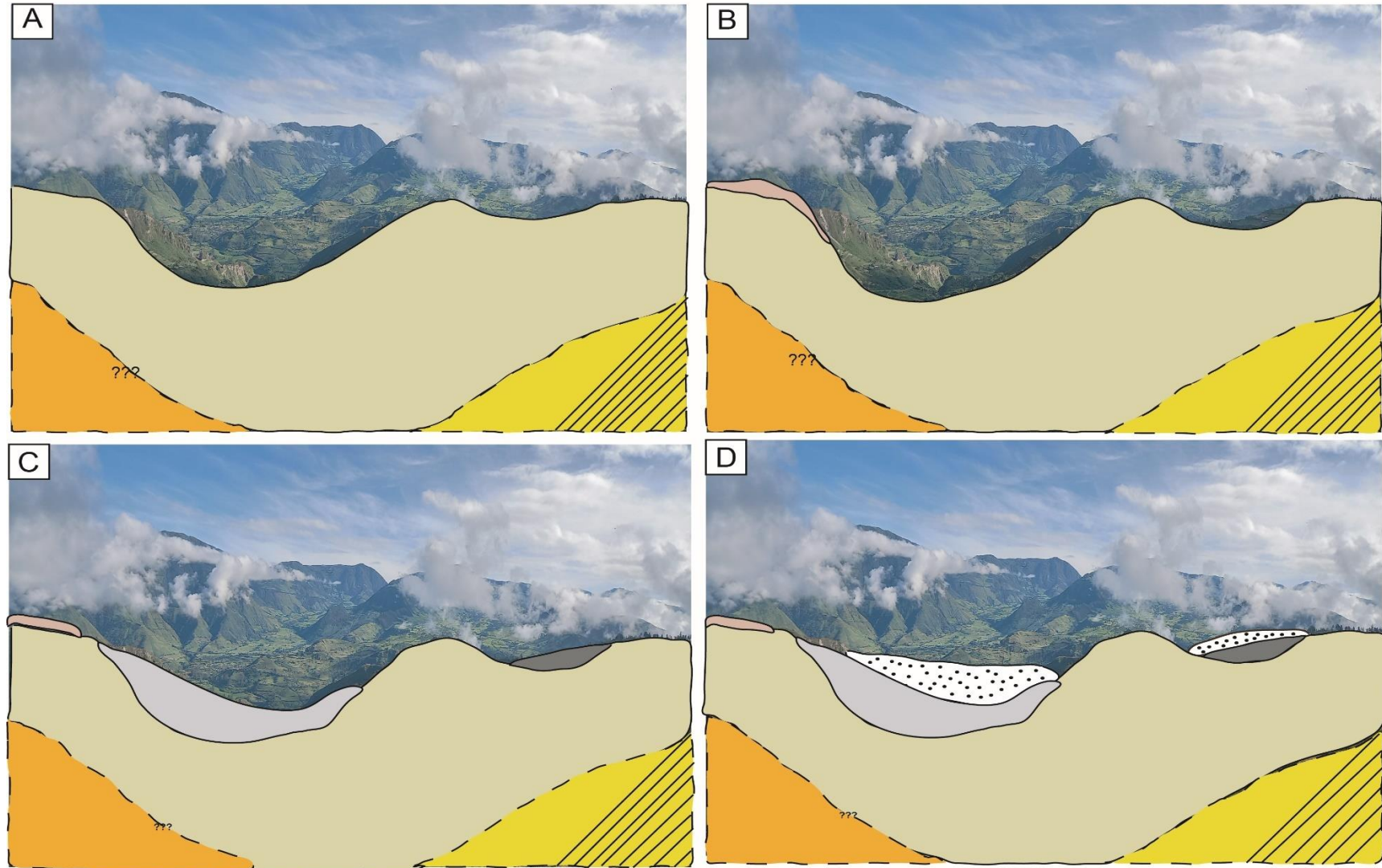


Fig.5. Evolución del Entorno

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En la zona de estudio, estratigráficamente desde lo más antiguo hasta lo más reciente afloran: Unidad Huigra (Oligoceno) compuesta de brechas muy consolidadas con clastos andesíticos y volcanosedimentarios; Unidad Puñay (Oligoceno-Mioceno) compuesta de lavas andesíticas y brechas; Fm. Cisarán (Mioceno) compuestas de tobas y andesíticas hornbléndicas, dentro de esta Fm. Cisarán se encuentra una zona con alteración hidrotermal argílica avanzada; Unidad de Brechas Antiguas (Pleistoceno Medio-Inferior) compuesta de brechas consolidadas formadas por procesos de Debris-flow; Unidad Cangahua (Pleistoceno Medio-Superior) compuesta de tobas con líticos volcánicos; Unidad I de Terraza de Debris (Pleistoceno Medio-Superior); Unidad II de Terraza de Debris (Holoceno) compuesta de coluviones; Aluviales recientes (Holoceno) depósitos transportados por flujos de agua; Derrumbes recientes (Holoceno) material producidos por fenómenos de remoción de masa.
- En la Fm. Cisarán se cartografió una zona de la alteración argílica avanzada expuesta al NE Chunchi, con presencia de materiales silicificados, y con materiales retrabajados en las partes bajas por múltiples deslizamientos antiguos y recientes.
- Se describieron 6 Unidades Cuaternarias, a estas unidades se las clasificó según su disposición morfoestratigráfica y petrológica mediante 4 salidas de campo para levantar columnas estratigráficas y realización de un mapa geológico.
- La interpretación de edades de las distintas unidades cuaternarias se basó en la edad de la formación Cangahua, y como ésta ha ido cubriendo en el Valle Interandino, por lo que se concluye que la Unidad de Brechas Antiguas se estableció durante el Pleistoceno Medio-Inferior y que la Cangahua cubrió posteriormente las Brechas.
- Posteriormente a la Cangahua se interpreta 4 Unidades desde el Pleistoceno Superior-Holoceno: Unidad I de Terraza de Debris, se estableció sobre las Brechas antiguas tras su erosión, y se acumuló por procesos mixtos aluviales y por fenómenos de remoción de masa. Entre los materiales que la componen, presenta depósitos retrabajados de material silicificado provenientes de la zona alterada de Cisarán.
- La Unidad II de Terraza de Debris son coluviones expuestas más al Sur de la anterior unidad, se le diferencia por su material poco consolidado, de clastos volcánicos frescos, y porque se encuentra en zonas de deslizamientos.
- Los Aluviones y Derrumbes se les interpreta de edad Holocénica por su disposición respecto a las unidades anteriores. Los aluviones son depósitos

retrabajados expuestas en los ríos y los derrumbes aparecen dispersos en los fondos de valles y laderas por los múltiples deslizamientos en la zona.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar más estudios específicos de las Unidades Cuaternarias para obtener mayores detalles de los contactos de las unidades de terrazas y de la distribución de la Cangahua.
- Es recomendable hacer dataciones de los depósitos cuaternarios, aunque sea difícil de definir la técnica de datación porque no hay métodos confiables para este tipo de material retrabajado.
- Realizar más proyectos de investigación de la zona Sur de Ecuador para complementar la información geológica y estructural, ya que es muy poco estudiada en especial Alausí y Chunchi, y además son zonas de mucha inestabilidad provocadas por los fenómenos de remoción de masa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovia, M., Rolandone, F., & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35(5), 1048-1065.
<https://doi.org/10.1002/2016TC004117>
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1), 187-204.
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7)
- Barragán, R., Baby, P., & Duncan, R. (2005). Cretaceous alkaline intra-plate magmatism in the Ecuadorian Oriente Basin: Geochemical, geochronological and tectonic evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 236(3), 670-690.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2005.03.016>
- British Geological Survey. (1997). *Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2-3°S* [Map].
- Bruet, E. (1949). Les enclaves des laves des volcans de Quito, République de l'Équateur. *Bulletin de la Société Géologique de France*, S5-XIX(4-6), 477-491.
<https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S5-XIX.4-6.477>
- Castroviejo, R., & García, J. (1998). *Fundamentos de Petrografía: Curso avanzado de Petrología Minera I/II*.
<https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/index.asp?param=o%AD%88%92bh%92%8Fnb&Op=3>
- Crespi, R., Liborio, G., & Mottana, A. (1980). *Guía de Minerales y Rocas* (Vol. 08).
- Cuervo, G. V. (2000). Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37), Article 37.
- DGGM. (1975). *Hoja Geológica Alausí* [Map].
- Díaz, J. A., Gallastegui, G., & González-Menéndez, L. (2019). *Vocabulario de Rocas, Sedimentos y Formaciones Superficiales*.
- Dunkley, P., & Gaibor, A. (1997). *Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2° – 3° S, escala 1:2 00000* (N.º 2; p. 145). CODIGEM-BGS.
- Eguez, A., Dugas, F., & Bonhomme, M. (1992). *Las unidades Huigra y Alausí en la evolución geodinámica del valle interandino del Ecuador*. 10.
- Feininger, T., & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69(3), 849-874.
<https://doi.org/10.1007/BF02104650>
- GEMMA. (2007). *MOVIMIENTOS EN MASA EN LA REGIÓN ANDINA: UNA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE MASAS*.

- Gillespie, M., & Styles, M. (1999). *BGS rock classification scheme, Volume 1. Classification of igneous rocks* [Publication - Report]. British Geological Survey. <http://www.bgs.ac.uk/downloads>
- Gutscher, M.-A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J.-Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3), 255-270. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(99\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00060-6)
- Hall, M. L., & Beate, B. (1991). *El volcanismo plio cuaternario en los Andes del Ecuador*. Instituto Geofísico, Departamento de geología EPN.
- Hall, & Mothes, P. (1996). *Suelos volcanicos endurecidos*.
- Hoffstetter, R. (1952). *Les Mammifères Pléistocènes de la République de l'Equateur*. Société géologique de France.
- Huggett, R. J. (2011). *Fundamentals of geomorphology* (3. ed). Routledge.
- Hughes, R. A., & Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1-4), 29-48. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00205-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00205-0)
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., Helg, U., & Hammer, C. (2002). Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. *Earth-Science Reviews*, 57(1), 75-124. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(01\)00071-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00071-X)
- INIGEMM. (2015). *Hoja Geológica Alausí* [CT-ÑV-C3, 3886-III HOJA 72SW].
- Morillo, P., & Ortiz, R. (2014). *Agenda de Reducción de riesgos Provincia Chimborazo* (p. 46).
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy* (2nd ed). Wiley-Blackwell.
- Núñez, C. (2011). *Geología del Cuaternario y Geomorfología Tectónica entre Villadora y Bellavista, Río Guayllabamba* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4324>
- Ochoa-Tejeda, V. (2009). *Control estructural de la inestabilidad de laderas: Modelación tridimensional de los rasgos geológicos. Aplicación al estudio de los procesos de remoción en masa de La Soledad, Sierra Norte de Puebla, México*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2101.5765>
- Paez, J. A. P. (2019). *ANÁLISIS DE TERRAZAS FLUVIALES EN EL RÍO GUAYLLABAMBA, SECTOR PERUCHO, PROVINCIA DE PICHINCHA*. Escuela Politécnica Nacional.
- Petley, D. (2021, febrero 16). The very large Chunchi landslide in Ecuador. *The Landslide Blog*. <https://blogs.agu.org/landslideblog/2021/02/16/chunchi-a/>
- Pilatasig, L. F. (2021). *DESLAVE LA ARMENIA ¿CULPA DE LA NATURALEZA O DEL HUMANO?* [Facebok]. Escuela Geología-Figempa.

<https://www.facebook.com/figempa.geologia/videos/deslave-la-armenia-culpa-de-la-naturaleza-o-del-humano/465123284527514/>

Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador: Fundamentos explicativos*. 37.

Rivera, L. A. R. (2013). *PROYECTO: "GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL. ESCALA 1: 25 000"* (p. 57).

Ruiz, G., Seward, D., & Winkler, W. (2004). Detrital thermochronology—A new perspective on hinterland tectonics, an example from the Andean Amazon Basin, Ecuador. *Basin Research*, 16, 413-430. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2004.00239.x>

Sauer, W. (1950). *Colección Histórica · Contribuciones para el conocimiento del cuaternario en el Ecuador: Vol. LXXI*.
<https://bibliotecadigital.uce.edu.ec/s/coleccionhis/item/43#?c=0&m=0&s=0&cv=0>

Sepúlveda, L., García, L., Hernández, C., Botero, P., & Torres, E. (2005). Depósitos cuaternarios de la cordillera Central entre Calarcá y Pijao (Quindío-Colombia): Evidencia de actividad tectónica reciente. *Revista Geográfica Venezolana*, 46, 45-56.

Servicio Nacional de Gestión y Riesgos. (2021). *Deslizamiento de Chunchi* (Situación N.º 8; p. 6). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/Informe-de-Situacion-No-8-Chunchi-19022021.pdf>

Sosa, H., Kennerley, J. B., Nuñez, R., & Ruales Montalvo, G. (1975). *Mapa geológico del Ecuador: Alausi* [Map]. Instituto Geográfico Militar (IGM).

Spikings, R. A., Winkler, W., Hughes, R. A., & Handler, R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes. *Tectonophysics*, 399(1), 195-220. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.023>

Steinmann, M. (1997). *The Cuenca basin of southern Ecuador: Tectono-sedimentary history and the Tertiary Andean evolution* [Doctoral Thesis, ETH Zurich].
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001843356>

Suarez, J. (1998). *DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES*.
https://www.academia.edu/40311609/DESLIZAMIENTOS_Y_ESTABILIDAD_DE_TALUDES_EN_ZONAS_TROPICALES

Suarez, J. (2012, marzo 20). Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico. *EROSION.COM.CO :: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ*.
<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico/>

Teruggi, M. E. (1982). *Diccionario sedimentológico: Rocas clásticas y piroclásticas* (Número v. 1). Ediciones Científicas Argentinas Librart.
<https://books.google.com.ec/books?id=91ARjwEACAAJ>

The American Geological Institute. (1984). *Dictionary of Geological Terms: Third Edition*. Knopf Doubleday Publishing Group.
https://books.google.com.ec/books?id=1jiQZIfvg_gC

Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157-171. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(02)00018-4)

Umeres, R. (2014, marzo). *Rocas Volcano Sedimentarias*. Sedimentología, Universidad Nacional de Piura. <https://www.monografias.com/docs/Rocas-Volcano-Sedimentarias-F3XBQZGFJ8G2Z>

Villagómez, D. (2003). *Evolución Geológica Plio-cuaternaria del Valle Interandino Central en Ecuador (zona de Quito-Guayllabamba-San Antonio de Pichincha)*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18366.43843>

Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, St., & Egüez, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(1), 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.06.006>

Woodcock, N. (2005). TUCKER, M. E. 2003. *Sedimentary Rocks in the Field*, 3rd ed. The Geological Field Guide Series. ix+234 pp. Chichester: Wiley. Price £15.99 (paperback). ISBN 0 470 85123 6. *Geological Magazine*, 142(2), 226-226. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S001675680536078X>

ANEXOS

