

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CUTUCHI

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
GEOLOGÍA**

DIEGO MAURICIO CASTRO VILLACIS

diego.castro@epn.edu.ec

DIRECTOR: PhD. Sandra Teresa Procel Guerra

sandra.procel@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, DIEGO MAURICIO CASTRO VILLACIS declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



DIEGO MAURICIO CASTRO VILLACIS

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DIEGO MAURICIO CASTRO VILLACIS, bajo mi supervisión.



PHD. SANDRA TERESA PROCEL GUERRA
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular 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.

DIEGO MAURICIO CASTRO VILLACIS

SANDRA TERESA PROCEL GUERRA

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres Bertha Villacís y Oliverio Castro por su apoyo incondicional y por estar siempre presentes en que lo he necesitado. A mi familia Paul Castro y su esposa Monse Reyes que me han apoyado y han sido un ejemplo a seguir durante mi carrera universitaria.

A la Dra. Sandra Procel, por ser una gran persona, profesora, por despertar mi interés en la hidrogeología, así mismo por haberme brindado su tiempo, paciencia y facilidades durante la realización de este proyecto.

A la Ing. Gabriela Nuñez, por brindarme sus consejos, apoyo y paciencia para poder culminar este trabajo.

A Isra y a Pablito, por brindarme su ayuda durante el levantamiento geológico de este trabajo.

A Stalin, por brindarme su conocimiento y guiarme en los laboratorios de sedimentología y laminas delgadas.

A Daniel Viteri, por ser gran amigo durante todos estos años.

A Isma y Daniel Maya, por brindarme su apoyo, consejos y ser como mis hermanos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Área de estudio	2
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 Geología	5
1.5.1.1 Geodinámica actual	5
1.5.1.2 Geología regional	6
1.5.1.3 Geología local.....	9
1.5.2 Sistemas Acuíferos	13
1.5.2.1 Porosidad	14
1.5.2.2 Conductividad Hidráulica	14
1.5.2.3 Transmisividad	14
1.5.2.4 Almacenamiento.....	15
1.5.2.5 Acuíferos en sistemas volcánicos	15
2 METOGEOLOGÍA.....	16
2.1 Muestreo de rocas y sedimentos en el área de estudio	16
2.2 Trabajo de laboratorio.....	17
2.3 Sedimentología: granulometría de cenizas	19
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
3.1 Geología regional y cartografía.....	22
3.1.1 Depósitos del Cotopaxi.....	22
3.1.2 Formación Cangahua	27
3.1.3 Formación Latacunga	27
3.1.4 Depósitos del Iliniza.....	32
3.1.5 Depósitos del Chalupas.....	36
3.1.6 Depósitos del Cotopaxi.....	38
3.1.7 Depósitos del Iliniza.....	38
3.1.8 Depósitos del Chalupas.....	39

3.2	Mapeo local	39
3.3	Discusión	41
3.4.1	Aspectos Hidrogeológicos	41
3.4.2	Aspectos Geológicos	44
3.4	Conclusiones	44
3.5	Recomendaciones	46
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
5	ANEXOS.....	51

RESUMEN

El estudio se centra en la caracterización geológica e hidrogeológica de cuenca alta del río Cutuchi ubicada en la provincia de Cotopaxi, con el objetivo de realizar un mapa geológico a escala 1:250.000 y discriminar los posibles sistemas acuíferos presentes dentro la cuenca a partir de observaciones realizadas en campo y laboratorio. La descripción geológica se basó en el muestreo de 58 puntos, en los que describió el afloramiento, y se tomó muestras de roca y sedimento. Las muestras de roca se emplearon para su descripción macro y microscópica. Las muestras de sedimento se utilizaron para determinar la distribución granulométrica de los depósitos considerando partículas entre 1 y 0.5 mm para el análisis cuantitativo de cenizas. El análisis hidrogeológico se realizó con base en el empaquetamiento, esfericidad, selección y cimentación de las Formaciones. Se definió que la cuenca está constituida por depósitos piroclásticos asociados a los volcanes Cotopaxi, Los Ilinizas y Chalupas localizados sobre las secuencias volcánicas a fluvio-lacustres de la Formación Latacunga. Se determinó la presencia de varios niveles acuíferos distribuidos entre los depósitos piroclásticos del volcán Cotopaxi, Los Ilinizas y Chalupas. Estos depósitos se caracterizan por presentar intercalaciones de lapilli y ceniza que implican una variación en el tamaño de grano, y por tanto en la porosidad dando como resultado la presencia de varios niveles acuíferos.

PALABRAS CLAVE: cuenca alta del río Cutuchi, depósitos piroclásticos, roca, sedimentos, acuíferos.

ABSTRACT

This study focuses on the geological and hydrogeological characterization of the upper basin of the Cutuchi River, located in the province of Cotopaxi, with the aim of making a geological map at a scale of 1:250,000 and discriminating the possible aquifer systems present within the basin from observations made in the field and laboratory. The geological description was based on the sampling of 58 points, in which the outcrop was described, also rock and sediment samples were taken. The rock samples were used for macroscopic and microscopic description. The sediment samples were used to determine the deposits granulometric distribution, considering particles between 1 and 0.5 mm for the quantitative ash analysis. The hydrogeological analysis was carried out based on the packing, sphericity, selection and cementation of the Formations. It was defined that the basin is made up of pyroclastic deposits associated with the Cotopaxi, Los Ilinizas and Chalupas volcanoes located on the volcanic to fluvio-lacustrine sequences of the Latacunga Formation. The presence of several aquifer levels distributed among the pyroclastic deposits of the Cotopaxi, Los Ilinizas and Chalupas volcanoes was determined. These deposits are characterized by intercalations of lapilli and ash that imply a variation in grain size, and therefore in porosity, resulting in the presence of various aquifer levels.

KEYWORDS: upper basin of the Cutuchi River, pyroclastic deposits, rock, sediment, aquifer.

1 INTRODUCCIÓN

En la zona central del Valle Interandino se localiza la cuenca alta del río Cutuchi entre los cantones de Latacunga y Saquisilí, provincia de Cotopaxi. El contexto geodinámico del Ecuador constituye esta zona en un centro de alta actividad volcánica caracterizada por la acumulación de grandes depósitos volcánicos procedentes del volcán Cotopaxi al NE, Los Ilinizas al NO, y del extinto volcán Chalupas ubicado al SE del volcán Cotopaxi entre la provincia de Cotopaxi y Napo.

El volcán Cotopaxi se caracteriza por un magmatismo bimodal andesítico y riolítico, los últimos 4.400 años se caracterizan por la prevalencia de la fase andesítica y sus depósitos asociados conformados por: bombas de escoria, flujos piroclásticos ricos en líticos, flujos de lava poco frecuentes que llegan hasta la base del volcán, lapilli andesítico, caídas de ceniza, y grandes flujos de escombros (Hall & Mothes, 2008).

Los Ilinizas constituyen un complejo volcánico conformado por el Iliniza Norte e Iliniza Sur. La actividad volcánica del Iliniza Sur se inició hace 45 ka con un evento explosivo (índice de explosividad volcánica VEI=5) que depositó bloques dacíticos, piedra pómez de composición riolítica y ceniza en las laderas inferiores del edificio volcánico (Hidalgo et al., 2007). La composición del magma fue producto de la mezcla de magmas adakíticos y calco-alcalinos (Hidalgo et al., 2007), culminando su actividad con la emisión de lavas andesíticas hace aproximadamente 31 ka a 25 ka (Santamaría et al., 2022).

El vulcanismo asociado a Chalupas se relaciona a un evento eruptivo de gran magnitud (VEI=7) con magmas de composición riolítico de hace 2.1 ka. Los depósitos asociados a esta erupción se distribuyen en todo el valle interandino central desde Riobamba a Tumbaco, cubriendo una superficie aproximada de 3150 km² con un espesor promedio de 25-35 m y un volumen estimado entre 80-110 km³ (Bablon et al., 2020).

Los depósitos piroclásticos generalmente poseen alta porosidad efectiva, si consideramos la litología, buen sorteo, esfericidad media a alta (Custodio & Llamas, 1976), características que favorecen a la porosidad y conductividad hidráulica. En este estudio, se correlaciona la litología de las principales formaciones geológicas con las características hidrogeológicas presentes en cada formación, en la cuenca alta del río cutuchi. Con base en estos análisis y la actualización del inventario de puntos de agua, se propuso las principales y potenciales unidades hidrogeológicas que presentarían características favorables para el almacenamiento y transmisividad del agua subterránea.

1.1 Objetivo general

Caracterizar geológica e hidrogeológicamente la cuenca alta del río de Cutuchi.

1.2 Objetivos específicos

- Describir la litología y estratigrafía de la zona de estudio;
- Elaborar el Mapa Geológico de la cuenca alta del río Cutuchi;
- Determinar la distribución granulométrica de cenizas y lapilli de los depósitos piroclásticos;
- Describir las principales Unidades hidrogeológicas y tipos de acuíferos en el área de estudio.

1.3 Alcance

El presente trabajo se desarrolló como parte del proyecto de investigación PIM-20-03: "Recursos hídricos subterráneos en la zona de Mulaló: Estudio hidrodinámico e hidrogeoquímico, identificación de zonas potencialmente críticas de contaminación y remoción de metales pesados utilizando materiales nanoestructurados y compuestos". Se caracterizaron las litologías y sus propiedades de porosidad y conductividad hidráulica de las principales formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

El levantamiento bibliográfico se basó en el análisis de proyectos de titulación (Dávila, 1990; Lozada, 2019; Taco, 2000), informes técnicos (Dirección General de Geología y Minas-DGGM, 1980; (Gobierno Autónomo Descentralizada Parroquial Rural Mulaló - GADP, 2020), y artículos científicos (Beate et. al, 2006; Lavenue et al., 1995; Tibaldi & Ferrari, 1992; Hidalgo et. al, 2007).

Se realizaron salidas de campo que contemplaron la búsqueda de afloramientos de roca y sedimentos dentro de la cuenca, distinción de las diferentes Formaciones geológicas, levantamiento de columnas estratigráficas, y muestreo de sedimentos y rocas para análisis en laboratorio (láminas delgadas y análisis cuantitativo de cenizas).

1.4 Área de estudio

El área de estudio se concentra en la cuenca alta del río Cutuchi, entre UTM: 777653/9934703 y UTM: 765413/9894380, dentro de la división política-administrativa de la parroquia de Mulaló (Figura 1). Esta cuenca forma parte del sistema hídrico del río Cutuchi que nace del producto del deshielo del glaciar del volcán Cotopaxi y confluye con

el río Patate constituyendo la cuenca alta de la demarcación hidrográfica del río Pastaza (Figura 1).

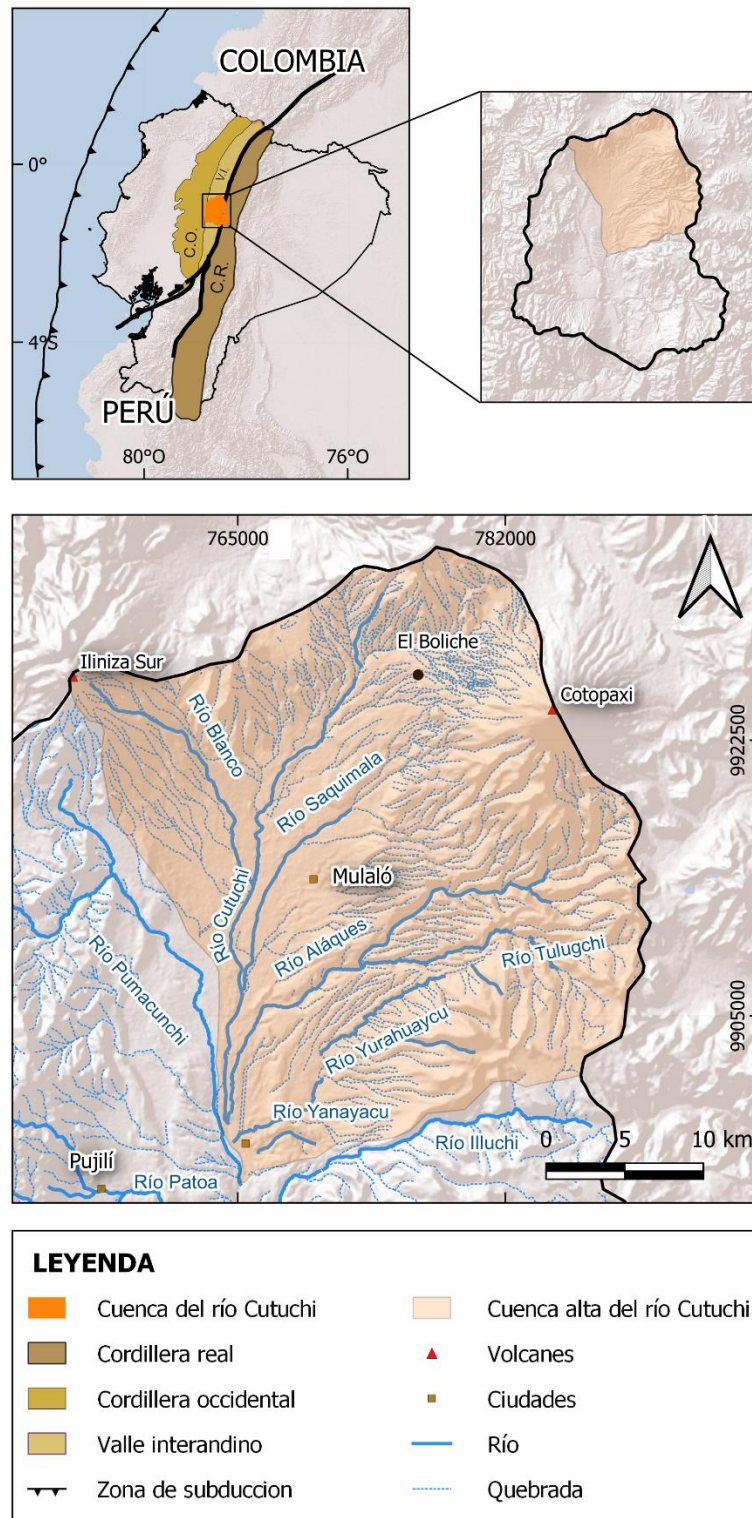


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el contexto hidrográfico.

La delimitación de la cuenca alta del río Cutuchi se la realizó considerando los principales divisores de agua, el drenaje principal y secundario, así como las cotas máximas mínimas, punto de cierre de la cuenca. El límite norte recae sobre el Área Nacional de Recreación El Boliche, el noreste en el volcán Cotopaxi, y al noroeste en el volcán Iliniza Sur. El límite oeste de la cuenca separa los ríos Cutuchi y Pumacunchi, mientras que el sur y este de la cuenca está limitado por el borde occidental de la Cordillera Real y el río Illuchi. De esta forma, el área de estudio presenta una extensión de 925 km². Su red hidrográfica está conformada por los ríos Blanco, Saquimala, Aláquez, Tulugchi, Yanayacu y Yurahuaycu afluentes del río Cutuchi (Figura 1).

Aspectos fisiográficos

Su fisiografía se caracteriza por un relieve montañoso con pendientes que oscilan entre 0° y 66° y con presencia de laderas, terrazas, valles y llanuras rellenas de productos y materiales procedentes de una intensa actividad volcánica y procesos erosivos que han actuado y actúan sobre los relieves preexistentes. Su clima es característico de los Andes Tropicales, variable de acuerdo con el cambio de altura. Bajo los 3000 m.s.n.m, el clima es seco sin exceso de agua, mesotérmico templado frío a semifrío con una temperatura de 8° a 14°C, y sobre los 3000 m.s.n.m, mesotérmico templado frío con una temperatura de 8° a 4°C, cercana a 0°C en las zonas próximas a los volcanes Cotopaxi e Iliniza Sur (INAMHI, 2017).

Dentro de la cuenca se encuentra la parroquia rural de Mulaló, por lo que se define como una cuenca rural. La parroquia cuenta con una población aproximada de 15 mil habitantes y una extensión de 509 km², siendo su actividad económica principal, la agropecuaria (INEC, 2010). Las zonas sur y oeste de la zona de estudio constituyen áreas enfocadas a la producción de cultivos de ciclo corto de maíz, papas, habas, fréjol, zanahoria, y chocho; las actividades agrícolas se localizan en las áreas más bajas con poca pendiente; además en estas zonas se localizan florícolas y en menor proporción invernaderos dedicados a la producción de hortalizas (Figura 2). La ganadería se concentra en la parte oriental en donde se pueden encontrar grandes extensiones de pastos (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Mulaló, 2020).

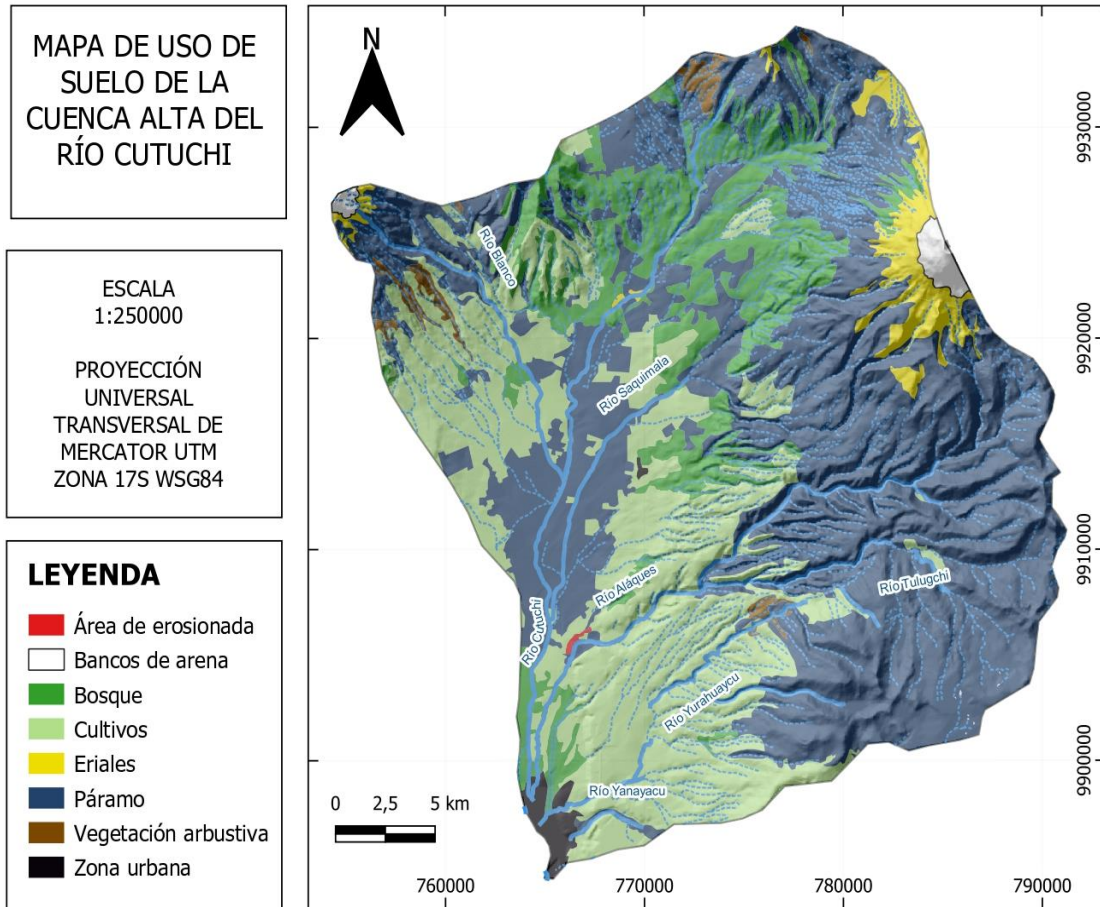


Figura 2. Uso de suelo de la cuenca alta del río Cutuchi.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Geología

1.5.1.1 Geodinámica actual

El Ecuador continental se encuentra bajo un régimen de subducción activo desde hace 190 millones de años (Ma) que caracteriza al país con una intensa actividad volcánica y sísmica (Alvarado et al., 2016). En el contexto actual, este régimen tectónico es producto de la subducción oblicua de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana desde hace 20 a 12 Ma con un promedio de 58 mm/año en dirección N83°E y una inclinación de 25° a 35° (Gutscher et al., 1999; Lonsdale, 1978; Trenkamp et al., 2002). Este sistema se estableció hace 25 Ma con la fragmentación de la placa Fallarón en las placas Nazca y Cocos a través de la zona de fractura Grijalva (Gutscher et al., 1999) y la presencia de la Cordillera Asísmica de Carnegie (CAC) sobre la placa Nazca (Figura 3).

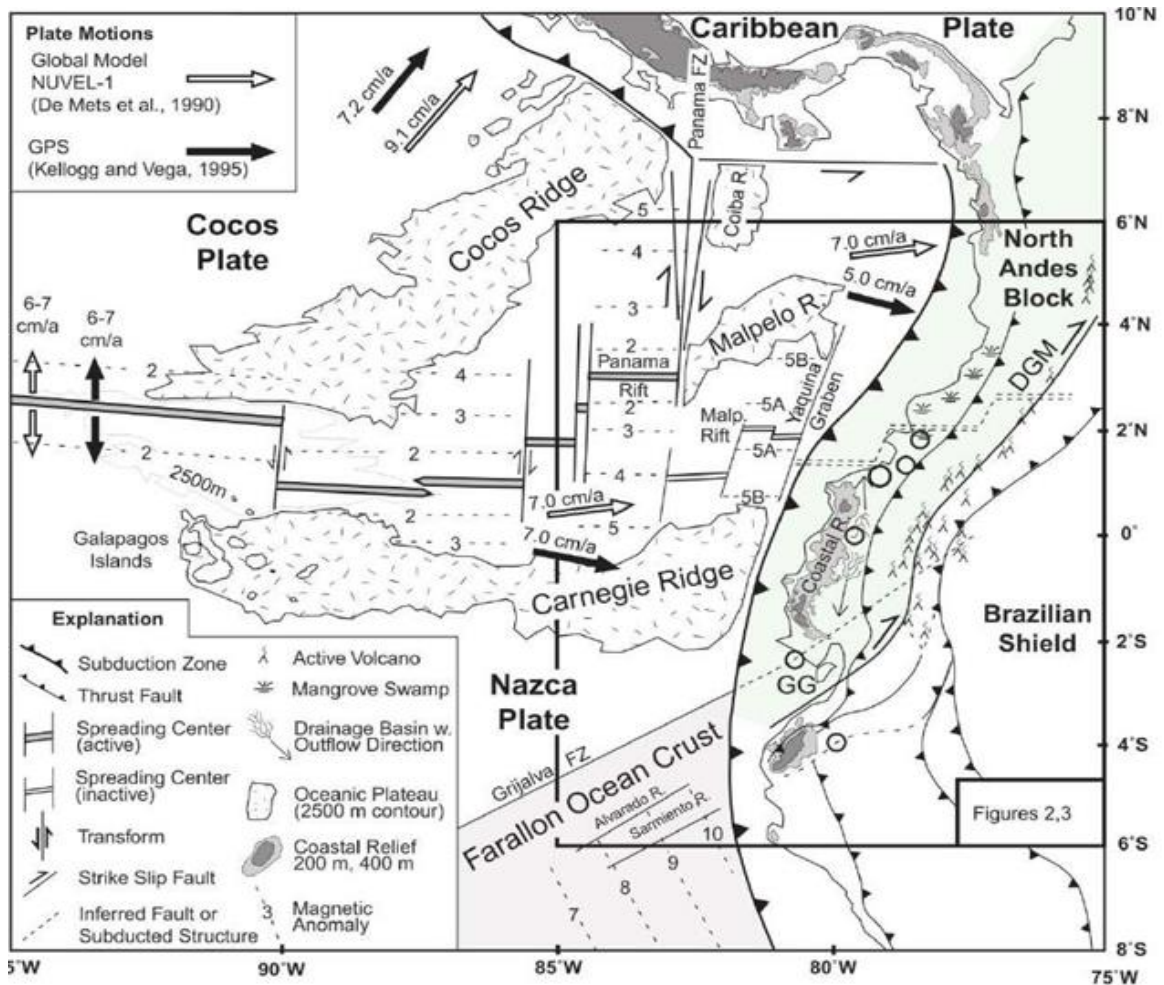


Figura 3. Configuración tectónica del Ecuador mostrando las fallas mayores, movimiento relativo de placas con datos de GPS, modelo cinemático, anomalías magnéticas y volcanes activos. GG = Golfo de Guayaquil; DGM= Mega falla Dolores Guayaquil.

Tomado de (Gutscher et al., 1999).

Debido a esta geodinámica, a 2°S se genera un cambio en la dirección de la zona de subducción de NS a NNE provocando el desplazamiento del bloque Norandino (NAB) a 1 cm/año a lo largo del sistema de fallas Chingual – Cosanga – Pallatanga - Puná (CCPP) (Alvarado et al., 2014) que se extiende desde Ecuador a Colombia, y probablemente hasta Venezuela (Witt & Bourgois, 2010).

1.5.1.2 Geología regional

Geológicamente, el Ecuador se distribuye en cinco divisiones litoestratigráficas: Costa, Cordillera Occidental, Cordillera Real, Valle Interandino y Cuenca Oriente (Witt et al., 2006). Estas divisiones son resultado de la compleja evolución geológica del país, y su interacción entre ciclos de depósito, acreción y generación de terrenos oceánicos y continentales tanto alóctonos como autóctonos.

La Costa está constituida por cuencas sedimentarias de edad Paleógena - Neógena construidas sobre la corteza oceánica de los bloques Piñón, San Lorenzo y Pallatanga, derivados de la Gran Provincia ígnea del Caribe (Reyes, 2013; Vallejo, 2007; Vallejo et al., 2009);

La Cordillera Occidental está compuesta por un basamento alóctono de composiciones básicas a intermedias tanto volcánicas como intrusivas y cubiertas por secuencias sedimentarias del Cretácico al Eoceno (Vallejo et al., 2009);

El Valle Interandino se encuentra ubicado entre las cordilleras Real y Occidental, limitada al oeste por la falla CCPP y al este por la falla Peltetec. Está conformado por secuencias de volcano-sedimentos del Mioceno al Holoceno Tardío procedentes de las cordilleras aledañas (Villagómez, 2003);

La Cordillera Real constituye rocas metamórficas y meta-volcano-sedimentarias de edades Jurásicas y Paleozoicas intruidas por granitoides del Mesozoico (Litherland et al., 1994; Spikings et al., 2015).

La Cuenca Oriente es una cuenca de trasarco conformada por un relleno marino Cretácico acumulado sobre el Cratón Guayanés (Jaillard et al., 1995).

Cordillera Real

La Cordillera Real en el Ecuador tiene alrededor de 650 km de longitud y 60 km de ancho, se localiza en la región Sierra y al este del valle Interandino. Está constituida por cinturones de rocas metamórficas orientadas con una dirección NNE que involucran 5 grupos tectono-estratigráficos de naturaleza autóctona y alóctona, con edades Paleozoicas hasta del Cretácico Inferior e instruidas por batolitos tipo I y tipo S (Litherland et al., 1994). Estos 5 grupos litotectónicos ordenados de este a oeste son: Zamora, Salado, Loja, Alao y Guamote, limitados entre ellos por fallas regionales que ordenadas de igual manera son: Falla Cosanga-Méndez, Falla Llanganates, Frente Baños y Falla Peltetec (Litherland et al., 1994).

El terreno Guamote está conformado por las unidades Punín, Cebadas y Ambuqui. Litológicamente, el terreno presenta rocas de muy bajo grado metamórfico con un clivaje pizarroso en las unidades pelíticas. Está constituido por cuarcitas rojas a grises, pizarras y filitas negras de origen continental metamorfozadas en el Jurásico-Cretácico Inferior (Litherland et al., 1994), representando una cuña de acreción.

El terreno Alao se caracteriza por las unidades Maguazo y Alao-Paute, divididas por la falla San Antonio. Litológicamente, la Unidad Maguazo está conformada por metaturbiditas de

grano fino de muy bajo grado metamórfico, mientras que la Unidad Alao-Paute está compuesta por meta-andesitas, tobas y aglomerados de facies de esquisto verde tipo Barroviano (Litherland et al., 1994).

En el terreno Loja se encuentran las unidades Chiguinda, Sabanilla, Monte Olivo y los granitoides tipo S de Tres Lagunas. Litológicamente, la Unidad Chiguinda se caracteriza por filitas y cuarcitas negras a grises; la Unidad Monte Olivo presenta anfibolitas, la Unidad Tres lagunas está conformada por granitos gnéisicos con fenocristales de cuarzo azul en granitos tipo S; y la Unidad Sabanilla por facies migmatíticas de estos granitos tipo S.

El terreno Salado está conformado por las formaciones Azafrán, Upano, Cerro Hermoso, Cuyuja y Pucarón. Litológicamente, la Formación Azafrán corresponde a granitoides calco alcalinos tipo I (Litherland et al., 1994); la Formación Upano está conformada por andesitas y volcansedimentos foliados (Litherland et al., 1994); la Formación Cerro Hermoso por metasedimentos y mármoles (Litherland et al., 1994); la Formación Cuyuja por esquistos pelíticos, grafitosos; y la Formación Pucarón está conformada por metasedimentos.

Finalmente, el terreno Zamora conformado por el Complejo Intrusivo Zamora se caracteriza por la presencia de granitoides tipo I y las Unidades Mishaulí, Piuntza, Isimanchi, Santiago. Litológicamente, la Formación Misahuallí está conformada por lavas calcoalcalinas; la Formación Piuntza corresponde a sedimentos metavolcánicos skarnificados; la Formación Isimanchi se compone por filitas y mármoles negros y verdes; y la Formación Santiago por calizas y lutitas negras.

Cordillera Occidental

La Cordillera Occidental consta de un basamento alóctono de origen oceánico, conformado por los terrenos Pallatanga y Machuchi, cubiertos por secuencias sedimentarias, volcánicas, volcanoclásticas del Oligoceno-Holoceno (Vallejo et al., 2009). El terreno Pallatanga de edad Cretácico Temprano-Tardío está expuesto al E de la cordillera Occidental, se compone de turbiditas y rocas ígneas de *plateau* oceánico. (Hughes & Pilatasig, 2002; Lapierre et al., 2000; Reynaud et al., 1999). El terreno Macuchi de edad Paleoceno Tardío-Eoceno (Hughes & Pilatasig, 2002) está expuesto al borde occidental de esta cordillera comprende *pillow* lavas, hialoclastitas, brechas y areniscas turbidíticas de grano grueso con afinidad a arco de isla (Egüez, 1986; Vallejo, 2007).

Valle Interandino

El Valle Interandino representa una depresión topográfica con dirección norte-sur ubicada entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Real. Esta depresión presenta un alto

control estructural debido a fallas reactivadas que representan los límites estructurales, formadas en un comienzo durante eventos de acreción en el margen continental ecuatoriano (Hall et al., 2008). El Valle interandino se encuentra limitado hacia el E y O por la falla Pelitetec y la CCPP, respectivamente. Existen fallas inversas y tipo *strike slip* en la depresión, asociadas con el levantamiento de la cordillera a lo largo del Mioceno y fallas normales como una posible respuesta a la relajación tectónica local (Winkler et al., 2005).

Desde 6-5 Ma (Mioceno Tardío), durante la formación del Valle Interandino se desarrollaron de forma sucesiva de norte hacia el sur las cuencas de Chota, Quito-Guayllabamba, Ambato-Latacunga y Riobamba-Alausí (Winkler et al., 2005).

La Geología de estas cuencas está determinada por un relleno sedimentario compuesto de sedimentos de abanico aluvial, fluviales, lacustres y depósitos volcánicos contemporáneos ocurridos a lo largo del arco volcánico en donde existen varios estratovolcanes Plio-Pleistocénicos hasta Holocénicos (Hall et al., 2008). Por lo que, el material volcánico depositado desde hace 5 Ma (Plioceno Inferior) es el que controla la geomorfología del Valle Interandino. Esta cobertura volcánica tiene entre 30 y 40 km de ancho y 360 km de longitud (Alvarado, 1996).

El basamento del Valle Interandino no se encuentra bien definido, ya que por la gran cobertura de sedimentos y volcanosedimentos no se tiene buenos afloramientos o contactos tectónicos que ayuden a interpretarlo, solo existen afloramientos aislados de rocas similares tanto a las de la Cordillera Occidental como a las de la Cordillera Real, que representarían el basamento. Por lo que el basamento podría ser tectónicamente complejo involucrando rocas de la Cordillera Occidental y Real ubicadas en una cuña de acreción dado por el desmembramiento de un pedazo de la Cordillera Real durante el Jurásico Tardío al Cretácico Temprano (Egüez & Aspden, 1993).

1.5.1.3 Geología local

La cuenca alta del río Cutuchi se encuentra dentro de la cuenca geológica Ambato-Latacunga. Esta cuenca presenta un basamento metamórfico indiferenciado Pre-Cretácico y un relleno volcánico (Figura 3). En el área de estudio afloran las Formaciones Pisayambo, Latacunga, Cangahua, Volcánicos Cotopaxi e Iliniza y depósitos de lahares relacionados a la actividad Holocénica del volcán Cotopaxi (Figura 4).

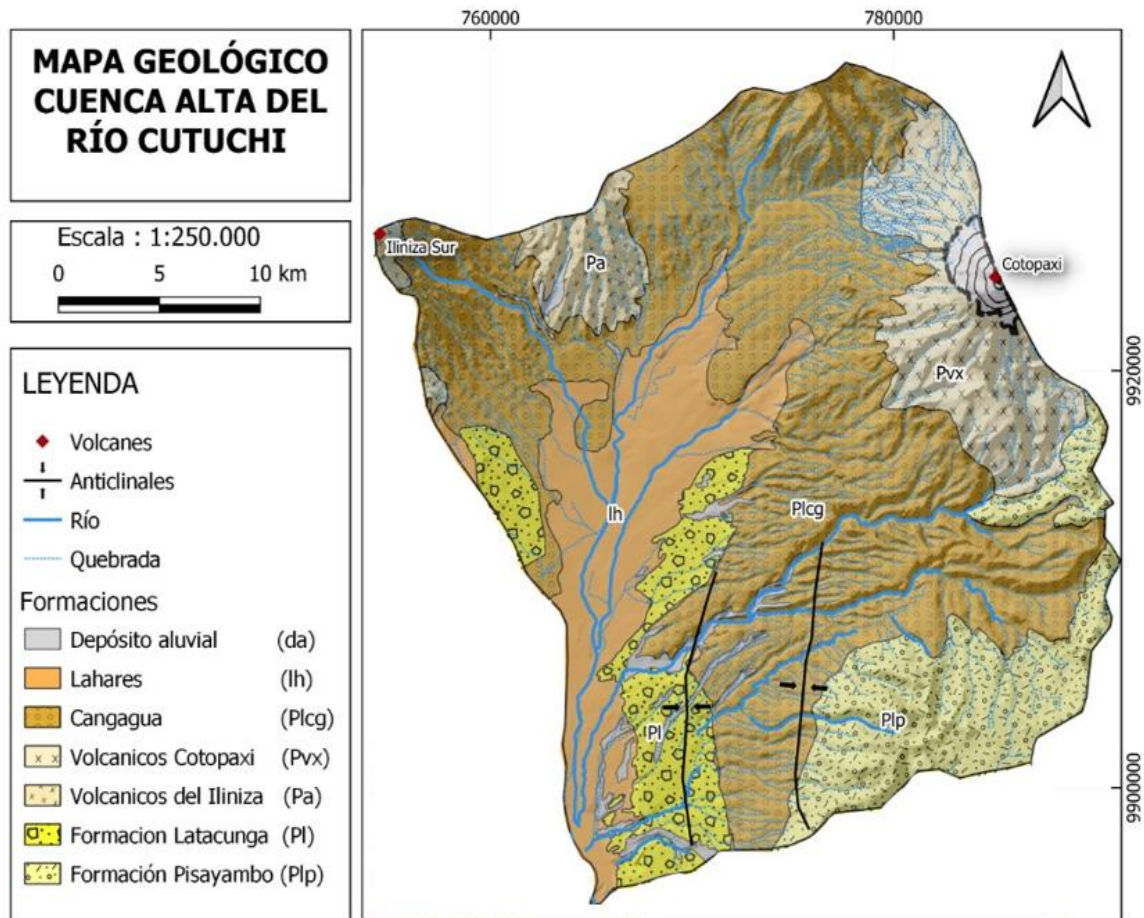


Figura 4. Geología de la cuenca alta del río Cutuchi. Modificado de las Hojas Geológicas Número 66, 67, 68, 85, 86, 87 realizado por la Dirección General de Geología y Minas-DGGM (1983), y Hughes & Pilatasig (2002).

Formación Pisayambo

La Formación Pisayambo fue descrita por Kennerley (1971), se encuentra en la parte este de la cuenca Ambato-Latacunga, representa el basamento volcánico de la zona de estudio y está restringida a las zonas altas de la Cordillera Real (Dávila Alarcón, 1990). Su material volcánico se asocia a un posible origen en fisuras presentes a lo largo de la Cordillera Real (Kennerley, 1971). Presenta una extensión de la cuenca alta de río Cutuchi 111 km².

La Formación sobreyace rocas del Cretácico de la Unidad Macuchi o Yungilla y se encuentra superpuesta por la Formación Latacunga con un contacto discordante erosivo (Lozada, 2019). Según Dávila (1990), la edad de la Formación es del Mioceno, esto coincide con dataciones K-Ar realizadas andesitas por Lavenu et al. (1992). Fue descrita por Hall & Beate (2000) como lavas de composición andesítica a basalto andesítica.

Formación Latacunga

La Formación Latacunga se encuentra presente en toda la cuenca Ambato-Latacunga, sus mejores afloramientos según Lavenu et al. (1992) se encuentran en el flanco izquierdo del río Cutuchi y en los sectores de Salcedo y Píllaro, y la describe como una secuencia de depósitos fluvio-lacustres. La Formación presenta una extensión de 15 km² dentro de la cuenca alta del río Cutuchi y se encuentra sobre la Formación Pisayambo mediante una discordancia angular erosiva (Dávila, 1990).

Según Dávila (1990), la Formación Latacunga se divide en las Unidades: Latacunga, Pilaló de San Andrés-Nagsiche, Yanayacu y Chalupas. La Unidad Latacunga corresponde en la base a una facie volcánica y en la parte superior a una sedimentaria, separadas por una zona transicional; la Unidad Pilaló de San Andrés-Nagsiche son sedimentos lacustres, con cambios de proximal a distal y de nuevo a proximal; la Unidad Yanayacu es un conglomerado de un ambiente fluvial proximal, y la Unidad Chalupas representa un flujo piroclástico de la caldera de Chalupas (Alarcón, 1990).

Para Dávila (1990) y la Dirección General de Geología y Minas-DGGM (1980) el techo de la Formación Latacunga está representado por el flujo piroclástico de la caldera de Chalupas, sin embargo, Lavenu et al. (1992) clasifica a la Formación en dos unidades: la unidad U1 que representa los volcano-sedimentos y la unidad U2 representada por los depósitos fluvio-lacustres, cambiando a la Unidad Chalupas de Dávila (1990) por la Formación Ignimbrita de Chalupas. Para este estudio se utilizará la clasificación de Lavenu et al. (1992).

Según la clasificación de Dávila (1990), las unidades Pilaló de San Andrés-Nagsiche, Yanayacu y Chalupas son buenas para el transporte de agua subterránea debido a una alta porosidad. Mientras que, la Unidad Latacunga tiene un alto grado de compactación por lo que no es un buen medio de almacenamiento, ni transporte de agua subterránea.

Formación Chalupas

Según Beate (1985), la Formación Chalupas es definida como un flujo piroclástico subdividido en 3 litofacies: a la base lapilli de pómez; en la parte media un flujo piroclástico de tipo flujo de ceniza poco compactado y no soldado, masivo con fragmentos líticos subangulares a angulares y bloques de pómez dentro de una matriz de ceniza fina ; al tope una intercalación monótona de capas centimétricas a decimétricas de ceniza fina y lapilli da pómez con líticos.

Lavenu et al. (1995) definen a la Formación como una toba piroclástica no consolidada. La Formación Chalupas se encuentra sobreyaciendo a la Formación Latacunga y está por debajo de la Formación Cangahua y de los depósitos cuaternarios.

Formación Cangahua

La Formación Cangahua es considerada un producto volcánico retrabajado ubicado sobre las Unidades del Valle Interandino y la Cordillera Real. Está compuesta por cenizas volcánicas retrabajadas, sedimentos fluvio-lacustres, y suelos incipientes (Hall & Beate, 2000). Dentro de la cuenca alta del río Cutuchi presenta una extensión de 271 km².

Según Dávila (1990), dentro de la cuenca Ambato-Latacunga esta formación está compuesta por areniscas tobáceas y depósitos piroclásticos generados durante el volcanismo del Pleistoceno al Holoceno-presente. De acuerdo con Clapperton (1993), se le otorga una edad a la Formación Cangahua del Pleistoceno medio a superior.

Depósitos cuaternarios

Volcánicos Iliniza

El complejo volcánico Iliniza localizado en la Cordillera Occidental al NO del cantón Latacunga, lo conforman el Iliniza Norte e Iliniza sur, de los cuales el Iliniza Norte es el más antiguo de estos dos. El Iliniza Norte se formó por dos flujos sucesivos lava, teniendo un periodo corto de actividad efusiva entre 123 ± 6 y 116 ± 2 ka (Santamaría et al., 2022), lo que dio origen a rocas andesíticas, flujos de lava dacítica y brechas (Hidalgo et al., 2007).

El Iliniza Sur tuvo comenzó su actividad hace 45 ka aproximadamente (Santamaría et al., 2022), las partes más altas de este edificio volcánico se fueron destruidos por un evento explosivo con un VEI de 5, esto formó flujos de lava andesítica y dacítica y gruesos depósitos de flujo piroclástico ubicados en los flancos exteriores nombrados como Ignimbrita Jatuncama por Hidalgo et al. (2007).

Volcánicos Cotopaxi

Los depósitos del volcán Cotopaxi están representando un magmatismo periódico ocurrido durante los últimos 0,5 Ma (Hall & Mothes, 2008). Representan varias coladas de lava con emisión de flujos piroclásticos productos de la actividad efusiva del Volcán Cotopaxi. En la zona suroriental se tiene algunos flujos de lava jóvenes que se encuentra circundado al volcán, al igual que flujos piroclásticos ácidos de pómez que están rellenando la parte norte de la caldera de Chalupas (Dirección General de Geología y Minas-DGGM, 1981).

Lahares

Están representado por depósitos de lahares recientes provenientes del Volcán Cotopaxi y que han bajado por los paleocanales del río Cutuchi, rellenando el centro de la cuenca (Mothes, 1991).

1.5.2 Sistemas Acuíferos

Se denomina acuífero al estrato o formación geológica permeable y saturada que permite el almacenamiento, transmisividad y circulación del agua subterránea por sus poros o fracturas (Freeze & Cherry, 1979) (Figura 5).

Tipos de acuíferos

Los acuíferos pueden ser clasificados según su porosidad y la presión hidrostática.

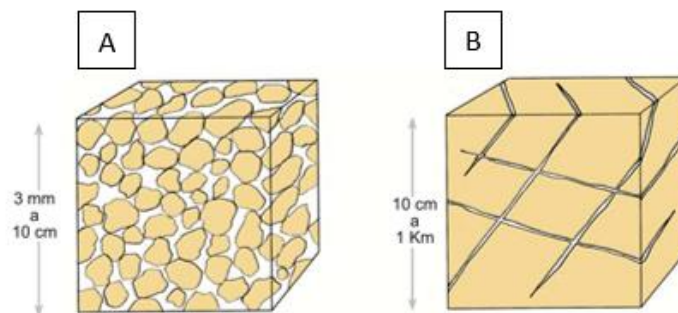


Figura 5. A) Porosidad primaria. B) Porosidad secundaria. Tomado de Sánchez, F. J. (2022).

Según su porosidad, se encuentran los acuíferos con porosidad primaria y secundaria (Figura 6). Los acuíferos con porosidad primaria están relacionados a materiales sueltos no consolidados (gravas y arenas, generalmente), el agua circula por los poros o espacios que dejan entre sí las partículas sólidas. Los acuíferos con porosidad secundaria están sujetos a rocas consolidadas, en donde el agua circula por las fisuras y grietas formadas en las mismas (Fuentes, 1993).

Según la presión hidrostática hay los acuíferos libres, confinados y semiconfinados (Figura 6). En los acuíferos libres el nivel de agua (nivel freático) está a presión atmosférica, debido a que no tienen encima ningún terreno que actúe como capa confinante, para los acuíferos confinados el techo del acuífero está limitado por una capa de terreno impermeable, con lo cual el agua está sometida a mayor presión que la atmosférica (nivel piezométrico). En los acuíferos semiconfinados el techo del acuífero está limitado por un terreno semipermeable, con lo que se dan unas características. Un caso particular son los acuíferos colgados que

se forman por lentes aislados de materiales impermeables, que almacenan de manera local las aguas de infiltración formando un nivel de agua encima del nivel freático de la zona.

1.5.2.1 Porosidad

La porosidad es el porcentaje de vacíos de un material y está representada por la relación entre el volumen total de la roca y el volumen de vacíos de la misma. La porosidad efectiva es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen total de la roca (Woessner & Poeter, 2020).

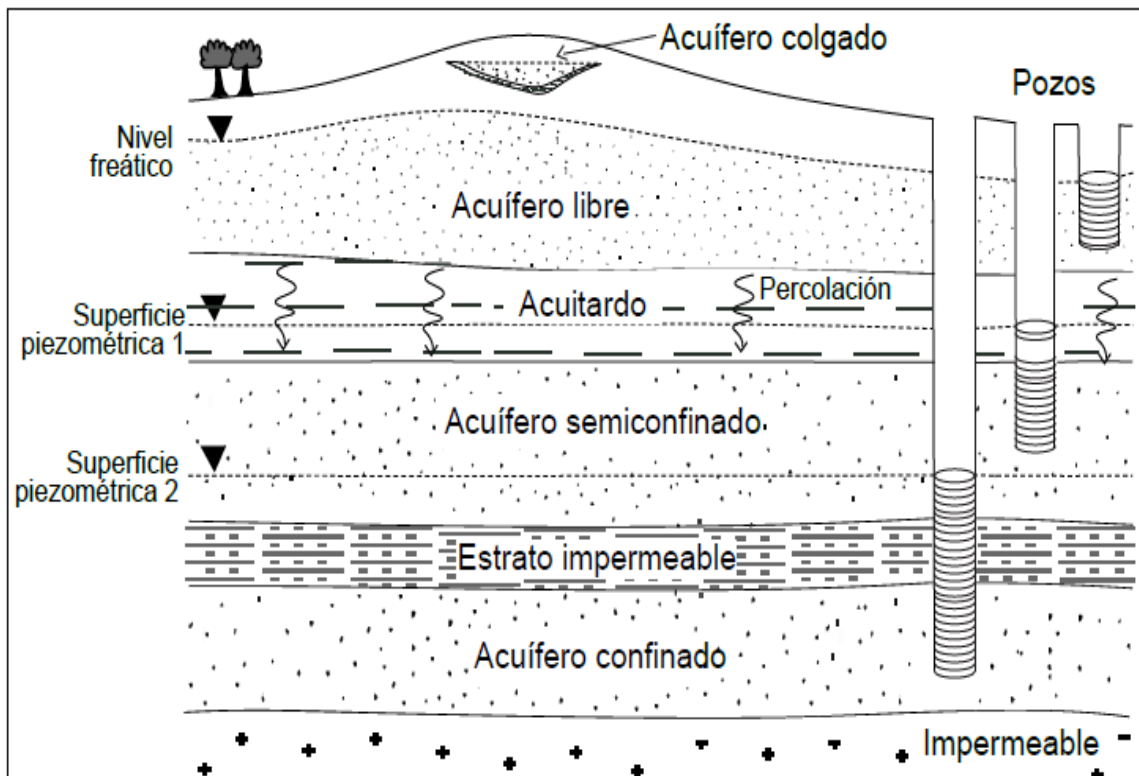


Figura 6. Tipos de acuíferos según la presión hidrostática: libre, semiconfinado y confinado. Tomado de Nuñez (2020).

1.5.2.2 Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica representa la facilidad que tiene una roca o sedimentos para que el agua fluya por una sección de un acuífero (Villarroya, s. f.).

1.5.2.3 Transmisividad

La transmisividad es el caudal de agua que se escurre a través de una franja lateral o vertical de largo unitario y espesor saturado, con gradiente hidráulico unitario.

1.5.2.4 Almacenamiento

El almacenamiento es la capacidad de un acuífero para almacenar o liberar agua y es un valor adimensional (Woessner & Poeter, 2020).

1.5.2.5 Acuíferos en sistemas volcánicos

Los acuíferos alojados en rocas volcánicas constituyen un caso muy específico, por lo cual es difícil establecer si constituyen o no buenos acuíferos, puesto que depende de las características físicas y químicas de las propias rocas, y de la erupción volcánica que las originó. La naturaleza y estructura de estas rocas en una zona puede variar por lo que se puede disponer de rocas muy compactas con baja porosidad hasta rocas con una porosidad mayor a 50% (Custodio & Llamas, 1976). Los materiales volcánicos engloban rocas de diferente naturaleza alrededor del edificio volcánico; las lavas, piroclastos, tobas y otros elementos forman los depósitos volcánicos condicionados por factores diversos como la edad, la distancia al centro de emisión, la tectónica posterior, la erosión, entre otros. Por lo que, las características estructurales y texturales iniciales de los materiales volcánicos pueden ser alteradas por procesos posteriores a su emplazamiento, produciendo alteraciones, colmataciones y compactaciones que disminuyen su porosidad y permeabilidad y, paralelamente, también existen procesos de lixiviado, descompresión y fracturación que aumentarían estas características (Cabrera & Custodio, 2004). Debido a esto sus propiedades hidrogeológicas sean muy variables, presentado una alta heterogeneidad y anisotropía (Custodio & Llamas, 1976).

2 METOGOLOGÍA

2.1 Muestreo de rocas y sedimentos en el área de estudio

La recolección de muestras de rocas y sedimentos se realizó durante la salida de campo del 15 al 17 de julio de 2022, en donde se visitaron distintos afloramientos dentro del área de estudio (sector de Mulaló). El trabajo de campo se realizó con base en el mapa geológico a escala 1:500.000 recopilado de las hojas geológicas de Machachi, Latacunga, Ambato, Pintag, Chalupas y San José de Poaló realizadas por la Dirección General de Geología y Minas de la Figura (4).

En los afloramientos observados se procedió a sacar con la ayuda del martillo geológico una muestra representativa de roca de un tamaño aproximado como del puño de la mano, se etiquetó la muestra con un código mediante cinta y se colocó en una bolsa hermética que también fue membretada con el nombre del proyecto, código de la muestra, coordenadas, altura y fecha. También se realizó la toma de muestras de sedimentos en Formaciones que no se encontraban consolidadas. En este caso con el martillo se desmoronó parte del afloramiento y se depositó el sedimento directamente en la bolsa hermética. Para la toma de muestras fue importante el evitar las zonas alteradas y oxidadas, por lo que fue necesario picar la roca hasta encontrar una roca o sedimentos que no presenten alteraciones tan marcadas y que sean representativas del afloramiento. Se obtuvieron un total de 12 muestras de rocas y 10 muestras de sedimentos (Figura 7).

Las muestras de roca debido a su grado de consolidación y tipo de roca (ígneas efusivas) fueron empleadas para la elaboración de láminas delgadas a ser utilizadas en las descripciones petrográficas. Por otra parte, las muestras de sedimentos tienen como finalidad el posterior análisis granulométrico que servirá para detallar las características hidrogeológicas (conductividad hidráulica, porosidad) de las Formaciones que posiblemente constituyen acuíferos.



Figura 7. Muestras tomadas de roca y sedimento.

2.2 Trabajo de laboratorio

La elaboración de las láminas delgadas se llevó a cabo en el laboratorio de láminas delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (Figura 8). A pesar de tener un total de 12 muestras de roca, se realizaron un total de 7 láminas delgadas, debido a que, hay muestras que se tomaron del mismo punto y se seleccionó las más representativas.

El proceso para la elaboración de las láminas delgadas fue cortar la muestra de roca en un chip de medidas 3.5 cm x 2cm, esto se realizó con una sierra circular ingletadora. Una vez hecho el chip se escogió una cara de interés la cual fue pulida mediante una máquina pulidora manual (devastadora) marca Covington, en la cual se utilizó discos abrasivos de 100, 220 y 600 gris con el fin de dejar la cara pareja. Se empleó lijas de carburo de silíceo de 400/P800, 800/P1500 y 1000/P2500 con el objetivo de dejar lo más lisa posible y sin imperfecciones la cara del chip, dicha cara se pegó en un portaobjetos utilizando resina epoxi y endurecedor marca ZAP Z-poxy, y se dejó secar durante 24 horas.

Posteriormente, con la ayuda de una cortadora marca INGRAM-WARD 137U se cortó al chip de un ancho de 1 mm, para ponerlo en una pulidora que funciona con un motor de vacío marca INGRAM-WARD 400U para pulir el chip hasta obtener un grosor de 30 μ .

Para realizar un mejor pulido se procedió a pulir de forma manual con polvo de carburo de silíceo y agua en un vidrio. Las láminas delgadas fueron descritas con el uso de un Microscopio Petrográfico marca Olympus, usando los aumentos 2.5X, 10X y 40X. Se tomaron fotografías de algunas muestras para adjuntar en las fichas petrográficas (Anexo IV) mediante la cámara marca Olympus incluida en el microscopio.



Figura 8. A. Muestras de roca para realizar láminas delgadas. B. Corte de las rocas en forma de chip. C. Puliendo una cara del chip. D. Pegando la cara del chip pulida al portaobjetos. E. Cortando y puliendo el chip hasta un espesor aproximado de 3 micras. F y G. Láminas delgadas terminadas.

2.3 Sedimentología: granulometría de cenizas

Granulometría

El proceso se basó en la separación y tamizado de cenizas de los depósitos volcánicos muestreados (Figura 9). Se partió por secar las muestras colocándolas en un recipiente y sometiéndolas a temperaturas de 80°C por 1 a 2 días hasta que no exista variación de peso. Se disgregó la muestra con el objetivo de obtener una muestra representativa y homogénea a la que se aplicó el siguiente proceso:

- Se colocó toda la muestra tratando de formar un cono sobre una superficie limpia.
- Se aplanó el cono hasta formar un círculo.
- Se dividió el círculo en cuatro partes de manera homogénea.
- Se seleccionó al azar uno de los cuatro cuartos y de igual manera se toma la porción diagonal a este.
- Se tomó los dos cuartos restantes y se seleccionaron como muestra.

Después del cuarteo, se tamizó la muestra con el siguiente proceso:

- Se seleccionó los tamices y se verificó que estos estén limpios, secos y posean el caucho en la parte inferior ya que esto evita pérdidas de muestra durante el proceso. Se escogieron un total de 9 tamices con mallas de 15.2 mm (lapilli mediano) a 0.063 (ceniza muy fina) de apertura.
- Se pesó y ordenó los tamices.
- Se vertió la muestra desde la parte superior y se colocó en la tamizadora.
- Se dejó tamizar por 15 minutos y se retiró los tamices de la máquina, considerando evitar pérdidas de muestra y pesar uno por uno.
- Se colocó la muestra de cada tamiz en una funda de plástico o en una bandeja de aluminio.
- Se lavó cada tamiz y se dejó secar para continuar con la siguiente muestra.



Figura 9. A) Tamices ordenados. B) Secado de muestras. C), D) Y E) Proceso de cuarteo. F) Programación de la tamizadora.

Análisis bajo binoculares

El análisis bajo binocular se realizó con el objetivo de caracterizar las cenizas de los depósitos piroclásticos del Cotopaxi, Ilinizas e Ignimbrita de Chalupas. Las principales características que se determinaron fueron el tamaño, forma, vesicularidad, color, angularidad y mineralogía.

Para la selección de muestras se tomó la fracción entre los tamices de 1mm y 0.5 mm, con mucho cuidado se colocó la muestra en una superficie limpia para posteriormente identificar los componentes presentes en la ceniza (Figura 10). Las fichas de descripción petrográfica de ceniza se realizaron siguiendo el formato tomado de Vallejo (2011), en las que se describe el brillo, color, vesicularidad y porcentaje de minerales, vidrio y líticos.



Figura 10. Análisis de cenizas en binoculares.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Geología regional y cartografía

3.1.1 Depósitos del Cotopaxi

Al NE de la cuenca alta del río de Cutuchi se encuentra el volcán Cotopaxi, su actividad cuaternaria ha dado como producto depósitos piroclásticos y lahares. Estos depósitos piroclásticos se localizan en los alrededores del volcán desde los 3200 msnm y se caracterizan por la presencia de bombas, escoria, pómez, líticos volcánicos y ceniza. Los lahares se distribuyen a lo largo de las quebradas de los ríos principales y secundarios conectados al volcán, y llegan a alcanzar hasta 100 m de espesor. Por lo que se dividió estos depósitos en 3 secuencias: Cotopaxi 1, Cotopaxi 2 y lahares.

Cotopaxi 1

Los depósitos volcánicos del Cotopaxi 1 afloran en la cara sur del volcán Cotopaxi desde los 4000 msnm en adelante, estos depósitos están compuestos por bombas, lapilli y ceniza. Los fragmentos piroclásticos de lapilli y bombas están compuestos por pómez, escoria y andesitas con formas subangulares y subredondeadas (Figura 11).

La pómez tiene un color café claro con un tamaño de grano entre 1 a 3 cm, presenta vesículas entre 1 a 4 mm y contiene vidrio y biotita. La escoria tiene un color café oscuro a negro con tamaños de 3 a 32 cm, presenta vesículas de 3 a 5 mm. Los fragmentos de andesitas son de colores grises con tamaños de 10 a 3 cm, presenta vesículas de 1 a 4 mm, con una textura afanítica a porfírica y contiene plagioclasa, hornblenda y piroxeno como minerales principales, y biotita como mineral secundario (Figura 12).



Figura 11. Cotopaxi 1. UTM (9918876/ 780707).

En la cara sur del Cotopaxi los depósitos Cotopaxi 1 reposan sobre los depósitos Cotopaxi 2 y al NO de la Quebrada Morurco subyacen los lahares del Cotopaxi.



Figura 12. Depósitos piroclásticos Cotopaxi 1. A) Lapilli. B) Ceniza. D) Bomba. *UTM (9918876/ 780707).*

Cotopaxi 2

Los depósitos volcánicos del Cotopaxi 2 afloran la localidad de Ticatilín en las zonas inferiores de la cara sur del volcán Cotopaxi desde los 3200 msnm hasta los 4000 msnm. Estos depósitos piroclásticos tienen un tamaño de grano más fino respecto a los depósitos de Cotopaxi 1, encontrando así tamaños de grano de lapilli y ceniza. Los fragmentos piroclásticos de lapilli están compuestos por pómez, escoria y andesitas, y presentan formas subredondeados (Figura 13).

La pómez tiene un tamaño entre 2 a 3 cm, presenta vesículas de 1 a 3 mm, y contiene vidrio y biotita. La escoria tiene colores café oscuro a negro con tamaños de 3 a 4 cm y presentan vesículas de 2 a 4 mm. Los fragmentos de andesita son de color negro, de hasta 7 cm a milimétricos con textura porfirítica, constituidas por plagioclasa como mineral principal y microcristales de vidrio (Figura 14).

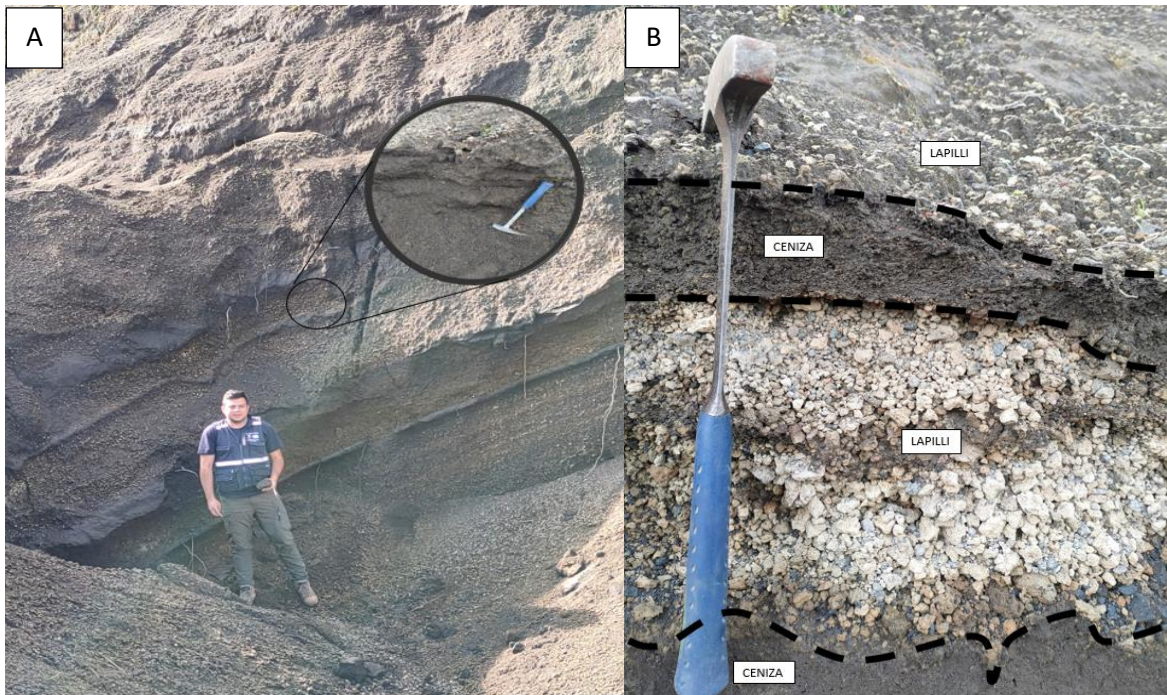


Figura 13. A) Cotopaxi 2 al sureste de la Quebrada de San Diego. B) Intercalaciones de ceniza y lapilli. UTM (9917685 / 774083).

En la localidad de Ticatilín, los depósitos Cotopaxi 2 reposan sobre la Ignimbrita de Chalupas. En el área del Refugio Cara Sur del Cotopaxi subyacen a los depósitos de Cotopaxi 1 y al N de la Quebrada San Diego subyacen a los lahares más recientes del Cotopaxi.

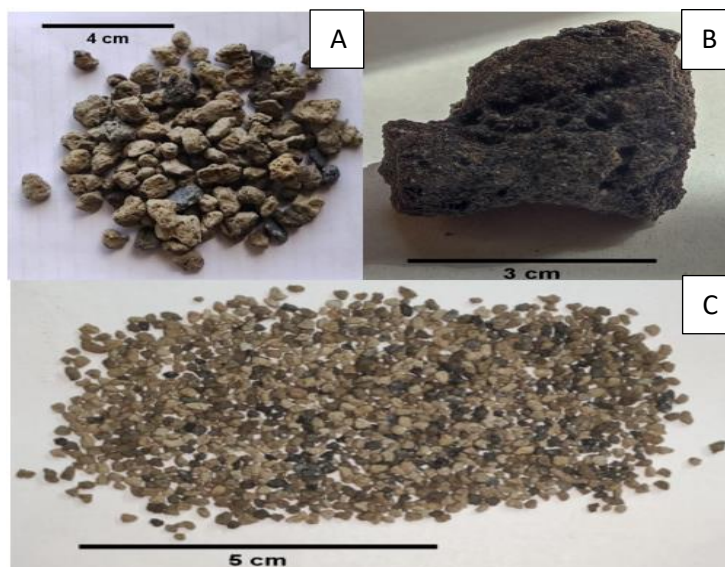


Figura 14. A) Depósitos piroclásticos Cotopaxi 2. A) Lapilli. B) Escoria. C) Ceniza. UTM (9917685 / 774083).

Lahares del Cotopaxi

Los lahares del Cotopaxi afloran a lo largo de los ríos Cutuchi, Saquimala y Alaquez y las quebradas San Lorenzo, Carnicería, Purgatorio, San Diego, Saquimala, Pucahuayco y Muruco ubicadas al este del río Cutuchi. Estos depósitos cubren grandes extensiones de la cuenca, y alcanzan espesores de hasta 50 m.

Los lahares se caracterizan por ser clasto soportados con un mal sorteo en una matriz de ceniza y presentan intercalaciones de ceniza de color gris a marrón. Los clastos son de pómez, escoria, andesitas de tonalidades de rojo a negro y dacitas de color gris, suelen ser de tamaños entre 5 a 40 cm con formas subredondeadas y angulares con baja esfericidad (Figura 15). Las andesitas presentan texturas porfíricas, afaníticas y leucocráticas, y las dacitas son porfíricas (Figura 17).



Figura 15. Lahar del Cotopaxi al sur de la Quebrada San Diego. UTM (9917550 /773887).

Se observó intercalaciones de ceniza de colores grises en estos lahares tanto al sureste de la quebrada San Diego (Figura 15) y en la parte este del río Saquimala (Figura 16). Los lahares reposan sobre los depósitos Cotopaxi 1, Cotopaxi 2 e Ignimbrita de Chalupas.

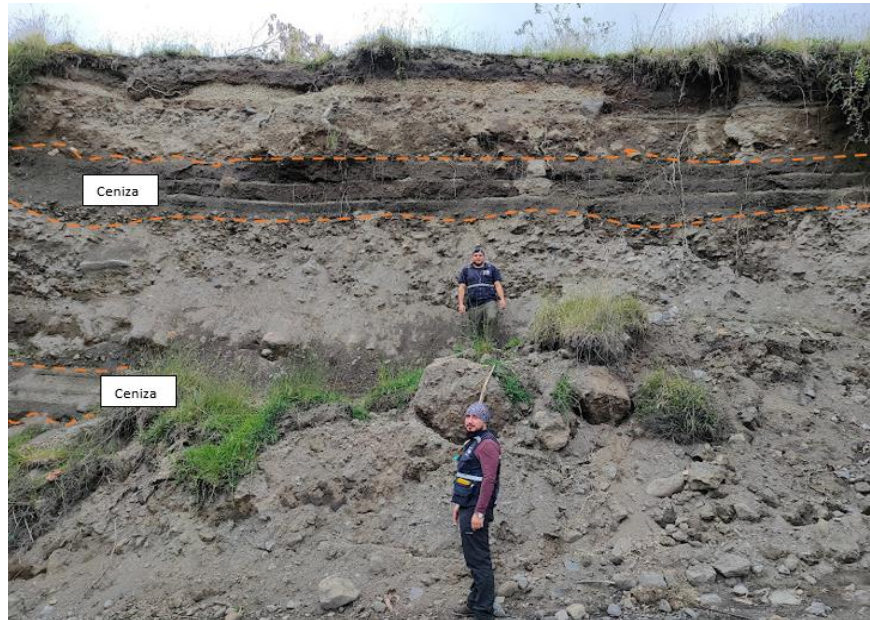


Figura 16. Lahar del Cotopaxi, alcanza aproximadamente 6 m de altura. UTM (9917550 /771365).

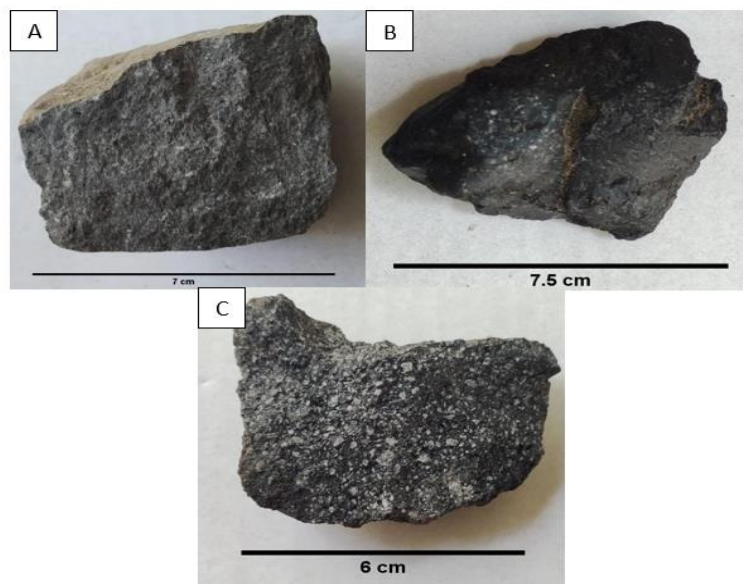


Figura 17. Líticos de andesitas encontrados en los lahares. A) Andesita porfiríticas. B) Andesita afanítica. C) Andesita leucocráticas.

3.1.2 Formación Cangahua

La Formación Cangahua aflora al NE de la ciudad de Latacunga en las localidades de Yucsiloma y San Carlos, junto al río Yanayacu y Quebrada Laipo. Los depósitos presentan un color café amarillento, y pendientes muy altas llegando casi a los 90°. Contiene cuarzo, plagioclasa, anfíbol y piroxeno como minerales principales, micas como mineral accesorio y clastos volcánicos de tamaños centimétricos (Figura 18).

Este depósito reposa sobre el Miembro Inferior de Latacunga y la Ignimbrita de Chalupas. Al sur de la quebrada Laipo el contacto entre la Formación Cangahua y el Miembro Inferior de la Unidad Latacunga se presenta como una discordancia angular.



Figura 18. Cangahua al sur de la Quebrada de Laipo. *UTM (9902361 / 772037).*

3.1.3 Formación Latacunga

La Formación Latacunga aflora al NE de la ciudad de Latacunga, llega a los 600 m de espesor y se caracteriza por la presencia de lahares, brechas, lavas de composición andesíticas y depósitos fluviales, por lo que se dividió a esta Formación en dos secuencias: Latacunga Superior e Inferior.

Latacunga Inferior

La Formación está representada por una serie volcano-sedimentaria que agrupa lahares, brechas y lavas andesíticas relacionadas al vulcanismo del volcán Sagoatoa. Los lahares afloran en la localidad de Laipo Grande, estos depósitos son clasto soportados con un mal sorteo, con clastos centimétricos a métricos de andesitas subangulosas y angulosas con baja esfericidad (Figura 19). A diferencia de los lahares del Cotopaxi, estos lahares son más antiguos y presentan mayor compactación.



Figura 19. Lahares de la formación Latacunga al sur de la Quebrada Botoncillo. UTM (9902716/775886).

Al realizar la lámina delgada de la muestra CA-26, se encontró que las andesitas tienen un 65% de plagioclasa (pl), 10% de ortopiroxeno (opx), 20% de vidrio y 5% de óxidos (posiblemente magnetita debido a que en muestra de mano se pudo observar que la roca esta magnetizada) en una matriz de vidrio y microcristales de plagioclasa (Figura 20).

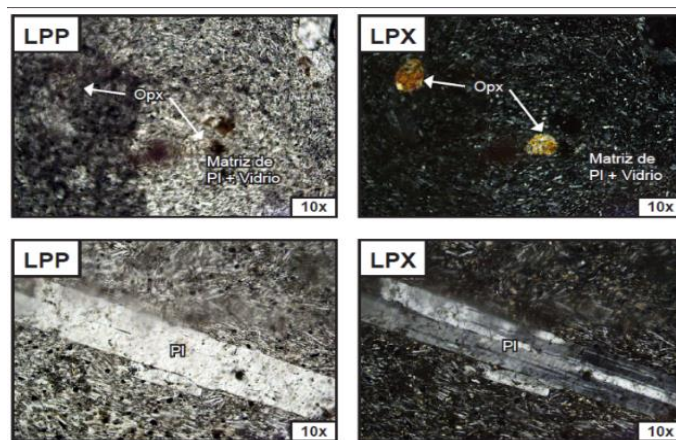


Figura 20. Lámina delgada de la muestra CA-26.

Las brechas de esta formación son matriz soportadas con un sorteo moderado con clastos de andesita porfírica de tonalidades grises con formas subangulosas y subredondeadas con una alta esfericidad (Figura 21).



Figura 21. Brechas de la formación Latacunga entre las Quebradas Botoncillo y Yuragashpa. UTM (9902360/ 776654).

El análisis microscópico de la muestra CA-37 B determinó que las andesitas tienen un 5% de plagioclasa (pl), 3% de piroxeno (px), 5% de anfíbol (amp) y 2% de minerales opacos, en una matriz de vidrio y microcristales de plagioclasa (Figura 22).

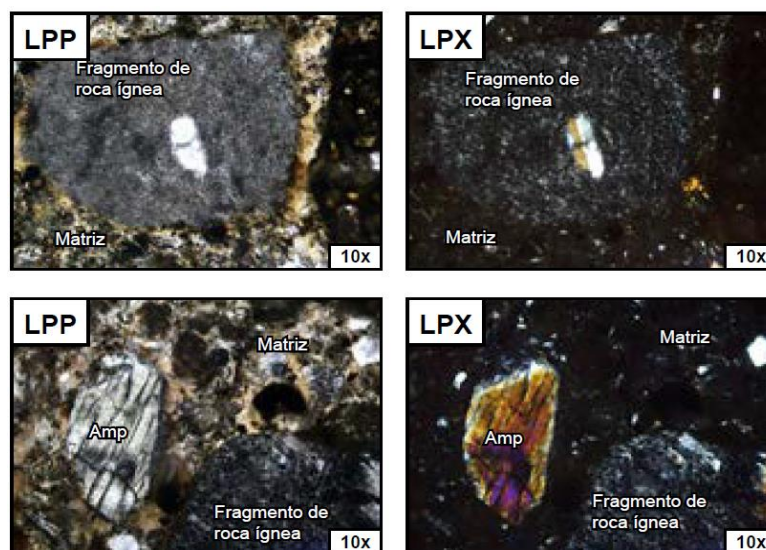


Figura 22. Lámina delgada de la muestra CA-37B.

Las lavas andesíticas de esta formación afloran en la localidad Panguihua Chico, estas rocas son de tonalidades grises, presentan estrías, vesículas centimétricas a milimétricas y tienen una textura afanítica (Figura 23).



Figura 23. Lavas andesíticas de la formación Latacunga entre las Quebradas Llullucho y Panguigua. *UTM (9898452/ 773723).*

En la muestra CA-37 A se encontró que las andesitas tienen un 40% de plagioclasa (plg), 15% de piroxeno (px), 25% de anfíbol (amp), 10% de minerales opacos y 10% de óxidos (magnetita), en una matriz de vidrio (Figura 24).

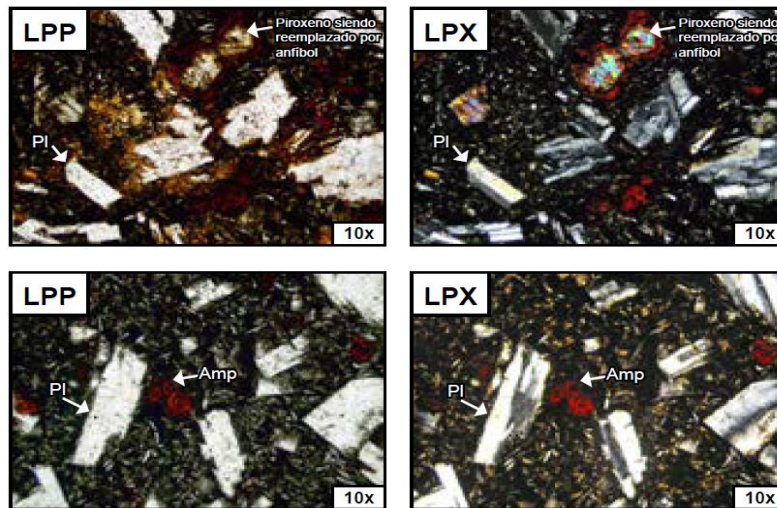


Figura 24. Lámina delgada de la muestra CA-37 A.

Latacunga Superior

Esta Formación presenta depósitos fluviales que afloran en la localidad de Chitán al sur de la Quebrada Laipo. Los conglomerados son clasto soportados con un sorteo moderado, presentan clastos centimétricos a métricos de andesita de tonalidades rojas y negra con formas redondeadas y subredondeadas con alta esfericidad (Figura 25).

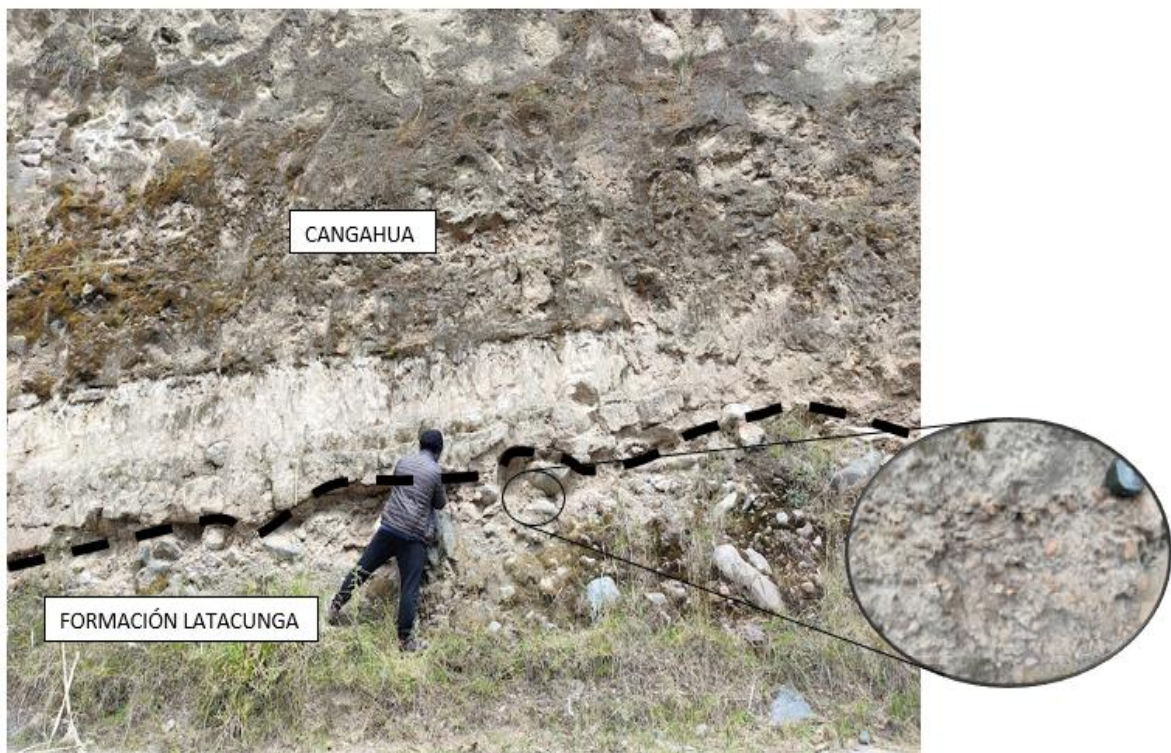


Figura 25. Conglomerados de Latacunga Superior. UTM (9903584/ 772585).

Al sur de la Quebrada Laipo se encontró el contacto entre Latacunga Superior y la Formación Cangahua. El estrato de la Formación Latacunga Superior alcanza un espesor de 1.5 m, mientras que la Formación Cangahua tiene 5 m de espesor (Figura 25).

3.1.4 Depósitos del Iliniza

Al SO de la cuenca del alta del río Cutuchi se encuentra el complejo volcánico de los Ilinizas, su actividad volcánica cuaternaria ha generado como producto depósitos piroclásticos y lavas andesíticas. Los depósitos piroclásticos de los Ilinizas fueron localizados en los alrededores del complejo, desde los 3100 msnm y se caracterizan por la presencia de escoria, pómez, líticos volcánicos y ceniza. Por lo que, se dividió estos depósitos en dos diferentes: Iliniza 1 e Iliniza 2.

Iliniza 1

Los depósitos volcánicos del Iliniza 1 afloran al NO de la parroquia San Juan de Pastocalle, en las zonas altas de la cara sur de los Ilinizas. Desde los 3600 msnm en adelante, se encuentran expuestos depósitos piroclásticos y lavas de composición andesítica. Los fragmentos piroclásticos de lapilli están compuestos por pómez, andesitas, escorias y dacitas, presentan formas subredondeadas a subangulares (Figura 26).



Figura 26. Iliniza 1 entre las Quebrada Unajilin y Santa Rosa. UTM (9920548 / 760903).

La pómez tiene tamaños entre 0.3 cm a 2.8 cm, presentan vesículas de hasta 0.2 cm y contiene vidrio y cristales de piroxenos y biotitas. Los fragmentos de andesitas son de colores grises de tamaños entre 0.5 cm hasta 12 cm, con texturas afaníticas y porfíricas

constituidas por plagioclasa, piroxenos, y anfíboles como minerales principales y biotita como mineral secundario.

Al NO de la parroquia San Juan de Pastocalle estos depósitos reposan sobre los depósitos piroclásticos Iliniza 2.



Figura 27. Andesitas meteorizadas en la Cascada de Cunuyacu. *UTM (9924964 / 756262).*

En la Quebrada Cunuyacu (Figura 27), se observó andesitas levemente magnetizadas y con coloraciones anaranjadas producto de la meteorización.

De acuerdo con las láminas delgadas de las muestras CA-49A y CA-49B, se discriminó una andesita porfirítica. La muestra CA-49 A está compuesta por 35% de plagioclasa (plg), 20% de ortopiroxeno (opx), 25% de anfíbol (amp), 15% de vidrio y 5% de óxidos, en una matriz de vidrio (Figura 28), mientras que la CA-49 B contiene 45% de plagioclasa (plg), 15% de piroxeno (px), 15% de anfíbol (amp), 20% de vidrio y 5% de óxidos, en una matriz de vidrio con microcristales de plagioclasa (Figura 29).

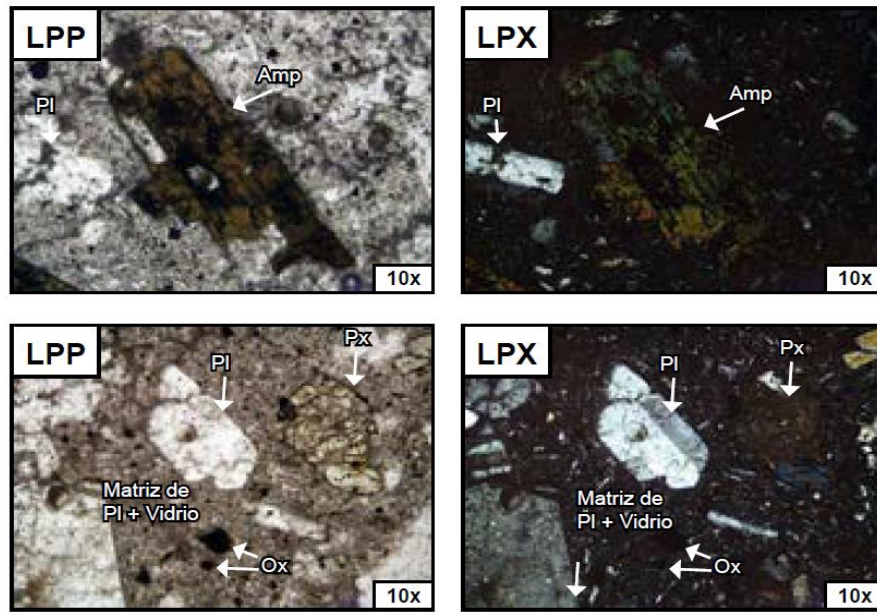


Figura 28. Lámina delgada de la muestra CA-49 A.

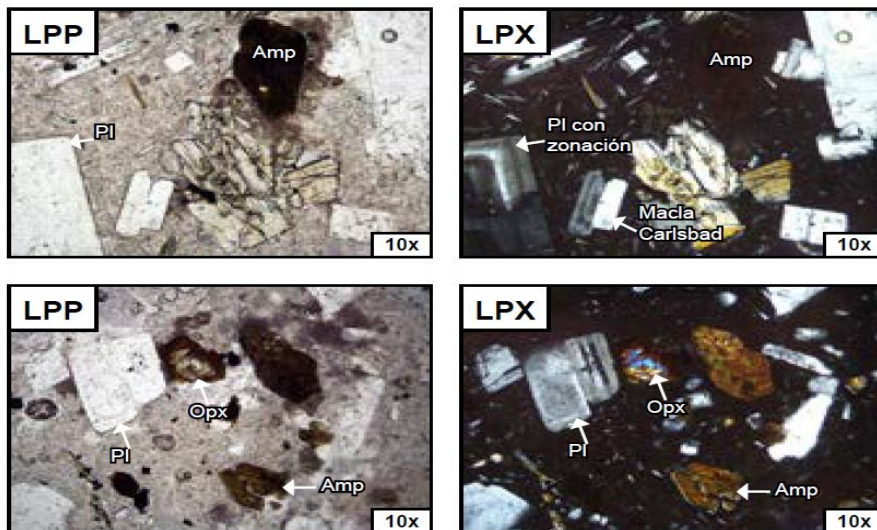


Figura 29. Lámina delgada de la muestra CA-49B.

Iliniza 2

Los depósitos volcánicos del Iliniza 2, afloran al NO de la parroquia San Juan de Pastocalle. En las zonas bajas de la cara sur de los Ilinizas desde los 3100 msnm hasta 3600 msnm, se encuentran expuestos depósitos piroclásticos. Los depósitos piroclásticos están formados por cenizas, lapilli y líticos de andesita y dacita. Los fragmentos piroclásticos de lapilli están compuestos por pómez, andesitas y dacitas con formas angulares a subangulares.

La pómez presenta un color blanco a beige, tiene tamaño entre 0.2 cm hasta 3 cm, presenta vesículas de hasta 0.5 cm y se distinguen pequeñas biotitas de tamaño menor a 0.1 mm. Las escorias son de color negro con tamaños entre 0.2 a 0.4 cm, presentan vesículas de hasta 0.2 cm. Los fragmentos de andesitas son de colores grises a negros, con tamaños desde 0.3 cm hasta 1.1 cm, algunas muestras presentan vesículas menores a 0.2 cm, tienen texturas afaníticas y porfíricas, compuesto por pequeños cristales de plagioclasa (Figura 30).

Al NO de la parroquia San Juan de Pastocalle estos depósitos reposan sobre la Ignimbrita de Chalupas y subyacen a los depósitos Iliniza 1.



Figura 30. Iliniza 2, depósitos piroclásticos al norte de la Quebrada Pilacoto. *UTM* (9913409/ 761103).

3.1.5 Depósitos del Chalupas

Ignimbrita de Chalupas

Los depósitos asociados al Chalupas afloran en las parroquias de Mulaló, Pastocalle y la ciudad de Latacunga, por lo que, cubren grandes extensiones de la cuenca. Los afloramientos de esta unidad se los puede encontrar desde los 2m hasta los 100m de altura, en los cuales se puede apreciar estratificación y su color característico va desde beige a rosado (Figura 31 A).

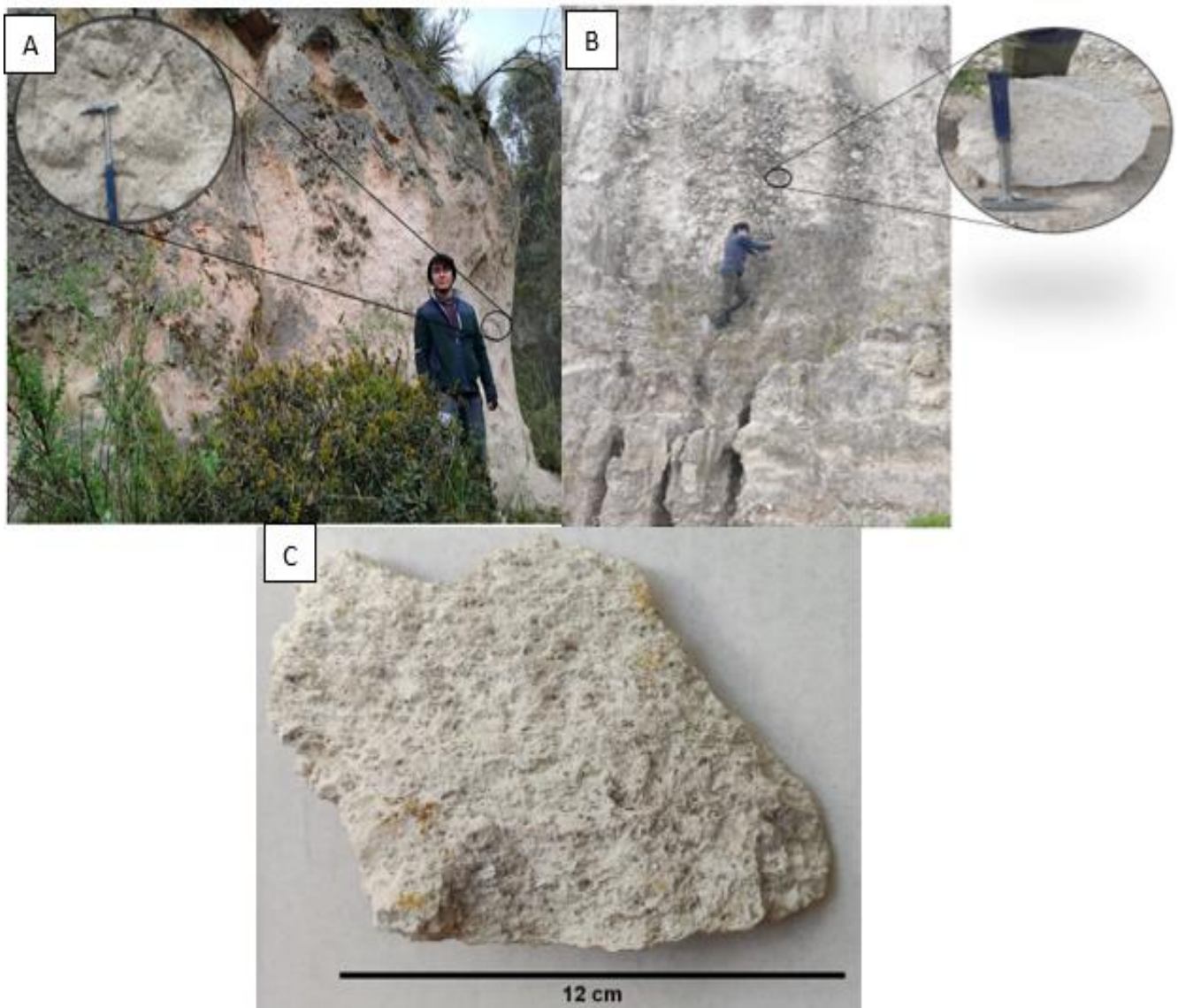


Figura 31. A) Ignimbritas de Chalupas al este del río Cutuchi. *UTM* (9923401 / 770572).
B) Afloramiento de las ignimbritas de Chalupas al norte del río Alaquez. *UTM* (9906392 / 768571). C) Pómez laminada.

Los depósitos piroclásticos de la unidad presentan pómez, ceniza y líticos de andesita. La pómez se presenta tamaños entre 1 cm a 30 cm, además de esto se caracteriza por ser fibrosa y está compuesta por biotita, anfíbol y vidrio (Figura 31 C). Las andesitas son de un color gris oscuro y van desde 2cm hasta los 7 cm, compuestas por plagioclasa y piroxeno como minerales principales, con texturas porfíricas y afaníticas.

Al noreste de la Quebrada de San Diego, la formación se caracteriza por tener bajas cantidades de ceniza aproximadamente un 5% y predomina la presencia de lapilli. Estratigráficamente, en esta zona se puede evidenciar la presencia de diferentes eventos de deposición para que las capas presenten este arreglo (Figura 32), por lo que se tendría un total de 4 eventos de depósito y 2 eventos de erosión.

Al NE de la ciudad de Latacunga la Ignimbrita de Chalupas reposa sobre la Formación Latacunga, en la localidad de Ticaltilín subyace a los depósitos piroclásticos Cotopaxi 1 y al NO de la parroquia San Juan de Pastocalle subyace sobre los depósitos piroclásticos Iliniza 2.

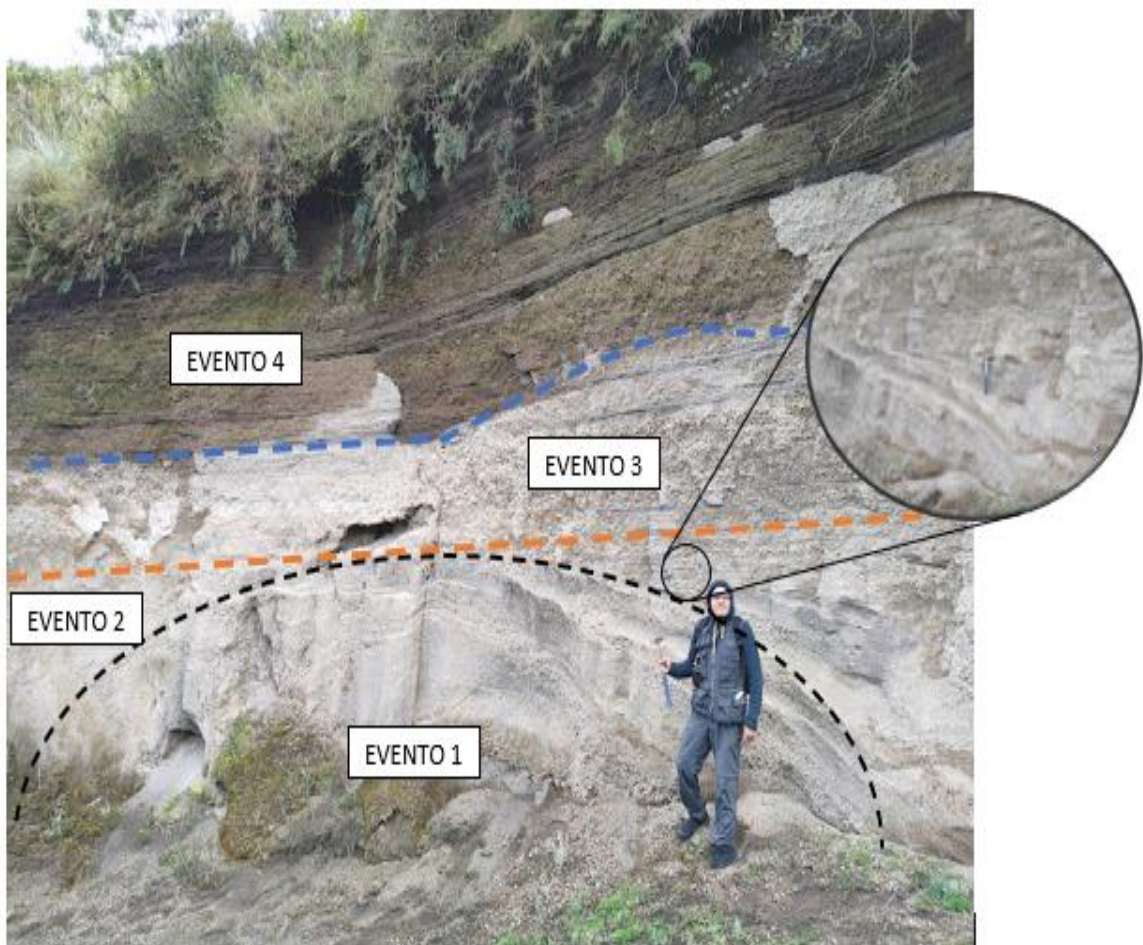


Figura 32. Ignimbrita de Chalupas. UTM (9917371 / 774273).

3.1.6 Depósitos del Cotopaxi

Cotopaxi 1

La ceniza analizada corresponde al punto CA-06, en estos depósitos piroclásticos se encontró: pómez disgregada (55%) de color café claro con formas subredondeadas, con una vesicularidad moderada y compuestas por piroxeno, plagioclasa y cuarzo; magnetita (3%); escoria (30%) de colores de gris a negro con formas irregulares; obsidiana (<1 %) y líticos volcánicos (11 %) de tonalidades negras a grises con formas subangulares, posiblemente de andesita y dacita.

Cotopaxi 2

En los depósitos piroclásticos del punto CA-01, las cenizas tienen una composición de: pómez disgregada (40%) de color café claro, con formas subredondeadas, vesicularidad baja y están compuestas por piroxeno, plagioclasa y cuarzo; cuarzo (<1%); magnetita (<10 %); escoria (9%) de colores cafés oscuros con formas irregulares y líticos de volcánicos (40%) con formas subangulares, posiblemente de andesita.

3.1.7 Depósitos del Iliniza

Ilinizas 1

En el punto CA-49, las cenizas se componen de: pómez disgregada (10%) de color café claro, con formas subredondeada, vesicularidad baja y se compone de piroxeno, plagioclasa y cuarzo; magnetita (5%); cuarzo (10%) y líticos de volcánicos (75%) de tonalidades grises con formas subangulares, aparentemente de andesita y dacita.

Ilinizas 2

Las muestras de ceniza se tomaron en los puntos CA-46 y CA-44. En el punto CA-46 se encontró: pómez disgregada (45%) de color beige a café claro, con formas subredondeadas, vesicularidad alta y se componen de piroxeno y cuarzo; magnetita (10%); cuarzo (10%); escoria (10%) y líticos de volcánicos (38%) de tonalidades negras a grises con formas subangulares de andesita.

En el punto CA-44, la ceniza se compone de: pómez disgregada (90%) de color beige a café claro, con formas subredondeadas, vesicularidad moderada y están compuestas por plagioclasa y piroxeno; magnetita (4%); vidrio (<1%) y líticos de volcánicos (7 %) de tonalidades negras a grises con formas subangulares.

3.1.8 Depósitos del Chalupas

Ignimbrita de Chalupas

Se analizó las cenizas de los puntos CA-19 y CA-23. En el punto CA-19 tiene una composición de: pómez disgregada (56%) de color rosado, con formas redondeadas, vesicularidad moderada y compuestas por anfíbol, piroxeno y plagioclasa; magnetita (5%); cuarzo (<1%); obsidiana (2%) y líticos de volcánicos (36 %) de tonalidades negras a grises con formas angulares a subangulares de andesita.

La ceniza del punto CA-23 se compone de: pómez disgregada (60%) es de color beige, con formas redondeadas, vesicularidad baja y se compone de piroxeno, plagioclasa y biotita; magnetita (3%); cuarzo (<1%); vidrio (<1%) y líticos de volcánicos (35%) de tonalidades grises a negras con formas angulares de andesita.

3.2 Mapeo local

El mapa geológico presentado en la Figura 33 fue diseñado con base en los 58 puntos tomados en la salida de campo, indicando la distribución de los depósitos del Cotopaxi, Iliniza, Chalupas y la Formación Latacunga en la cuenca. El mapa fue construido teniendo en cuenta que los depósitos mencionados son periclinales.

Para el diseño del corte geológico presentado en la Figura 34, se tomó en cuenta los espesores máximos de cada formación tanto bibliográficos como observados en campo (Tabla 1, Tabla 2).

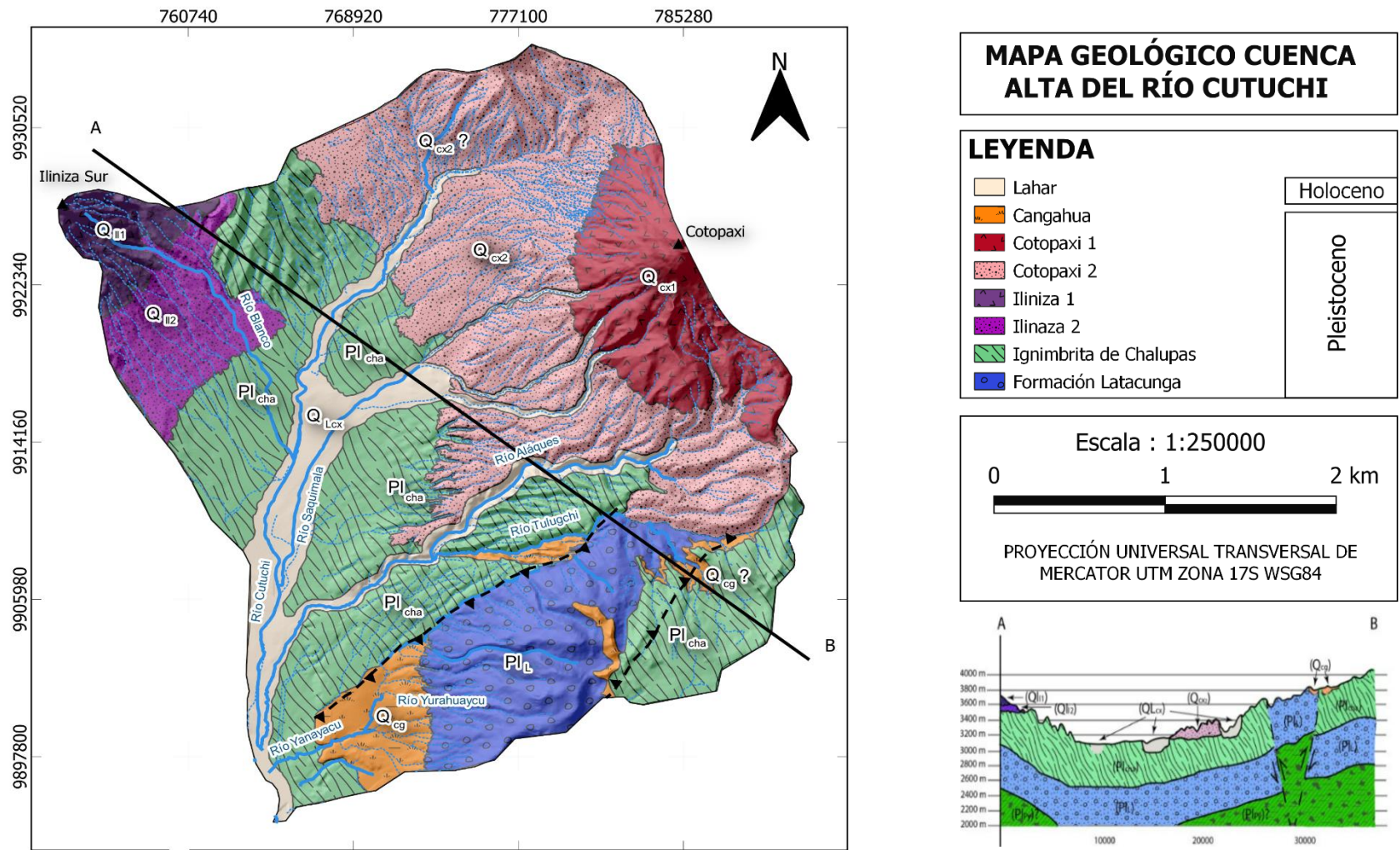


Figura 33. Geología de la cuenca alta del río Cutuchi.

Depósito	Espesores observados en campo
Cotopaxi 1	desde los 4000 msnm en adelante
Cotopaxi 2	800 m.
Iliniza 1	Desde 3600 msnm en adelante
Iliniza 2	500 m
Lahar del Cotopaxi	100m
Cangahua	50 m

Tabla 1. Espesores observados de las formaciones.

Formación	Espesores bibliográficos
Ignimbrita de Chalupas	500 m (Beate & Urquizo, 2015)
Latacunga	600 m (Winkler et al., 2005)

Tabla 2. Espesores bibliográficos de las formaciones.

3.3 Discusión

3.4.1 Aspectos Hidrogeológicos

De acuerdo con las descripciones realizadas en campo, y tomando en cuenta la porosidad y porosidad efectiva se determinó las formaciones aptas para la extracción de agua subterránea. La porosidad presente en las litologías estudiadas se ven afectadas por el empaquetamiento, esfericidad, selección y cimentación del sedimento.

Los depósitos piroclásticos del Cotopaxi 1, Cotopaxi 2 e Iliniza 2 serían idóneos para sistemas acuíferos debido a que son depósitos con baja cimentación, las formas de granos van de subangulares a subredondeados con un sorteo bueno a moderado. El Iliniza 1 tiene buenas condiciones para la transmisividad de agua subterránea en los depósitos piroclásticos, por el contrario, en las lavas andesíticas no se tiene las condiciones

suficientes debido a su baja porosidad y bajo grado de fracturamiento. Los lahares del Cotopaxi al tener una baja compactación y clastos subangulares a angulosos presentarían las mejores condiciones para un sistema acuífero, pero al tener un mal sorteo y ser clasto soportado disminuyen las posibilidades.

En los depósitos de Chalupas, para verificar si es posible encontrar sistemas acuíferos se tuvo en cuenta el estudio de Beate (1985) que menciona que la Ignimbrita de Chalupas se divide en 3 capas: inferior, intermedia y superior. La parte inferior está compuesta de lapilli de pómez riolítico juvenil rico en líticos andesíticos oxidados e hidrotermalizados, cuyo diámetro aumenta en la dirección a la caldera. La parte central está constituida por una capa de color gris claro, masiva, de ceniza muy abundante con fragmentos redondeados de pómez tabular y fibrosa, así como fragmentos de andesitas. La parte superior del depósito lo constituyen cenizas finas inter-estratificadas con lapilli y horizontes retrabajados. Teniendo en cuenta estos 3 estratos, los estratos tanto intermedio como superior resultarían mejores para la transmisividad de agua subterránea debido a que son matriz soportados y presentan una baja consolidación. Con los análisis realizados en la ceniza se observó que estas tienen formas angulares a subangulares que de igual manera favorecen a la formación de acuíferos. La transmisividad del estrato inferior estaría limitada por las características del depósito al ser clasto soportado compuesto de pómez subredondeadas a redondeadas de baja permeabilidad.

La Formación Latacunga se divide en dos miembros: Inferior y Superior. El Miembro Superior presenta facies fluviales representadas por conglomerados con buenas características para transmitir agua, ya que no presentan una alta cimentación y posee un buen sorteo. En el Miembro Superior se encontró lahares, brechas y lavas andesíticas, todas están litológicamente no presentan características óptimas para un sistema acuífero. Los lahares y las brechas presentan a un grado alto de compactación, mal sorteo y son clasto soportado, lo que no favorece a la circulación de agua. Las lavas andesíticas al presentar vesículas, tienen una baja permeabilidad debido a que estas vesículas no están interconectadas.

Con el análisis realizado en cada formación se definió los tipos de acuíferos presentes en la cuenca de estudio. El acuífero libre estaría presente en la formación Latacunga precisamente en la Miembro Superior, porque no se ha observado ninguna capa idealmente impermeable o semipermeable para ser un acuífero confinado o semiconfinado. Los acuíferos colgados son característicos de depósitos volcano-sedimentarios, estando presentes en los depósitos piroclásticos del Cotopaxi, Iliniza y Chalupas, estos acuíferos se forman cuando hay intercalaciones o lentes de capas más permeables y capas menos

permeables, esta variación de permeabilidad en los depósitos se debe a las intercalaciones de lapilli y ceniza con variaciones en su tamaño de grano, un ejemplo de esto se observó en los depósitos piroclásticos del Iliniza 1 al norte de la Quebrada Pilacoto (Figura 34).

Teniendo en cuenta los posibles tipos de acuíferos, litologías y el corte geológico (Figura 34), se determinó que el basamento hidrogeológico de la cuenca serían las lavas de la formación Latacunga debido a su baja permeabilidad.

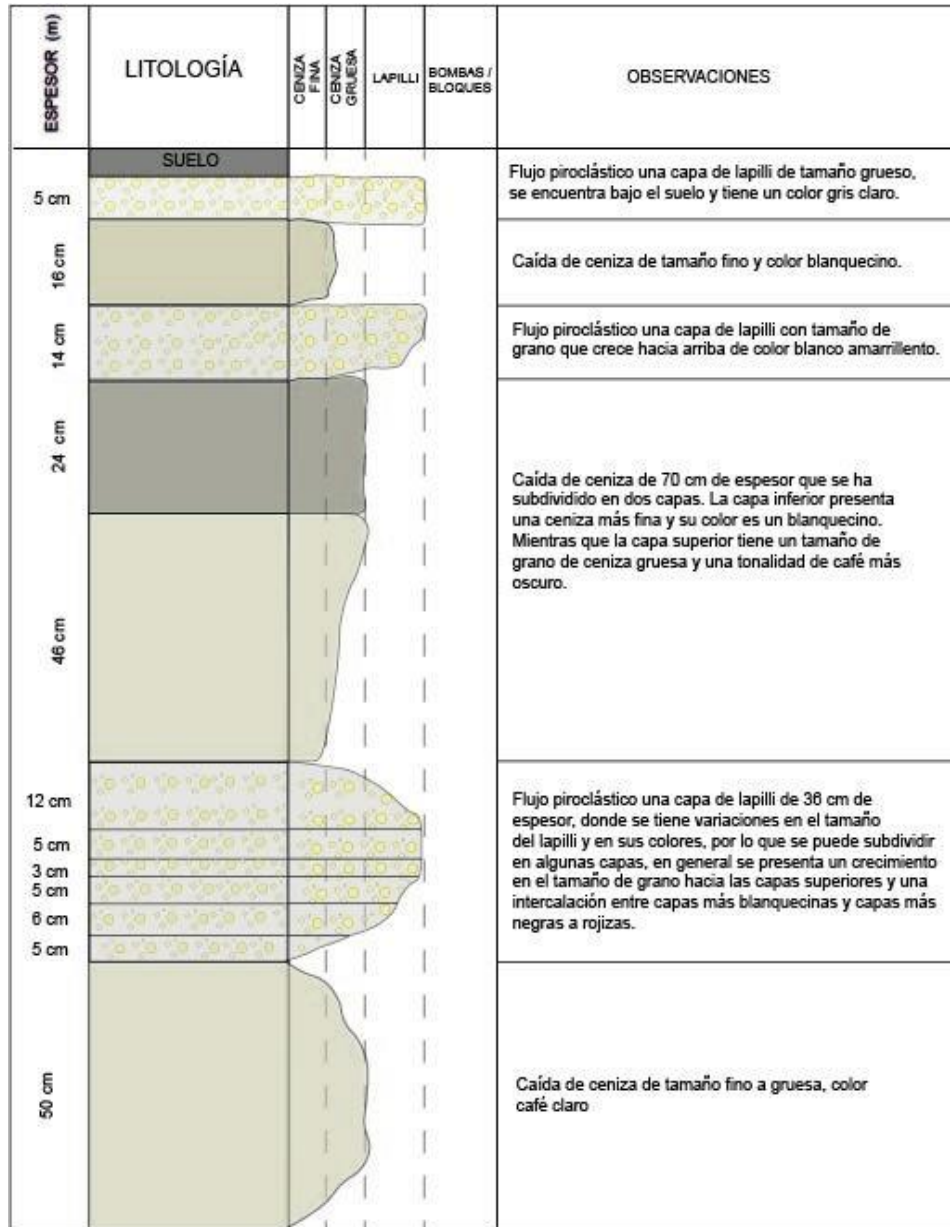


Figura 34. Columna estratigráfica de Iliniza 2, depósitos piroclásticos al norte de la Quebrada Pilacoto. UTM (9913409/ 761103).

3.4.2 Aspectos Geológicos

El mapeo realizado en cuenca alta del río Cutuchi permite acotar características geológicas y estructurales que afectan a las formaciones que la constituyen.

Estructuralmente, la formación Latacunga presenta rasgos de levantamiento y basculamiento. De acuerdo con los resultados de este estudio, esto se puede asociar a dos posibles fallas inversas con posible rumbo NE cuyo buzamiento no se pudo definir debido a las potentes capas volcano-sedimentarias que estarían cubriendo la evidencia morfológica de las fallas en superficie. Esta falla debió haber actuado después del depósito de la Ignimbrita de Chalupas hace 2.1 ka.

En los afloramientos del Iliniza sur, se observó lavas andesíticas con tonalidades anaranjadas producto de la meteorización, estas tonalidades se deben al alto contenido de hierro en la roca. En la misma zona se encontró cuarzo *vuggy*, indicativo superficial de la presencia de hidrotermalismo, por lo que el complejo volcánico los Ilinizas (CVI), sería un ambiente volcánico-hidrotermal. En estos complejos inactivos el magma se mantiene confinado y los gases pueden ascender por fracturas o fallas para posteriormente mezclarse con el agua dando origen a estos ambientes.

En los depósitos piroclásticos Cotopaxi 1, se observó escorias posiblemente compuestas de cuarzo, algo contradictorio a la composición de las lavas andesíticas del Cotopaxi, por lo que el cuarzo podría estar relacionado a un proceso de retrabajamiento. Con las formaciones presentes en la cuenca no se puede explicar el origen del cuarzo retrabajado, se estima que deriva del basamento. La escasa información y estudios existentes sobre el basamento del Valle Interandino, no permiten identificar claramente el origen del cuarzo. No obstante, de acuerdo con Beate (2006), se encontró líticos metamórficos en los depósitos piroclásticos del Chalupas ubicada al SO del volcán Cotopaxi, por lo que, el cuarzo observado en este depósito podría estar relacionado a las cuarcitas del terreno Guamote.

3.4 Conclusiones

- La cuenca alta del río Cutuchi se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios, asociados al vulcanismo del Cotopaxi, Ilinizas, Chalupas y Sagoatoa (depósitos de la Formación Latacunga).
- Los depósitos del Cotopaxi están constituidos por piroclastos y lahares. Los piroclastos son de tamaño de grano de bombas, lapilli y ceniza. Los lahares son

estratos bastante potentes de hasta 50 m de espesor y se los encuentra a lo largo de ríos y quebradas.

- Los depósitos del Iliniza están constituidos por piroclastos y lavas andesíticas. Los piroclastos son de tamaño de grano de lapilli y ceniza. Las lavas andesíticas presentan texturas porfiríticas y están compuestas por plagioclasa, anfíbol, piroxeno, biotita y óxidos de hierro en una matriz de vidrio con microcristales de plagioclasa. En la cascada Cunuyacu, las lavas andesíticas presentan coloraciones anaranjadas debido a la meteorización producto del contacto agua-roca y al alto contenido de minerales máficos en la roca.
- La Ignimbrita de Chalupas se caracteriza por sus coloraciones beige a rosáceas y pómez fibrosas de hasta 30 cm, compuesta por biotita, anfíbol y vidrio.
- La formación Latacunga se divide en dos miembros: Inferior y Superior. El Miembro Superior presenta de conglomerados clasto soportados con un sorteo moderado. El miembro inferior presenta: lahares, brechas y lavas andesíticas. Los lahares son clasto soportados con un mal sorteo. Las brechas son matriz soportadas con un sorteo moderado. Las lavas tienen vesículas centimetradas a milimétricas, textura afanítica y están compuestas plagioclasa, piroxeno, anfíbol y óxidos.
- Al realizar la granulometría de los depósitos se encontró que: las cenizas del Cotopaxi presentan colores cafés oscuros y está compuesta por magnetita, cuarzo, obsidiana y líticos de volcánicos; las cenizas del Iliniza presentan colores grises a cafés claros y está compuesta por, magnetita, cuarzo, líticos de volcánicos y partículas oxidadas; las cenizas Ignimbrita de Chalupas presentan colores beige a rosado y está compuesta por magnetita, obsidiana, vidrio, líticos de volcánicos y partículas oxidadas.
- Los depósitos de Cotopaxi 1, Iliniza 1 y Chalupas presentan características idóneas para la presencia de acuíferos colgados, ya que, al ser depósitos piroclásticos existen intercalaciones de ceniza y lapilli, produciendo con ello capas con mayor y menor permeabilidad.
- La litología del Miembro Superior de Latacunga sería óptima para la presencia de un acuífero libre, mientras que el Miembro Inferior de Latacunga formado por lavas andesíticas constituirá el basamento hidrogeológico de los sistemas acuíferos presentes en la cuenca.

- Se interpretó dos posibles fallas inversas que se formaron después de la deposición de la Ignimbrita de Chalupas hace 2.1 Ma, que produce el levantamiento y basculamiento la Formación Latacunga.

3.5 Recomendaciones

- Realizar estudios geofísicos que ayuden a mejorar la información geológica, hidrogeológica y estructural de la cuenca. Esto ayudaría a tener una idea de la disposición de las formaciones y discontinuidades existentes a profundidad para así poder discriminar las zonas en las cuales existen acuíferos.
- Realizar láminas delgadas de las escorias compuestas posiblemente por cuarzo, ya que al microscopio se podrá discriminar la mineralogía y la redondez, en el caso de ser redondeado, serían indicativos que este cuarzo es del basamento.
- Realizar un inventario de pozos y vertientes, midiendo las propiedades físicas, químicas, niveles freáticos, piezométricos y tomando muestras para análisis químicos que ayudarían a determinar la fuente y el tipo de agua.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, A. (1996). *Evolución geológica cuaternaria y paleosismicidad de la cuenca de Quito-Ecuador*.

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: EASTERN LIMIT OF THE NORTH ANDEAN SLIVER. *Tectonics*, 35(5), 1048-1065. <https://doi.org/10.1002/2016TC004117>

Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrín, P., & Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83. <https://doi.org/10.1002/2012TC003224>

Bablon, M., Quidelleur, X., Siani, G., Samaniego, P., Le Pennec, J.-L., Nouet, J., Liorzou, C., Santamaría, S., & Hidalgo, S. (2020). Glass shard K-Ar dating of the Chalupas caldera major eruption: Main Pleistocene stratigraphic marker of the Ecuadorian volcanic arc. *Quaternary Geochronology*, 57, 101053. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2020.101053>

Beate, B. (1985). *El flujo piroclástico de Chalupas como causante de un desastre natural en el Cuaternario de los Andes Septentrionales del Ecuador*.

Beate, B. (2006). *La edad de la Ignimbrita del Chalupas, Prov. De Cotopaxi, Ecuador, y su importancia como marcador estratigráfico*.

Beate, B., & Urquiza, M. (2015). Geothermal Country Update for Ecuador: 2010-2015. *Proceedings, World Geothermal Congress*, 19-25.

Cabrera, M. C., & Custodio, E. (2004). Groundwater flow in a volcanic?sedimentary coastal aquifer: Telde area, Gran Canaria, Canary Islands, Spain. *Hydrogeology Journal*, 12(3). <https://doi.org/10.1007/s10040-003-0316-y>

Clapperton, C. (1993). Quaternary geology and geomorphology of South America. *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Quaternary-geology-and-geomorphology-of-South-Clapperton/6371a05b1eab16b73f1fd8d8c3d9c088f211a7cd>

Custodio, E., & Llamas, M. R. (Eds.). (1976). *Hidrología subterránea* (1. ed). Omega.

Dávila Alarcón, F. (1990a). *Geodinámica Plio-Cuaternaria de la cuenca de Latacunga-Ambato. Callejón Interandino: Sector entre Salcedo y Píllaro*. EPN.

Dávila Alarcón, F. (1990b). *Geodinámica Plio-Cuaternaria de la cuenca de Latacunga-Ambato. Callejón Interandino: Sector entre Salcedo y Píllaro*. EPN.

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1978a). *Hoja 66. Hoja geológica Machachi-escala 1:100.000*.

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1978b). *Hoja 68. Hoja geológica Ambato-escala 1:100.000*.

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1980). *Hoja 67. Hoja geológica Latacunga—Escala 1:100.000.*

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1981). *Hoja 86. Hoja geológica Chalupas—Escala 1:100.000.*

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1982). *Hoja 87. Hoja geológica San José de Poaló-escala 1:100.000.*

Dirección General de Geología y Minas-DGGM. (1983). *Hoja 85. Hoja geológica Pintag- escala 1:100.000.*

Egüez, A. (1986). *Evolution Cénozoïque de la Cordillere Occidentale Septentrionale d'Equateur (0o 15'S – 1o 10'S), les Minéralisations Associeés.*

Egüez, A., & Aspden, J. A. (1993). *The mesozoic-cenozoic evolution of the ecuadorian andes.*

Freeze, A., & Cherry, J. (1979). *Groundwater.*

Fuentes, J. L. (1993). *AGUAS SUBTERRANEAS.*

Gobierno Autónomo Descentralizada Parroquial Rural Mulaló - GADP. (2020). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI 2020—2023.* 297.

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*(3-4), 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. (2000a). *El volcanismo plio cuaternario en los Andes del Ecuador.* Instituto Geofísico, Departamento de geología EPN.

Hall, M. L., & Beate, B. (2000b). *El volcanismo plio cuaternario en los Andes del Ecuador.* Instituto Geofísico, Departamento de geología EPN.

Hall, M. L., Samaniego, P., Le Pennec, J.-L., & Johnson, J. B. (2008). Ecuadorian Andes volcanism: A review of Late Pliocene to present activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176*(1), 1-6.

Hall, M., & Mothes, P. (2008). The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. *Bulletin of Volcanology, 70*(6), 675-702. <https://doi.org/10.1007/s00445-007-0161-2>

Hidalgo, S., Monzier, M., Martin, H., Chazot, G., Eissen, J.-P., & Cotten, J. (2007). Adakitic magmas in the Ecuadorian Volcanic Front: Petrogenesis of the Iliniza Volcanic Complex (Ecuador). *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 159*(4), 366-392. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.07.007>

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)

INAMHI, I. N. de M. e H. (2017). *Mapa de Isotermas medias anuales de la serie histórica 1981-2010.* . <https://www.inamhi.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>

- INEC, I. N. de E. y C. (2010). *Censo Nacional Agropecuario (CNA)*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jaillard, É., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., & Zambrano, I. (1995). *Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time*.
- Kennerley, J. B. (1971). *Geology of the Llanganates area, Ecuador*. Prince Gate.
- Lapierre, H., Bosch, D., Dupuis, V., Polvé, M., Maury, R. C., Hernandez, J., Monié, P., Yeghicheyan, D., Jaillard, E., & Tardy, M. (2000). Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B4), 8403-8421.
- Lavenu, A., Noblet, C., Bonhomme, M. G., Egüez, A., Dugas, F., & Vivier, G. (1992). New K-Ar age dates of Neogene and Quaternary volcanic rocks from the Ecuadorian Andes: Implications for the relationship between sedimentation, volcanism, and tectonics. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(3-4), 309-320. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90028-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90028-W)
- Litherland, M., Aspden, J. A., & Jemielita, R. A. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*.
- Lonsdale, P. (1978). Ecuadorian subduction system. *AAPG Bulletin*, 62(12), 2454-2477.
- Lozada, J. A. (2019). *Análisis de la estratigrafía del Neógeno de la cuenca Latacunga-Ambato, secciones en los valles del río Nagsiche y río Yanayacu*. EPN.
- Mothes, P. (1991). *Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador: Hazard and risk evaluation* | SpringerLink. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-2310-5_7
- Nuñez, G. (2020). *CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO CHAMBO PROVINCIA DE CHIMBORAZO*.
- Reyes, P. (2013). *Relief evolution along the active margins: Study of the Plio Quaternary Deformation in the coastal Cordillera of Ecuador*. 312.
- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., & Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: Their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307(3-4), 235-254.
- Santamaría, S., Xavier, Q., Silvana, H., Pablo, S., Jean-Luc, L. P., Celine, L., Pierre, L., Marco, C., & Pedro, E. (2022). *Geochronological evolution of the potentially active Iliniza Volcano (Ecuador) based on new K-Ar ages*.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139.
- Taco Cañizares, L. G. (2000). *Estudio hidrológico de la cuenca del río Cutuchi, aguas arriba de la estación hidrométrica Cutuchi A. J. Yanayacu*. EPN.
- 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.

Vallejo, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene)* [PhD Thesis]. ETH Zurich.

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. En S. M. Kay, V. A. Ramos, & W. R. Dickinson, *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2009.1204\(09\)](https://doi.org/10.1130/2009.1204(09))

Vallejo, S. X. V. (2011). *DISTRIBUCIÓN DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS HOLOCÉNICAS - TARDÍAS EN LA COSTA DEL ECUADOR*. 267.

Villagómez, D. (2003). *EVOLUCIÓN GEOLÓGICA PLIO-CUATERNARIA DEL VALLE INTERANDINO CENTRAL EN ECUADOR (ZONA DE QUITO- GUAYLLABAMBA-SAN ANTONIO)*. 148.

Villarroya, D. F. (s. f.). *Tema: Tipos de acuíferos y parámetros hidrogeológicos*. 13.

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>

Witt, C., & Bourgois, J. (2010). Forearc basin formation in the tectonic wake of a collision-driven, coastwise migrating crustal block: The example of the North Andean block and the extensional Gulf of Guayaquil-Tumbes Basin (Ecuador-Peru border area). *Bulletin*, 122(1-2), 89-108.

Witt, C., Bourgois, J., Michaud, F., Ordonez, M., Jimenez, N., & Sosson, M. (2006). *Development of the Gulf of Guayaquil (Ecuador) during the Quaternary as an effect of the North Andean block tectonic escape*. 23.

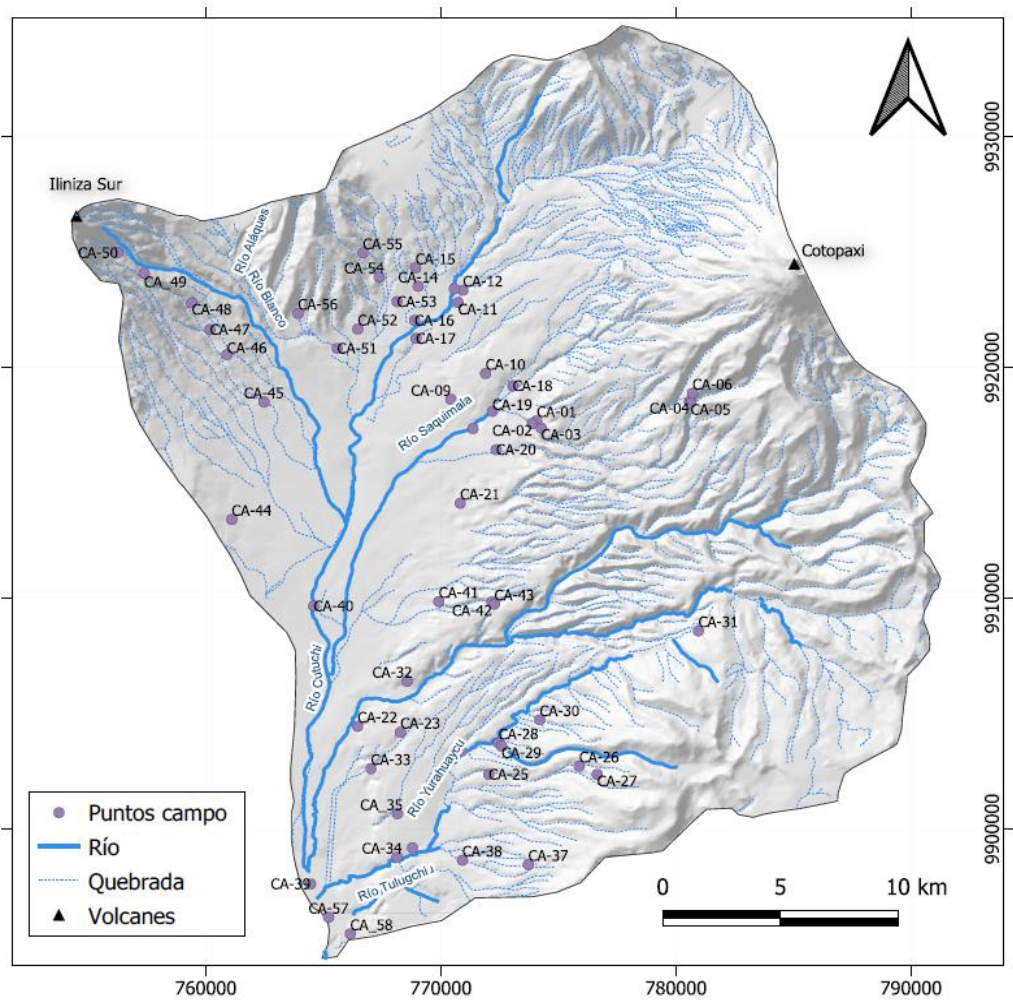
Woessner, W. W., & Poeter, E. P. (2020). *Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow*. 226.

5 ANEXOS

ANEXO I. Ubicación de los afloramientos

CÓDIGO	UTM Y	UTM X	FORMACIÓN
CA-01	9917685.41	774083.676	Cotopaxi 2
CA-02	9917550.66	773887.498	Lahar Cotopaxi
CA-03	9917371.38	774273.784	Ignimbrita de Chalupas
CA-04	9918512	780574	Cotopaxi 2
CA-05	9918459.9	780632.196	Ignimbrita de Chalupas
CA-06	9918876.19	780707.585	Cotopaxi 1
CA-07	9919103.09	781433.743	Cotopaxi 1
CA-08	9917342.55	771365.898	Lahar Cotopaxi
CA-09	9918610.62	770427.965	Ignimbrita de Chalupas
CA-10	9919732.9	771904.814	Cotopaxi 2
CA-11	9922807.11	770737.153	Cotopaxi 2
CA-12	9923341.24	770939.937	Lahar Cotopaxi
CA-13	9923401.7	770572.263	Ignimbrita de Chalupas
CA-14	9923515.09	769037.495	Ignimbrita de Chalupas
CA-15	9924309.17	768922.655	Ignimbrita de Chalupas
CA-16	9922032.78	768882.166	Lahar Cotopaxi
CA-17	9921253.01	768941.352	Ignimbrita de Chalupas
CA-18	9919198.93	773062.787	Ignimbrita de Chalupas
CA-19	9918092.6	772194.697	Ignimbrita de Chalupas
CA-20	9916431.22	772356.743	Lahar Cotopaxi
CA-21	9914112.54	770822.883	Ignimbrita de Chalupas
CA-22	9904443.15	766458.543	Ignimbrita de Chalupas
CA-23	9904188.15	768282.412	Ignimbrita de Chalupas
CA-24	9903358.97	770869.447	Ignimbrita de Chalupas
CA-25	9902361.91	772037.883	Cangahua
CA-26	9902716.53	775886.283	Formación Latacunga
CA-27	9902360.19	776654.263	Formación Latacunga
CA-28	9903719.31	772457.413	Cangahua
CA-29	9903584.88	772585.072	Formación Latacunga
CA-30	9904727.07	774205.246	Formación Latacunga
CA-31	9908580.37	780957.647	Formación Latacunga
CA-32	9906392.16	768571.367	Lahar Cotopaxi
CA-33	9902606.55	767028.834	Ignimbrita de Chalupas
CA-34	9898768.67	768129.694	Ignimbrita de Chalupas
CA_35	9900651	768155	Cangahua
CA-36	9899176.9	768794.458	Contacto Ignimbrita con Cangahua
CA-37	9898452.23	773723.031	Formación Latacunga
CA-38	9898640.14	770918.599	Cangahua
CA-39	9897611.24	764457.932	Lahar Cotopaxi
CA-40	9909656.77	764592.538	Lahar Cotopaxi
CA-41	9909848.93	769912.112	Ignimbrita de Chalupas
CA-42	9909838.48	772176.083	Ignimbrita de Chalupas

CA-43	9909739.25	772281.733	Contacto Ignimbrita, Cagahua y Lahar del Cotopaxi
CA-44	9913409.48	761103.455	Iliniza 2
CA-45	9918497.06	762473.891	Iliniza 2
CA-46	9920548.32	760903.332	Iliniza 2
CA-47	9921635.55	760176.481	Iliniza 2
CA-48	9922798.31	759406.175	Iliniza 1
CA_49	9924082.89	757375.569	Iliniza 1
CA-50	9924964.87	756262.406	Iliniza 1
CA-51	9920822.4	765595.579	Ignimbrita de Chalupas
CA-52	9921656.2	766465.229	Ignimbrita de Chalupas
CA-53	9922844.63	768136.091	Ignimbrita de Chalupas
CA-54	9923913.27	767375.253	Ignimbrita de Chalupas
CA-55	9924961.46	766681.853	Ignimbrita de Chalupas
CA-56	9922340.18	763926.691	Ignimbrita de Chalupas
CA-57	9896169.11	765224.061	Lahar Cotopaxi
CA_58	9895450.68	766149.287	Ignimbrita de Chalupas



ANEXO II. Fotografías de los afloramientos

DEPÓSITOS PIROCLASTICOS

COTOPAXI 1

Punto CA-01



DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS

COTOPAXI 2

Punto CA-06



LAHARES DEL COTOPAXI

Punto CA-08



Punto CA-12



Punto CA-16



Punto CA-40



IGNIMBRITA DE CHALUPAS

Punto CA-13



Punto CA-24



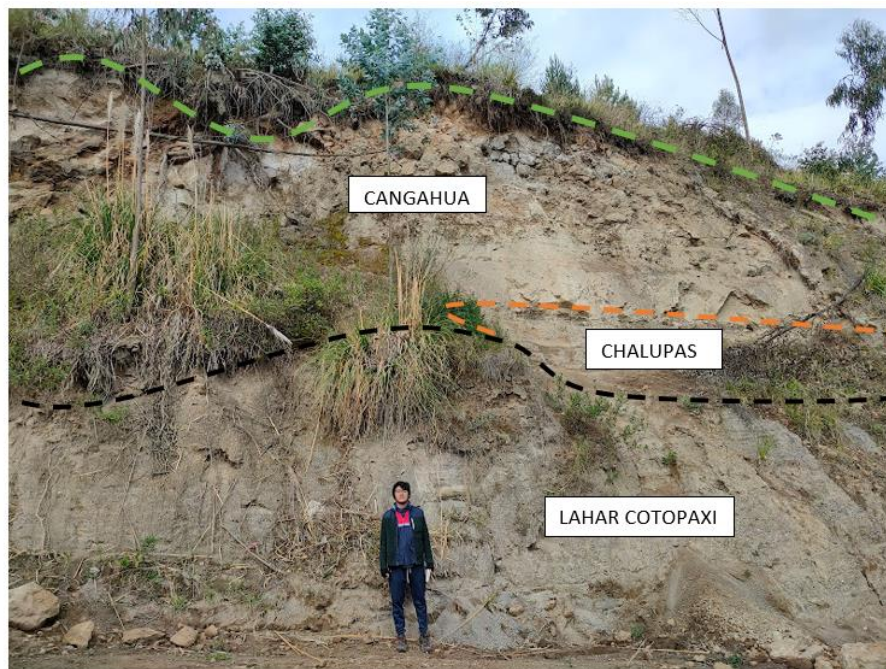
Punto CA-32



Punto CA-36



Punto CA-43



FORMACIÓN LATACUNGA

Punto CA-27



Punto CA-31





DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS ILINIZA 2

Punto CA-47



DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS ILINIZA 1

Punto CA-48



Punto CA-49



ANEXO III. Descripciones petrográficas de cenizas

Lugar	Norte de la Quebrada Alopungo
Muestra	CA-01
UTM	9917685 / 774083
Muestra Color	Café oscuro

Muestra pura:	Muestra tamaño de grava con fragmentos de pómez, escoria y líticos de andesita
----------------------	--

0 cm
6 cm



Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Café claro	Sedoso	Subredondeado	Baja	Px, plg,qz	-	no		40

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	<10%
Cuarzo	Incoloro	Cristalina	Vitreo	-	Concoinde	-	-	<1%

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Escoria	Café oscuro	Irregular	Sedoso	-	-	--	-	9

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Subangular	-	-	-	-	-	35%
Partículas oxidadas	Anaranjadas a rojos	subangular	-	-	-	-	-	<5%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica.	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	---	------------------------------------

Posible Fuente	Cotopaxi
-----------------------	----------

Lugar	Norte de Quebrada Morruco
Muestra	CA-06
UTM	9918876 / 780707
Muestra Color	Café oscuro

Muestra pura:	Muestra tamaño de grava con fragmentos de pómez, escoria y líticos centimétricos de andesita
---------------	--



Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Café claro	Sedoso	Subredondeado	Moderada	px plg qz	-	-	-	55%

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	3%

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Obsidiana	negro	Irregular	Sedoso	-	-	-	-	<1%
Escoria	Gris a negro	Irregular	Sedoso	-	-	-	-	30%

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Subangular	-	-	-	-	-	7%
Denso 2	gris	Subangular	-	-	-	-	-	<4%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica y dacita	Presencia de magnetita en líticos.
--------	---	------------------------------------

Posible Fuente	Cotopaxi
----------------	----------

Lugar	Norte de la Quebrada Alopungo
Muestra	CA-49
UTM	9924082 / 757375
Muestra Color	Gris claro



Muestra pura:	Muestra tamaño de arena gruesa con fragmentos de pómez, escoria y líticos volcánicos
----------------------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Café claro	Sedoso	Subanguloso	Baja	Px,plg,qz	-	-	-	10%

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	5%
Cuarzo	Incoloro	Cristalina	Vitreo	-	Concoinde	-	-	10%

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	gris	Subangular	-	-	-	-	-	45%
Partículas oxidadas	anaranjadas	Subangular	-	-	-	-	-	30%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica y dacita	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	---	------------------------------------

Posible Fuente	Ilíniza
-----------------------	---------

Lugar	Cara sur de los Ilinizas
Muestra	CA-46
UTM	9920548 / 760903
Muestra Color	Café claro



Muestra pura:	Muestra tamaño de arena media a gruesa con abundantes fragmentos de pómez y pocos líticos volcánicos
----------------------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Beige a café claro	Sedoso	Subredondeado	Alta	Px, qz	-	-	-	45

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	Cristalina	Vitreo	-	-	-	-	10
Cuarzo	Incoloro	Cristalina	Vitreo	-	-	-	-	<2%

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Escoria	Gris a negro	Irregular	Sedoso	-	-	-	-	<5%

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Subredondeado	-	-	-	-	-	25%
Denso 2	Gris	Subredondeado	-	-	-	-	-	10%
Partículas oxidadas	Anaranjadas	Subangular	-	-	-	-	-	<3%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	--	------------------------------------

Possible Fuente	Iliniza
------------------------	---------

Lugar	Cara sur de los Ilinizas
Muestra	CA-44
UTM	9913409/761103
Muestra Color	Café claro



Muestra pura:	Muestra tamaño de arena media con fragmentos de pómez y líticos volcánicos
----------------------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Beige	Sedoso	Subredondeado	Moderada	Px, plg	-	-	-	90

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	4

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Shards	Incoloro	Irregular	Vitreo	-	-	-	-	<1

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Subangular	-	-	-	-	-	5
Partículas oxidadas	Anaranjadas	Subangular	-	-	-	-	-	<1
Denso 2	gris	Subangular	-	-	-	-	-	<1

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica.	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	---	------------------------------------

Posible Fuente	Los Ilinizas
-----------------------	--------------

Lugar	Noroeste de la Quebrada San Diego
Muestra	CA-19
UTM	9918092 / 772194
Muestra Color	Café claro



Muestra pura:	Muestra tamaño de arena gruesa con basantes fragmentos de pómez y pocos litocos volcánicos
----------------------	--

Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Beige	Sedoso	Redondeado	Moderada	Anf, px, plg	-	-	-	56

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	5%
Cuarzo	Incoloro	Cristalina	Vitreo	-	Concoinde	-	-	<1%

Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Obsidiana	Negro	Irregular	Vitreo	-	-	--	-	2%

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Angular	-	-	-	-	-	20%
Partículas oxidadas	Anaranjadas a rojas	Subangular	-	-	-	-	-	<1%
Denso 2	Gris	Angular	-	-	-	-	-	15%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica.	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	---	------------------------------------

Posible Fuente	Chalupas
-----------------------	----------

Lugar	Noroeste de la Quebrada Alopungo
Muestra	CA-23
UTM	9904188 / 768282
Muestra Color	Rosado

Muestra pura:	Muestra tamaño de arena fina con abundantes fragmentos de pómez y pocos líticos volcánicos
----------------------	--



Pómez disgregada								
Color	Brillo	Forma	Vesicularidad	Minerales	Estructuras	CaCO3	Otros	%
Rosado	Sedoso	Redondeado	Baja	Px, plg, bt	-	-	-	60

Mineral	Color	Forma cristalina	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Alteración	Otros	%
Magnetita	Negro	-	Vitreo	-	-	-	Fuertemente magnético	3%
Cuarzo	Incoloro	Cristalina	Vitreo	-	Concoinde	-	-	<1%


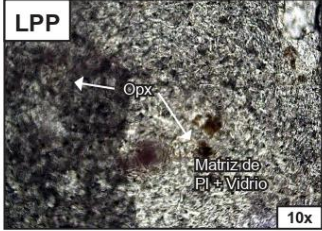
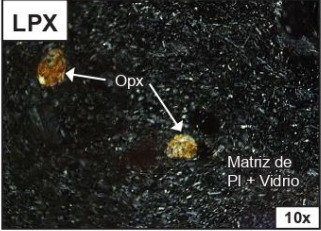
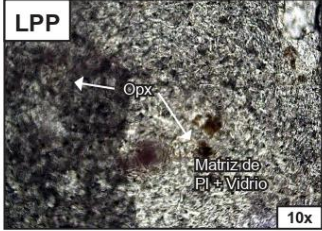
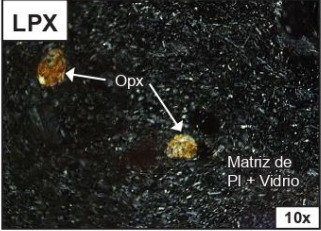
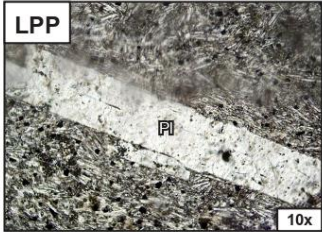
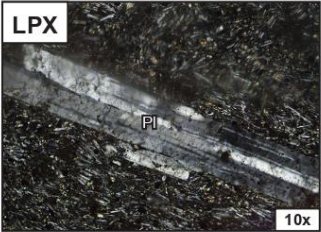
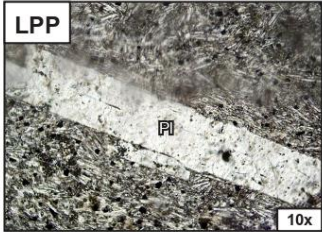
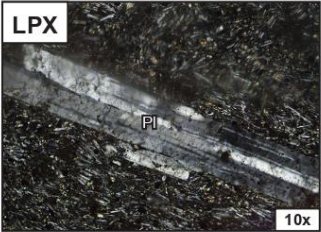
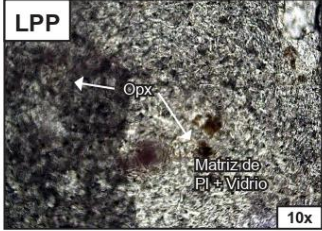
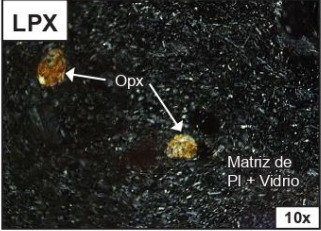
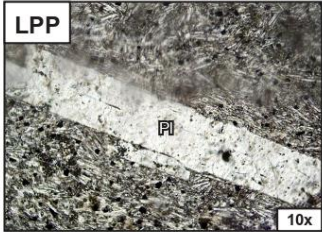
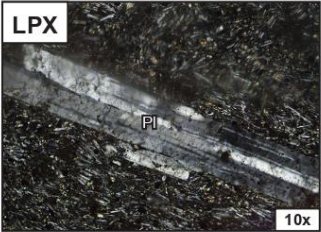
Vidrio	Color	Forma	Brillo	Inclusiones	Fracturamiento	Otros	Estructuras	%
Shards	Incoloro	Irregular	Vitreo	-	-	--	-	<1%

Líticos	Color	Forma	Vesicularidad	Fracturamiento	Alteración	Otros	CaCO3	%
Denso 1	Negro	Angular	-	-	-	-	-	32%
Denso 2	Gris	Angular	-	-	-	-	-	3%

Otros:	Presenta pocos líticos de una posible composición andesítica.	Presencia de magnetita en líticos.
---------------	---	------------------------------------

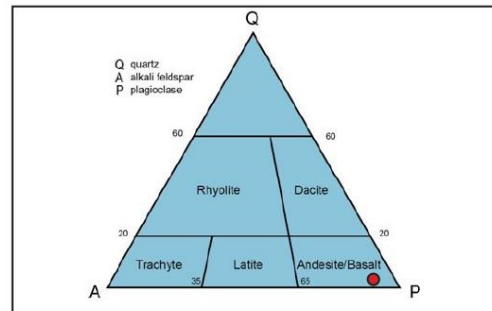
Posible Fuente	Chalupas
-----------------------	----------

ANEXO IV. FICHAS PETRGRÁFICAS

CÓDIGO: CA-26	UTM: 775886 / 9902716	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Elaborado por: Daniel Sebastián Viteri Mena Diego Mauricio Castro Villacis																																												
Color: Gris		MUESTRA DE MANO 																																												
Textura: Afanítica																																														
Estructura: Masiva																																														
Magnetismo: Leve																																														
Observación: Se puede observar como lenguas que indican la dirección del flujo																																														
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Mineral: Plagioclasa</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">%</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">65</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA PLANA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Color: Incoloro</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Pleocroísmo: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Relieve: Bajo</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Forma: Subhedral - Euhedral</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA ANALIZADA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Color de interferencia: 1er orden</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Birrefringencia: Muy baja</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Maclas/zonación: Carlsbad / Polisintética</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Ángulo de extinción: 35° - 45°</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Clivaje: Perfecto</td> </tr> </table>	Mineral: Plagioclasa	%	65	LUZ POLARIZADA PLANA			Color: Incoloro			Pleocroísmo: NP			Relieve: Bajo			Forma: Subhedral - Euhedral			LUZ POLARIZADA ANALIZADA			Color de interferencia: 1er orden			Birrefringencia: Muy baja			Maclas/zonación: Carlsbad / Polisintética			Ángulo de extinción: 35° - 45°			Clivaje: Perfecto			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">LPP</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">LPX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	LPP	LPX			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">LPP</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">LPX</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	LPP	LPX		
Mineral: Plagioclasa	%	65																																												
LUZ POLARIZADA PLANA																																														
Color: Incoloro																																														
Pleocroísmo: NP																																														
Relieve: Bajo																																														
Forma: Subhedral - Euhedral																																														
LUZ POLARIZADA ANALIZADA																																														
Color de interferencia: 1er orden																																														
Birrefringencia: Muy baja																																														
Maclas/zonación: Carlsbad / Polisintética																																														
Ángulo de extinción: 35° - 45°																																														
Clivaje: Perfecto																																														
LPP	LPX																																													
																																														
LPP	LPX																																													
																																														
Observación: Se encuentran como fenocristales y microcristales conformando la matriz.																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Mineral: Ortopiroxeno</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">%</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA PLANA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Color: Incoloro</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Pleocroísmo: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Relieve: Alto</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Forma: Subhedral - Euhedral</td> </tr> </table>	Mineral: Ortopiroxeno	%	10	LUZ POLARIZADA PLANA			Color: Incoloro			Pleocroísmo: NP			Relieve: Alto			Forma: Subhedral - Euhedral			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA ANALIZADA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Color de interferencia: 2do orden</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Birrefringencia: Alta</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Maclas/zonación: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ángulo de extinción: 45°</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Clivaje: Si (ortogonal)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observación:</td> </tr> </table>		LUZ POLARIZADA ANALIZADA		Color de interferencia: 2do orden		Birrefringencia: Alta		Maclas/zonación: NP		Ángulo de extinción: 45°		Clivaje: Si (ortogonal)		Observación:													
Mineral: Ortopiroxeno	%	10																																												
LUZ POLARIZADA PLANA																																														
Color: Incoloro																																														
Pleocroísmo: NP																																														
Relieve: Alto																																														
Forma: Subhedral - Euhedral																																														
LUZ POLARIZADA ANALIZADA																																														
Color de interferencia: 2do orden																																														
Birrefringencia: Alta																																														
Maclas/zonación: NP																																														
Ángulo de extinción: 45°																																														
Clivaje: Si (ortogonal)																																														
Observación:																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Mineral: Vidrio</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">%</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">20</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA PLANA</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Color: Negro</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Pleocroísmo: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Relieve: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Forma: NP</td> </tr> </table>	Mineral: Vidrio	%	20	LUZ POLARIZADA PLANA			Color: Negro			Pleocroísmo: NP			Relieve: NP			Forma: NP			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">LUZ POLARIZADA ANALIZADA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Color de interferencia: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Birrefringencia: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Maclas/zonación: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ángulo de extinción: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Clivaje: NP</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observación:</td> </tr> </table>		LUZ POLARIZADA ANALIZADA		Color de interferencia: NP		Birrefringencia: NP		Maclas/zonación: NP		Ángulo de extinción: NP		Clivaje: NP		Observación:													
Mineral: Vidrio	%	20																																												
LUZ POLARIZADA PLANA																																														
Color: Negro																																														
Pleocroísmo: NP																																														
Relieve: NP																																														
Forma: NP																																														
LUZ POLARIZADA ANALIZADA																																														
Color de interferencia: NP																																														
Birrefringencia: NP																																														
Maclas/zonación: NP																																														
Ángulo de extinción: NP																																														
Clivaje: NP																																														
Observación:																																														

Mineral: Óxidos	% 5	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA		Color de interferencia: NP
Color: Negro	Birrefringencia: NP	
Pleocroísmo: NP	Maclas/zonación: NP	
Relieve: NP	Angulo de extinción: NP	
Forma: NP	Clivaje: NP	
Observación:		

Matriz: Vidrio y microcristales de plagioclasa
Alteración:
Nombre de la roca: Andesita



Tomado de: Winter, 2001

CÓDIGO: CA-37 B	UTM: 773723 / 9898452
Color: Café claro	
Textura: Clástica	
Estructura: Masiva	
Componentes: Fragmentos de rocas y matriz	
Sorteo: Moderadamente sorteado	
Matriz-soportado / Clasto-soportado: Matriz-soportado	
Observación: Se pueden observar clastos subredondeados a redondeados, en donde se pueden distinguir fragmentos de escorias, estos son los fragmentos con mayor tamaño. Los tamaños de los clastos van desde 1 mm hasta 17 mm.	

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Elaborado por:
Daniel Sebastián Viteri Mena
Diego Mauricio Castro Villacis



DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Plagioclasa	%	5	LPP Fragmento de roca ígnea Matriz 10x	LPX Fragmento de roca ígnea Matriz 10x		
LUZ POLARIZADA PLANA						
Color: Incoloro				LPP Matriz Amp Fragmento de roca ígnea 10x	LPX Matriz Amp Fragmento de roca ígnea 10x	
Pleocroísmo: NP						
Relieve: Bajo				Observación:		
Forma: Subhedral - Euhedral						
LUZ POLARIZADA ANALIZADA						
Color de interferencia: 1er Orden						
Birrefringencia: Baja						
Maclas/zonación: Carlsbad, polisintética						
Ángulo de extinción: Oblicua						
Clivaje: NP						

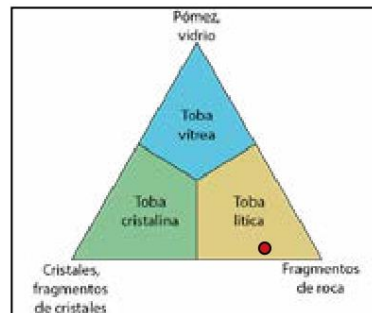
Mineral: Piroxeno	%	3	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: 2do Orden	
Color: Incoloro				Birrefringencia: Alta
Pleocroísmo: NP				Maclas/zonación: NP
Relieve: Alto				Ángulo de extinción: 45°
Forma: Anhedral - Subhedral				Clivaje: Si (ortogonal)
Observación:				


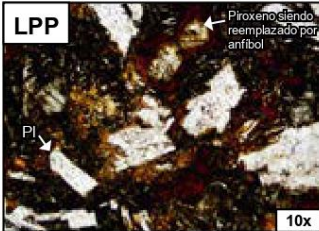
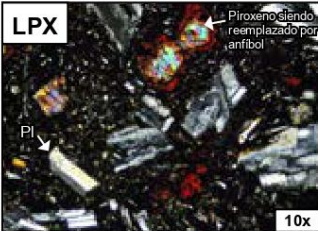
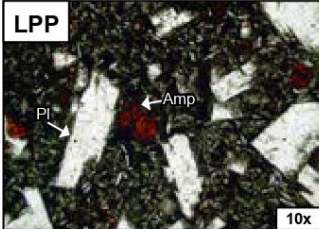
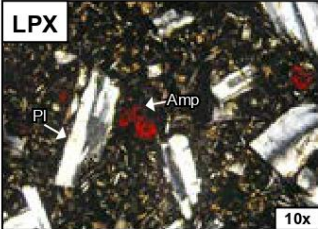
Mineral: Opacos	%	2	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP	
Color: Negro				Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP				Maclas/zonación: NP
Relieve: NP				Ángulo de extinción: NP
Forma: NP				Clivaje: NP
Observación: Isótopos posiblemente magnetita				

Mineral: Anfíbol	%	5	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: 3er Orden
Color: Rojo	Birrefringencia: Alta		
Pleocroísmo: Moderado	Maclas/zonación: NP		
Relieve: Alto	Angulo de extinción: Recta		
Forma: Subhedral - Euhedral	Clivaje: 120°		
Observación: Presentan zonas de alteración posiblemente a biotita.			

Fragmentos de roca	25 %
Rocas sedimentarias: No presenta.	
Observaciones:	
Rocas ígneas: Si	
Observaciones: Presenta clastos subredondeados a redondeados, donde se logra diferenciar líticos de escorias y rocas con texturas porfíricas con matriz con microcristales de plagioclasa y vidrio y se distinguen fenocristales de anfíbol y plagioclasas.	
Rocas metamórficas:	
Observaciones:	
Matriz	60 %
Observaciones:	

Nombre de la roca:
Toba lítica

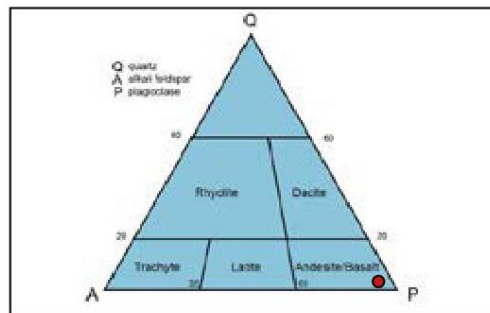


CÓDIGO: CA-37 A		UTM: 773723 / 9898452		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
Color: Negro				Elaborado por: Daniel Sebastián Viteri Mena Diego Mauricio Castro Villacis	
Textura: Afánítica				MUESTRA DE MANO	
Estructura: Vesicular					
Magnetismo: Si					
Observación: La roca presenta una gran cantidad de vesículas de hasta 3 cm de diámetro.					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Mineral: Plagioclasa		%	40		
LUZ POLARIZADA PLANA				LPP	
Color: Incoloro					
Pleocroísmo: NP				LPX	
Relieve: Bajo					
Forma: Subhedral - Anhedral				LPP	
LUZ POLARIZADA ANALIZADA					
Color de interferencia: 1er orden				LPX	
Birrefringencia: Muy baja					
Maclas/zonación: Polisintética					
Ángulo de extinción: Oblicuo					
Clivaje: NP					
Observación:					
Mineral: Piroxeno		%	15	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA				Color de interferencia: 2do orden	
Color: Incoloro				Birrefringencia: Alta	
Pleocroísmo: NP				Maclas/zonación: NP	
Relieve: Alto				Ángulo de extinción: Oblicuo - Recto	
Forma: Subhedral - Euhedral				Clivaje: Si (ortogonal)	
Observación: Se observan características de ortopiroxenos y clinopiroxenos. Los clinopiroxenos se están reemplazando a anfíboles					
Mineral: Anfíbol		%	25	LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA				Color de interferencia: 3er Orden	
Color: Rojo				Birrefringencia: Alta	
Pleocroísmo: NP				Maclas/zonación: NP	
Relieve: Alto				Ángulo de extinción: Recta	
Forma: Subhedral - Euhedral				Clivaje: No distinguible	
Observación: Reemplazando en los bordes de los piroxenos.					


Vidrio	%	10	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color:			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: NP			Clivaje: NP
Observación:			

Mineral: Óxido	%	10	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color: Negro			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: NP			Clivaje: NP
Observación:			

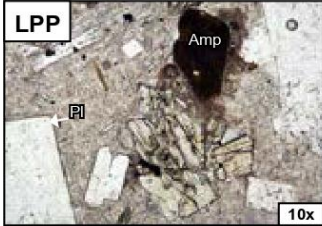
Matriz: Vidrio
Alteración:
Nombre de la roca: Andesita



Tomado de: Winter, 2001

CÓDIGO: CA-49 A	UTM: 757375 / 9924082	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Elaborado por: Daniel Sebastián Viteri Mena Diego Mauricio Castro Villacís
Color: Blanco grisáceo		
Textura: Porfírtica		
Estructura: Masiva		
Magnetismo: Leve		
Observación:		
		MUESTRA DE MANO 

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Plagioclasa % 35 LUZ POLARIZADA PLANA Color: Incoloro Pleocroísmo: NP Relieve: Bajo Forma: Subhedral - Euhedral LUZ POLARIZADA ANALIZADA Color de interferencia: 1er orden Birrefringencia: Muy baja Maclas/zonación: Carlsbad-Polisintética / Zonados Ángulo de extinción: 35° - 45° Clivaje: Perfecto	LPP 	LPX 
	LPP 	LPX 
Observación: Se encuentran como fenocristales y microcristales conformando la matriz.		

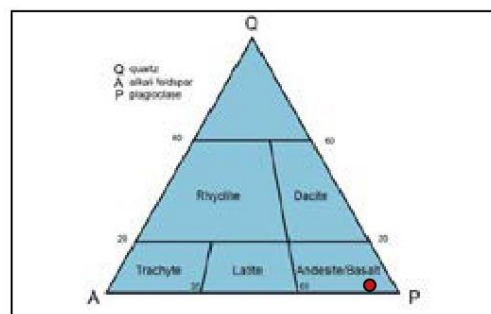
Mineral: Ortopyroxeno % 20 LUZ POLARIZADA PLANA Color: Incoloro a verdoso Pleocroísmo: NP Relieve: Alto Forma: Subhedral - Euhedral	LUZ POLARIZADA ANALIZADA Color de interferencia: 2do orden Birrefringencia: Alta Maclas/zonación: NP Ángulo de extinción: 45° Clivaje: Si (ortogonal)
Observación:	

Mineral: Anfíbol % 25 LUZ POLARIZADA PLANA Color: Rojizo Pleocroísmo: Bajo Relieve: Moderado Forma: Subhedral	LUZ POLARIZADA ANALIZADA Color de interferencia: 2do Orden Birrefringencia: Media Maclas/zonación: NP Ángulo de extinción: Oblicuo Clivaje: 120°
Observación:	


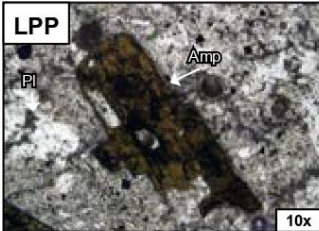
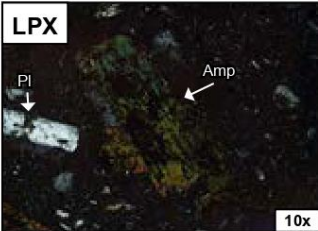
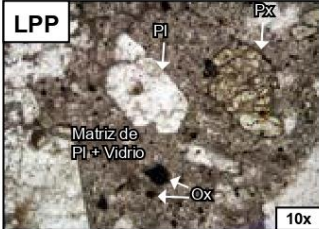

Vidrio	%	15	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color: Negro			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: NP			Clivaje: NP
Observación:			

Mineral: Óxidos	%	5	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color: Negro			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: NP			Clivaje: NP
Observación:			

Matriz: Vidrio
Alteración:
Nombre de la roca: Andesita



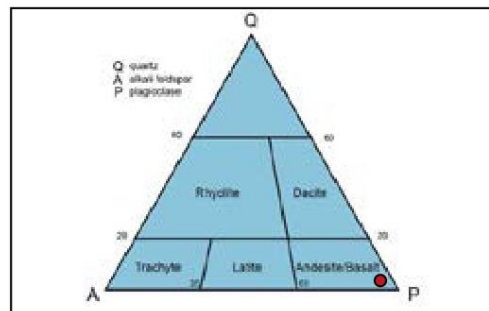
Tomado de: Winter, 2001

CÓDIGO: CA-49 B		UTM: 757375 / 9924082		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
				Elaborado por: Daniel Sebastián Viteri Mena Diego Mauricio Castro Villacis	
Color: Blanca grisácea				MUESTRA DE MANO 	
Textura: Porfirítica					
Estructura: Masiva					
Magnetismo: Si					
Observación:					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
Mineral: Plagioclasa		% 45			
LUZ POLARIZADA PLANA					
Color: Incoloro					
Pleocroísmo: NP					
Relieve: Bajo					
Forma: Subhedrales - Euhedrales					
LUZ POLARIZADA ANALIZADA					
Color de interferencia: 1er orden					
Birrefringencia: Muy baja					
Maclas/zonación: Carlsbad / Polisintética					
Ángulo de extinción: 35° - 45°					
Clivaje: Perfecto					
Observación: Se encuentran como fenocristales y microcristales conformando la matriz.					
				LPP 	
				LPX 	
				LPP 	
				LPX 	
Mineral: Anfíbol		% 15		LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA				Color de interferencia: 2do orden	
Color: Verdoso				Birrefringencia: Alta	
Pleocroísmo: Moderado				Maclas/zonación: NP	
Relieve: Alto				Ángulo de extinción: Recta	
Forma: Subhedrales - Euhedrales				Clivaje: 120°	
Observación:					
Mineral: Piroxeno		% 15		LUZ POLARIZADA ANALIZADA	
LUZ POLARIZADA PLANA				Color de interferencia: 2do Orden	
Color: Incoloro				Birrefringencia: Alta	
Pleocroísmo: NP				Maclas/zonación: NP	
Relieve: Moderado				Ángulo de extinción: Oblicuo - Recto	
Forma: Subhedrales				Clivaje: Si (ortogonal)	
Observación:					


Mineral: Vidrio	%	20	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color: Negro			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: NP			Clivaje: NP
Observación:			

Mineral: Óxidos	%	5	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: NP
Color: Negro			Birrefringencia: NP
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: NP			Angulo de extinción: NP
Forma: Subhedrales			Clivaje: NP
Observación:			

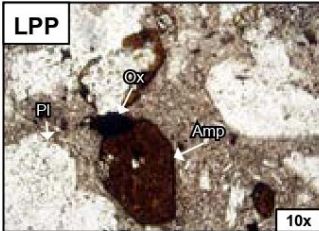
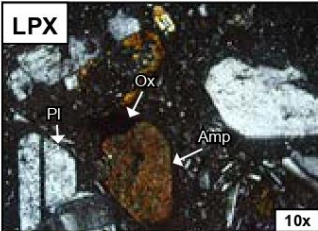
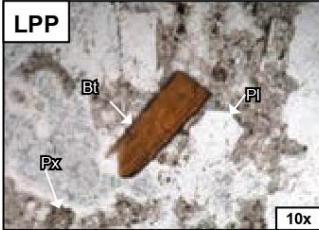
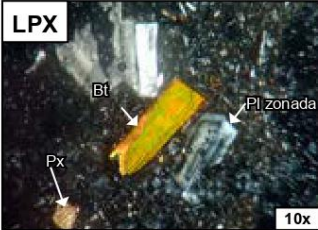
Matriz: Vidrio y microcristales de plagioclasa
Alteración:
Nombre de la roca: Andesita



Tomado de: Winter, 2001

CÓDIGO: CA-49 C	UTM: 757375 / 9924082	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL Elaborado por: Daniel Sebastián Viteri Mena Diego Mauricio Castro Villacis
Color: Gris		
Textura: Poefirítica		
Estructura: Masiva		
Magnetismo: Leve		
Observación:		
		MUESTRA DE MANO 

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Mineral: Plagioclasa	%	40	LPP 	LPX 
LUZ POLARIZADA PLANA				
Color: Incoloro			LPP 	LPX 
Pleocroísmo: NP				
Relieve: Bajo			Observación:	
Forma: Subhedral - Anhedral				
LUZ POLARIZADA ANALIZADA				
Color de interferencia: 1er orden				
Birrefringencia: Muy baja				
Maclas/zonación: Carlsbad - Zonados				
Ángulo de extinción: Oblicuo				
Clivaje: NP				

Mineral: Piroxeno	%	20	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: 3er Orden
Color: Incoloro			Birrefringencia: Alta
Pleocroísmo: NP			Maclas/zonación: NP
Relieve: Alto			Ángulo de extinción: Recta
Forma: Subhedral - Euhedral			Clivaje: Si (ortogonal)
Observación:			

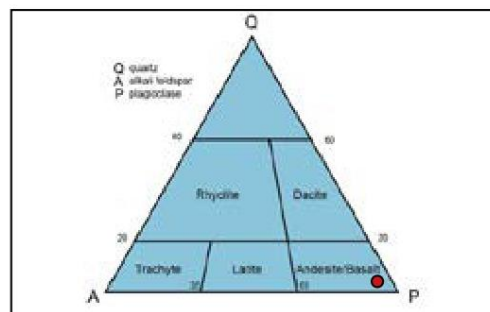
Mineral: Anfíbol	%	25	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA			Color de interferencia: 3er Orden
Color: Rojo			Birrefringencia: Alta
Pleocroísmo: Moderado			Maclas/zonación: NP
Relieve: Alto			Ángulo de extinción: Recta
Forma: Subhedral - Euhedral			Clivaje: 120°
Observación: Presentan zonas de alteración posiblemente a biotita.			

Mineral: Biotita	% 8	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA		Color de interferencia: 3er Orden
Color: Marrón	Birrefringencia: Alta	
Pleocroísmo: Alto	Maclas/zonación: NP	
Relieve: Alto	Angulo de extinción: Recta	
Forma: Subhedral - Euhedrales	Clivaje: Perfecta	
Observación:		

Mineral: Óxido	% 3	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA		Color de interferencia: NP
Color: Negro	Birrefringencia: NP	
Pleocroísmo: NP	Maclas/zonación: NP	
Relieve: NP	Angulo de extinción: NP	
Forma: NP	Clivaje: NP	
Observación:		

Mineral: Vidrio	% 5	LUZ POLARIZADA ANALIZADA
LUZ POLARIZADA PLANA		Color de interferencia: NP
Color: Negro	Birrefringencia: NP	
Pleocroísmo: NP	Maclas/zonación: NP	
Relieve: NP	Angulo de extinción: NP	
Forma: NP	Clivaje: NP	
Observación:		

Matriz: Vidrio y microcristales de plagioclasa
Alteración:
Nombre de la roca: Andesita



Tomado de: Winter, 2001