

**Caracterización morfológica y litoestratigráfica de la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu, oeste del volcán Antisana, Napo, Ecuador.**

**Morphological and lithostratigraphic characterization of the Upper sub-basin of the Jatunhuaycu river, in the west of Antisana volcano, Napo, Ecuador.**

**Fausto Carranco<sup>1</sup>, Christian Romero<sup>1</sup>, Roberto Pulupa<sup>1</sup>, Ana Gramal,<sup>1</sup> Silvia Toainga<sup>1</sup>, Israel Carranco<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito – Ecuador. E-mail: fausto.carranco@geoenergia.gob.ec, wladimir.romero@geoenergia.gob.ec, anibal.pulupa@geoenergia.gob.ec, ana.gramal@geoenergia.gob.ec, silvia.toainga@geoenergia.gob.ec.

<sup>2</sup> Escuela Politécnica Nacional (EPN). Quito – Ecuador. E-mail: isra\_carranco@hotmail.com

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 20-01-2022

Fecha de aceptación: 07-10-2022

**Resumen**

La caracterización morfológica y litoestratigráfica de la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu ubicada al oeste del volcán Antisana fue elaborada mediante la identificación, descripción e interpretación de los aspectos morfológicos, definidos de acuerdo a las características del relieve volcánico. En cuanto a la morfología se identificaron varias formas de relieve como circos glaciares, artesas, valles truncados, morrenas, *tills*, bloques erráticos, *drumlin*, coluviales, escarpes, planicies de inundación y arenales. En cuanto a la litología se describieron diez litofacies: Dos secuencias de flujos de lava diferenciadas por su composición mineralógica (1,2), depósitos laharíticos (3), depósitos glaciares antiguos (4), depósitos glaciares recientes (5), flujos piroclásticos (6), flujos de lodo (7), depósitos de pie de monte (8), depósitos de caída (9), y depósitos coluviales (10). Además, se identificaron tres sistemas de estructuras: 1) NE-SO correspondiente a un rumbo andino, 2) El strike de la Cordillera Real, marca una clara tendencia N-S de las estructuras presentes en la sub-cuenca, principalmente de fallamiento normal y 3) NO-SE; los cuales intervienen en la infiltración y circulación del agua (permeabilidad secundaria), a mayores profundidades, probablemente

disminuyendo significativamente la recarga hídrica de la sub-cuenca. La geología local y estructural de la zona de estudio se considera línea base para estudios más específicos.

**Palabras clave:** caracterización morfológica, Jatunhuaycu, unidades litológicas, volcán Antisana.

**Abstract**

The morphological and lithostratigraphic characterization of the Upper sub-basin of the Jatunhuaycu river located in the west of the Antisana volcano was developed through the identification, description, and interpretation of the morphological aspects, that were defined according to the volcanic relief characteristics. Regarding morphology, several landforms were identified, such as glacial cirques, troughs, truncated valleys, moraines, tills, erratic blocks, drumlin, colluvial, scarps, flood plains, and sandbanks. About lithology, ten lithofacies were described: Two lava flows sequences differentiated by their mineralogical composition (1,2), laharitic deposits (3), ancient glacial deposits (4), contemporary glacial deposits (5), pyroclastic flows (6), mudflows (7), foothill deposits (8), fall deposits (9), and colluvial deposits

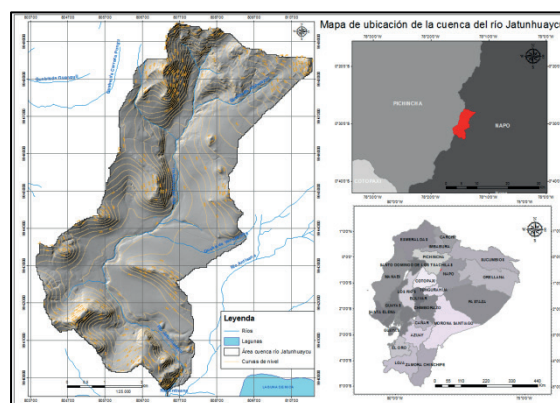
(10). In addition, three systems of geological structures were recognized that could be related to covered faults were identified. In addition, three structural systems were recognized: 1) NE-SW corresponding to Andean trending, 2) The Cordillera Real strike indicates a clear N-S trend of the structures present in the sub-basin, chiefly from normal faulting and 3) NW-SE; which intervene in the infiltration and circulation of water (secondary permeability), at greater depths, probably significantly reducing the water recharge of the sub-basin. The local and structural geology of the study area is considered a baseline for more specific studies.

**Keywords:** morphological characterization, Jatunhuaycu, lithological units and Antisana volcano.

## 1. Introducción

La subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana es responsable del principal volcanismo cuaternario en las tres distintas zonas a lo largo de los Andes: la Zona Volcánica Norte (ZVN), la Zona Volcánica Centro (ZVC) y la Zona Volcánica Sur (ZVS). Ecuador forma parte de la Zona Volcánica Norte localizada entre Colombia y Ecuador [1].

En la parte centro-norte de la región sierra del Ecuador predomina la actividad volcánica reciente, representada por varios centros volcánicos como el volcán Antisana (Fig. 1), el cual, se encuentra ubicado en la ZVN, en la Cordillera Real del Ecuador, a una latitud de 0°30'S [2]; en donde la cadena volcánica se vuelve más amplia con respecto al tren volcánico de la ZVC, permitiendo el desarrollo de un grupo de unidades hidrográficas, que forman parte de un importante sistema de recarga hídrica (páramo-andino), el cual alimenta la red fluvial amazónica [3]. Por otra parte, las características geográficas, morfológicas y geológicas, de las cercanías al volcán Antisana han contribuido a la génesis de distintos tipos de unidades litoestratigráficas y depósitos superficiales cuaternarios.



**Figura 1:** Ubicación de la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu.

Los estudios geológicos a distintos niveles de unidades hidrográficas, así como cuencas, sub-cuencas y micro-cuencas, y la relación geología estructural-agua dentro de estas unidades, son la línea base para otros estudios específicos de hidrografía e hidrogeología. Bajo este contexto y ante la necesidad de realizar estudios integrados para establecer el comportamiento de la hidrografía con la geología y las estructuras geológicas en las proximidades al volcán Antisana, la zona de estudio ha sido delimitada a unos 50 km al sureste de Quito en la “Reserva Ecológica Antisana”, límite entre las provincias de Pichincha y Napo, específicamente en el flanco oeste del volcán Antisana, con una extensión de 33,69 km<sup>2</sup>. La zona de estudio forma parte de la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu, que pertenece a su vez a la cuenca del río Napo, el cual es uno de los principales tributarios de los drenajes que van hacia la Cuenca Oriente (Fig. 1).

Con la finalidad de discriminar las unidades litoestratigráficas en la sub-cuenca del río Jatunhuaycu esta investigación presenta la caracterización litoestratigráfica y geomorfológica de los distintos tipos de depósitos superficiales cuaternarios, que se encuentran sobreyaciendo en gran parte a las rocas del basamento rocoso de las estribaciones de la Cordillera Real.

## 2. Metodología

La presente investigación desarrolla la identificación, descripción e interpretación de los aspectos morfológicos, definidos de acuerdo a las características de un relieve volcánico con zonas afectadas por el peso del glaciar y el desplazamiento de grandes bloques de roca compacta, dando lugar al desarrollo de circos, artesas, morrenas y flujos de escombros basales [4]. Así como también, relieves penneplanizados, *horns*,

valles truncados, morrenas terminales, morrenas laterales, *tills*, *drumlins*, bloques erráticos que son comunes en el relieve post-glaciar [3].

La identificación y descripción litológica se basa en el criterio de [5], que considera el término facie como un cuerpo de roca caracterizado por una particular combinación de litologías, estructuras físicas y biológicas que confieren un aspecto diferente a los cuerpos de las rocas adyacentes. Esta investigación recolecta información de una serie de afloramientos de rocas volcánicas y depósitos glaciares presentes en la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu, enfocada en las características petrográficas y aspectos geomorfológicos.

### 3. Resultados

#### 3.1. Geomorfología

A partir del análisis e interpretación de imágenes satelitales, Modelos Digitales del Terreno (MDT) y observaciones de campo, se identificaron las siguientes formas de relieve (*landforms*) en la zona de estudio:

##### 3.1.1 Circo glaciar

En la parte norte de la sub-cuenca se encuentran remanentes mayores de antiguos circos glaciares, se caracterizan por presentar formas cóncavas, con acumulación de sedimentos y enmarcados por paredes verticalizadas de roca afectada por procesos de meteorización (Fig. 2). [6] afirma que se adaptan a estructuras tectónicas anteriores al periodo de glaciación, que se encuentran bordeados por morrenas tanto laterales como terminales.

##### 3.1.2 Artesa

Al norte de la sub-cuenca del río Jatunhuaycu, en el cerro de Cuscungo menor, Atueloma y en el filo de Yanallpa, se observan crestas agudas de forma sinuosa que se han formado por la erosión glaciar. Actualmente son afectadas por procesos gravitacionales que facilitan la generación de coluviales. En el cerro de Cuscungo mayor, se observa un *horns* que corresponde a una cima de forma piramidal, remanente de la erosión de tres o más glaciares (Fig. 2).

##### 3.1.3 Valle truncado

En la parte centro y norte de la zona de estudio, se encuentra una depresión de fondo redondeado y paredes verticales formados por la acción erosiva de un glaciar. La característica

principal es que su morfología corresponde a una “U”, claramente distinta de los valles fluviales de morfología en “V” (Fig. 2).

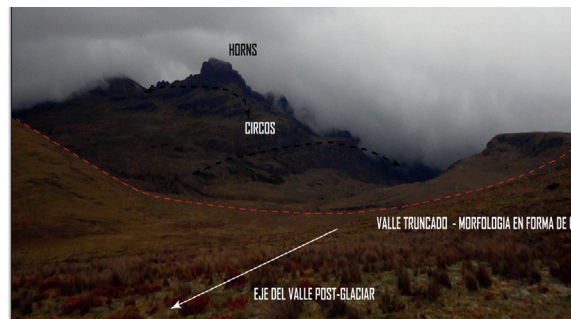


Figura 2: Morfología periglacial presente en la parte norte de la zona de estudio.

##### 3.1.4 Morrena

En la parte media y sur de la sub-cuenca se identificaron depósitos de morfología convexa, elongada y discontinua, acumulaciones de detritos y bloques angulares a sub-redondeados que corresponde al producto del desgaste, la erosión y transporte de un glaciar.

##### 3.1.5 Till

Implica un término genético más no descriptivo. En la parte central de la sub-cuenca se encuentran relictos de material dejado directamente por el glaciar, la característica determinante es el mal sorteo, depósitos heterométricos, cantos pulidos y partículas tamaño arena; normalmente corresponden a un desgaste posterior dentro de un ecosistema post-glaciar, estas morfologías evolucionan a grandes arenas.

##### 3.1.6 Bloques erráticos

Bloques de roca que están distribuidos caóticamente en la sub-cuenca del río Jatunhuaycu,



Figura 3: Bloques erráticos de tamaño métrico distribuidos en la sub-cuenca del río Jatunhuaycu.

### 3.1.7 Drumlin

Distribuidos en varios sectores de la zona de estudio con pendientes abruptas a fuertes, donde se observan acumulaciones asimétricas de detritos dejados por el glacial y orientados de manera paralela al movimiento del glaciar Figs. 4A y 4B. Pueden estar formados solo por material análogo al de los *tills* o bien tener un núcleo rocoso más o menos recubierto por los depósitos de caída. Estas formas coinciden con la dirección del crecimiento glacial (Relieve post-glacial), con bloques erráticos en el frente (Fig. 4).

### 3.1.8 Coluvial

En la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu se reconocieron dos tipos de coluviales: **a)** Coluviales antiguos asociados a glaciares anteriores que afectaron la sub-cuenca y desprendieron segmentos métricos de roca andesítica, en estos bloques no se observan trazas de transporte y fueron consolidados como depósitos de pie de monte. **b)** Coluviales contemporáneos que corresponden a masas de tierra que se mueven por reptación sobre pendientes mayores a 15° (Figs. 4A y 4C).

### 3.1.9 Escarpe

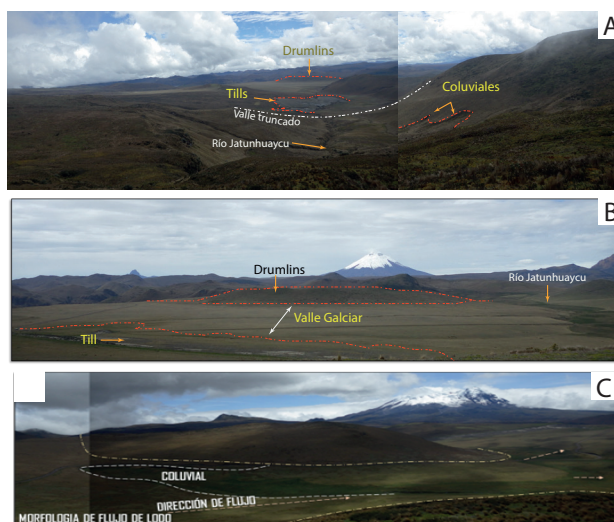
Los escarpes están relacionados a los circos glaciares y artesas, caracterizados por generar pendientes abruptas donde la acción de la gravedad y la intemperie forman paredes verticales de roca competente (Fig. 4B).

### 3.1.10 Planicie de inundación

Depósitos de caída desarrollados sobre las planicies de los valles truncados (Fig.4B). Su evolución está completamente limitada a periodos estacionales, en los cuales, existen altos niveles de precipitación que afectan a la sub-cuenca [7].

### 3.1.11 Arenal

Depósitos de material tamaño de arena, desarrollados en las inmediaciones de los circos glaciares y artesas, se compone de material detrítico erosionado por la intemperie (Figs. 4A y 4B). Se caracteriza por presentar partículas sub-angulares de grano medio a fino que se adaptan a la pendiente del terreno [4].



**Figura 4:** Geomorfología. **a)** Drumlins y coluviales contemporáneos distribuidos en la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu. **b)** Escarpes relacionados a los circos glaciares y artesas; planicie de inundación donde se observan arenas. **c)** Morfología de flujo de lodo afectado por un coluvial reciente

## 3.2. Litoestratigrafía (Litofacies)

### 3.2.1 Lava andesítica ( $L^A$ )

Conforma el basamento volcánico de la zona de estudio; aflora principalmente al norte en la loma San Agustín Jucho y al oeste en los cerros Cuscungo, Atueloma, Filo de Yanallpa y Loma Callejones. Como se observa en la Fig. 5, en esta unidad litológica se agrupan flujos de lavas de composición andesítica, de textura porfirítica y estructura masiva. Constituidas por una matriz de plagioclasa y vidrio volcánico, que contiene fenocristales euhedrales a subhedrales de hasta 7mm de longitud; de plagioclasa, hornblenda, piroxeno y magnetita.



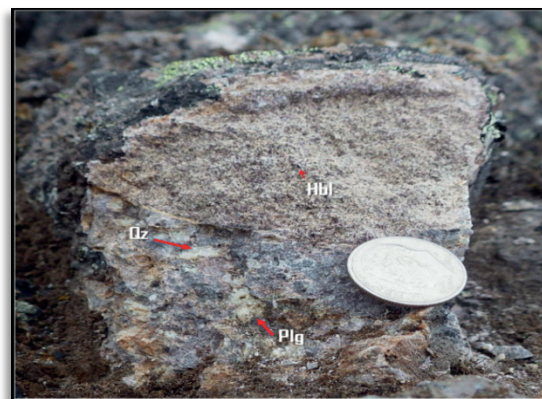
**Figura 5:** Litofacilidad: lava andesítica con diaclasamiento en las lavas.

En el cerro Cuscungo se observan rocas con un diaclasamiento (N12°E), formando lavas; de color gris a gris oscuro con pátinas color naranja debido a la presencia de jarosita, hematita y goethita, producto de la meteorización. Algunos afloramientos en el flanco sur del cerro Yanallpa y al oeste del cerro Cuscungo presentan alteración silícica de leve a moderada, específicamente en las coordenadas UTM WGS84: 807 924 E; 9 948 930 N. En función de la distribución espacial de las lavas y de su litología, estas pueden ser asociadas a la parte media de la secuencia Tablones descrita tanto por [8], como por [2].

### 3.2.2 Lava dacítica ( $L^D$ )

Se encuentra restringida al noroeste de la zona de estudio, al cerro Cuscungo; su contacto inferior es observado en campo, sin embargo, depósitos de caída, morrenas contemporáneas y coluviales sobreyacen en inconformidad a esta litología. Como se puede observar en la Fig. 6, esta litofacilidad consiste en flujos de lava de composición dacítica con xenolitos de composición andesítica, presenta textura porfírica; estructura masiva. La matriz está conformada por plagioclasa y vidrio volcánico, que contiene cristales de plagioclasa, cuarzo y hornblenda; estos son euhedrales a subhedrales, con tamaños máximos de hasta 8mm.

Esta litofacilidad puede ser asociada al final de la secuencia Tablones según [8]. Por la disposición espacial de la secuencia, esta también podría ser asociada a flujos de lava, contemporáneos con depósitos glaciares y sedimentos volcanoclásticos, procedentes de la actividad holocénica del volcán Antisana, secuencia nombrada como flujos de Santa Lucía por [2].



**Figura 6:** Litofacilidad: Lava dacítica con xenolitos de composición andesítica.

### 3.2.3 Depósito Laharítico ( $Q^{Lh}$ )

Como se observa en el mapa litológico (Fig. 16), los depósitos de lahar se localizan al noreste de la zona de estudio, sobreyaciendo en inconformidad a flujos de lava andesítica ( $L^A$ ) y subyace a flujos piroclásticos ( $Q^{FP}$ ), depósitos de caída ( $Q^{VC}$ ) y depósitos glaciares ( $D^{G2}$ ). Generalmente, los lahares están confinados en valles y drenajes, desplazando grandes volúmenes de sedimentos mezclados en un medio acuoso que van erosionando el lecho del cauce durante su trayectoria; dando como resultado formas de canales cóncavos, en las cuales se observa una superficie de erosión basal, sobre la cual se desarrolla una secuencia de niveles grano creciente.

En la Fig. 7, se observa la superficie de erosión basal y una secuencia grano creciente (triángulo degradado en gamas amarillas). Los depósitos observados están conformados por clastos y bloques, sub-angulares a sub-redondeados, de composición andesítica y dacítica, incluyendo fragmentos de tobas y pómez (polimíctico y matriz soportado); se identifica estratificación con gradación inversa en la zona de alta viscosidad, afectando a partículas desde tamaño arena a bloques; al tiempo que se identifica sobre la superficie de erosión basal (SEB) el desarrollo de estructuras de tracción unidireccional (ETU) como son: laminación paralela, laminación cruzada en clastos de pómez y arenisca volcánica, laminación homogénea en partículas tamaño arcilla formando la zona basal volcánica (ZBV). Con respecto a la matriz del depósito es limo-arcillosa (matriz soportado), varía de color gris a café claro, y se observa porosidad de grado bajo a medio.

[2] describen secuencias de lahares, flujos piroclásticos, depósitos de caída asociados al final de la secuencia de Santa Lucía en el flanco suroeste

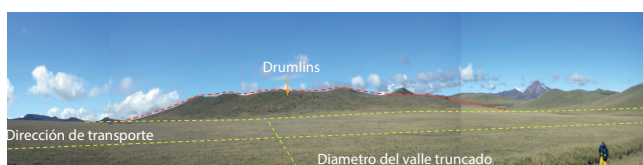
del Volcán Antisana. Mientras que, [9] asocian estos flujos a depósitos fluvio-glaciares más recientes.



**Figura 7:** Litofacia: Depósito de Lahar. Depósito lahárnico grano creciente entre dos depósitos de toba. Coordenadas UTM WGS84: 810 248 E; 9 948 047 N.

### 3.2.4 Depósitos Glaciares Antiguos ( $D^{G1}$ )

Se observan morfologías remanentes de antiguos circos, artesas y morrenas glaciares dispersas en toda la zona de estudio; también se observan morfologías glaciares en construcción contemporánea. Los depósitos de antiguas morrenas glaciares se desarrollan en lavas andesíticas ( $L^A$ ) y dacíticas ( $L^D$ ), cubiertas en concordancia (al S, cercanías a la laguna Micacocha) por flujos de lodo ( $Q^{Fl}$ ) y en inconformidad (al N, sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu) por depósitos de caída ( $D^C$ ); las de mayor extensión se observan al este (Cotoloma) y sureste (loma Mangourcu, Fig. 8).



**Figura 8:** Morrena lateral – Drumlins (loma Margourcu).

Antiguas morrenas glaciares se estructuran de bloques erráticos, de tamaño métrico, sub-angulares de composición andesítica y dacítica, los bloques erráticos presentan estrías glaciares que indican la dirección de su desplazamiento, estos se encuentran englobados en una matriz limo-arcillosa (Fig. 9).



**Figura 9:** Bloques erráticos con estrías glaciares. Coordenadas UTM WGS84: 808 744 E; 9 943 760 N.

### 3.2.5 Depósitos Glaciares Recientes ( $D^{G2}$ )

Son constituyentes dinámicos, es decir, que están en construcción, caracterizados por relieves post-glaciares, con morfologías de artesas, cimas y valles truncados; observadas al noreste de la zona de estudio, en la loma de Cotoloma y al oeste de Longourco, sobreyaciendo en disconformidad a lavas andesíticas ( $L^A$ ), y actualmente siendo erosionadas por procesos de intemperismo y gravitacionales (Fig. 10). Se describen bloques de tamaños centimétricos y métricos englobados en una matriz limo-arcillosa, con presencia de materia orgánica. Los clastos incluyen rocas andesíticas y dacíticas, fragmentos angulares de escoria compactada, brechas volcánicas matriz soportada (Fig. 10).



**Figura 10:** Depósitos de glaciares recientes. Brecha matriz soportada, clastos angulares de composición andesítica y dacítica, englobados en una matriz limo-arcillosa.

### 3.2.6 Flujo piroclástico ( $Q^{Fp}$ )

Se lo observa al extremo noreste de la zona de estudio (Fig. 16), sobreyaciendo en inconformidad a flujos de lava andesítica y cubierto por secuencias métricas de depósitos de caída.

Las rocas son de composición andesítica; de la base al tope consiste de una toba compactada, luego una toba soldada en una matriz escorácea, una brecha

piroclástica y finalmente pómez. La brecha piroclástica presenta textura eutaxítica (dirección SO del flujo en la textura de la roca; Fig. 11).



Figura 11: Brecha piroclástica. Coordenadas UTM WGS84: 808 549E; 9 948 765N.

### 3.2.7 Flujo de lodo ( $Q^{Fl}$ )

Se presenta al sur de la zona de estudio donde la morfología ha sido suavizada (márgenes del río Jatunhuaycu bajo y el valle formado entre la loma Callejones y el Filo de Yanallpa; Fig. 4C). Consiste de material limo-arcilloso con clastos de rocas volcánicas, transportado por acción del agua y la pendiente.

### 3.2.8 Depósito de pie de monte ( $Q^{PM}$ )

Son depósitos que carecen de dinámica, es decir, se encuentran completamente consolidados, los cuales, se observan al norte de la zona de estudio en conformidad sobre la lava andesítica ( $L^A$ ). Consiste de bloques andesíticos de dimensiones métricas, acumulados al pie de las elevaciones, provenientes de la parte superior de las mismas. Carecen de matriz y su morfología es angular, lo que indica que estos bloques no han sido transportados, el mecanismo de cinemática en su origen fue la gravedad.

### 3.2.9 Depósito de caída ( $Q^{CV}$ )

Se encuentran cubriendo toda la zona de estudio de forma periclinal. Cubren a depósitos de lava andesítica ( $L^A$ ), lava dacítica ( $L^D$ ), depósitos glaciares antiguos y contemporáneos ( $D^{G1-2}$ ), depósitos de pie de monte ( $Q^{PM}$ ) en inconformidad y descansan en concordancia sobre flujos de lodo ( $Q^{Fl}$ ). La parte superior de los depósitos se ha meteorizado hasta convertirse en suelo, que a su vez es afectado por procesos de intemperismo y gravitacionales, formando coluviales ( $Q^C$ ), (Fig.

12).



Figura 12: Inconformidad entre depósitos de caída y paleosuelos y bloques erráticos.

Los depósitos de mayor potencia se localizan al centro del área estudiada alcanzando un espesor de hasta 10 m, en los cuales, las capas están dispuestas de manera sub-horizontal y consisten de secuencias decimétricas a métricas de intercalaciones de estratos de cenizas, lapilli y paleosuelos. Entre la secuencia se observan depósitos tipo *surge* y desfases basales de pequeño espesor (<50 cm).



Figura 13: Secuencia de depósitos de caída. Sub-cuenca baja del río Jatunhuaycu.

Las cenizas varían de color gris a café claro, presentan estructuras de carga, estructuras de socavación y relleno, contienen líticos angulosos a sub-angulosos de andesitas y pómez de diámetro menor a 1 cm. El lapilli consiste de clastos sub-angulosos de pómez con gradación inversa de tamaño menor a 2 cm. Los depósitos de *surge* se desarrollan en inconformidad sobre secuencias de lapilli y cenizas, consisten de depósitos polimícticos con tendencia grano creciente, se observan clastos sub-angulosos a sub-redondeados

de tamaño menor a 10 cm, los clastos incluyen andesitas, tobas y pómez englobados en una matriz arenosa de color café-grisácea, se observan *sets* de laminación cruzada, separados por superficies de erosión de *sets* de laminación paralela (Fig. 13).

### 3.2.10 Depósito Coluvial ( $Q^c$ )

Se encuentran dispersos en toda la zona de estudio, principalmente en las márgenes de los ríos y las

quebradas. Los de mayor extensión se localizan al sur del cerro Cuscungo y al sur de Atueloma (Fig. 14). Se trata de depósitos agradacionales, acumulativos, originados por acción de la gravedad hacia el pie de la ladera o el talud. Están conformados por bloques de roca angulares a subredondeados, polimícticos predominantemente volcánicas y volcanoclásticas contenidos en una matriz limo-arcillosa (Fig. 15).



Figura 14: Depósitos coluviales



Figura 15: Morfología de depósitos coluviales

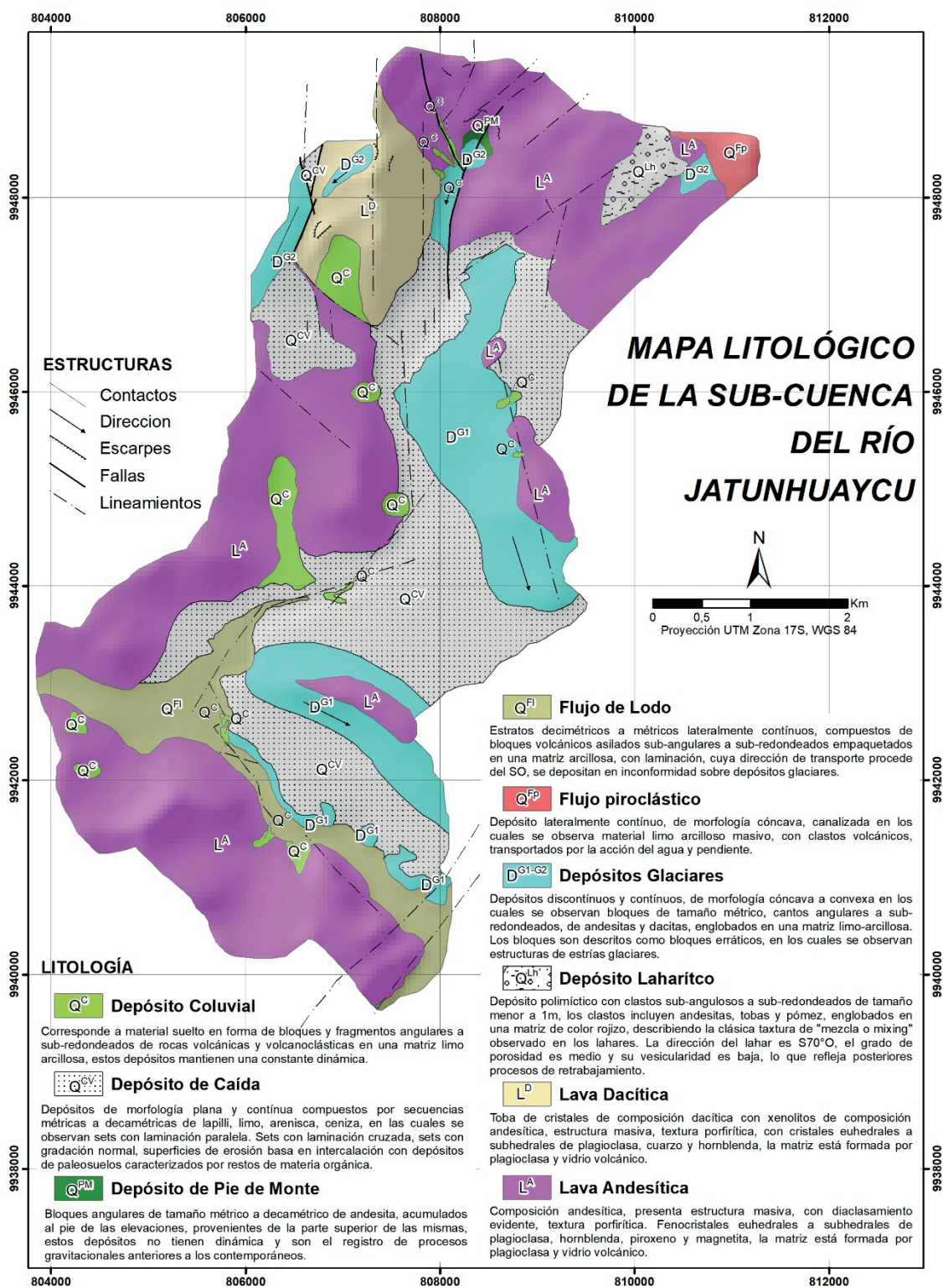


Figura 16. Mapa litológico de la sub-cuenca alta del río Jatunhuaycu.

### 3.3. Geología Estructural

En la sub-cuenca del río Jatunhuaycu se identificaron tres sistemas de estructuras: 1) NE-SO correspondiente a un rumbo andino, 2) El strike de la Cordillera Real, que marca una clara tendencia N-S de las estructuras presentes en la sub-cuenca, principalmente de fallamiento normal y 3) NO-SE, específicamente en zonas donde los depósitos cuaternarios se encuentran cubriendo a la mayoría de las estructuras geológicas. Estos sistemas de estructuras han sido identificados mediante fotointerpretación de imágenes satelitales y algunas mediante trabajo de campo, aunque los depósitos cuaternarios se encuentran cubriendo a la mayoría de las estructuras geológicas, lo que imposibilita su identificación en algunas zonas del terreno.

La sub-cuenca del río Jatunhuaycu es considerada una zona de recarga hídrica, pero se asume que, las estructuras geológicas podrían estar interviniendo en la infiltración y circulación del agua (permeabilidad secundaria), a mayores profundidades, disminuyendo significativamente la recarga hídrica de la sub-cuenca.

### 4. Discusión

A partir del análisis de imágenes satelitales y en función del levantamiento litológico realizado en la sub-cuenca del río Jatunhuaycu, se describieron diez litofacies. Dos secuencias de flujos de lava diferenciadas por su composición mineralógica: La primera andesítica ( $L^A$ ) en función del alto contenido de plagioclasa (superior a 40 %), la cual es asociada a la parte media de la secuencia Tablones descrita por [8], para el flanco SO de la Caldera Chalcana. La segunda dacítica ( $L^D$ ) en función de la presencia de cuarzo (5-10 %) y plagioclasa, la cual es asociada al estadio final de la secuencia Tablones, ambas secuencias se encuentran ubicadas al noroeste del área de estudio. Depósitos laharíticos ( $Q^{Lh}$ ) y depósitos glaciares antiguos ( $D^{G1}$ ), son asociados a la actividad volcánica pleistocénica tardía dominada por glaciares del volcán Antisana. Flujos piroclásticos ( $Q^{Fp}$ ) son asociados al inicio de la actividad holocénica del volcán Antisana, caracterizado por la transición de flujos andesíticos a flujos dacíticos, que habrían descendido desde el cono volcánico Antisana I en dirección suroeste. Flujos de lodo ( $Q^{Fl}$ ) reportados en el sur de la sub-cuenca con dirección E, podrían ser asociados a la actividad glacial reportada en el inicio del Holoceno en los Andes del Norte. Depósitos de pie de monte ( $D^{PM}$ ) son asociados a antiguos depósitos de origen

gravitacional probablemente por la descompresión de grandes áreas afectadas por antiguos glaciares, asociadas a fallas. Depósitos de caída ( $Q^{CV}$ ) constituyen secuencias métricas, grano decreciente de arenisca volcánica, ceniza, pómez y lapilli, cuya procedencia tiene diversas fuentes, asociados al volcanismo reciente. Depósitos glaciares contemporáneos ( $D^{G2}$ ) y depósitos coluviales ( $Q^C$ ) son asociados a la presencia e interacción de cuerpos rocosos pre-existentes y el ecosistema contemporáneo, marcando un claro ejemplo de ambiente periglacial, controlado por el crecimiento y el retroceso del glaciar del volcán Antisana. La sub-cuenca del río Jatunhuaycu es considerada una zona de recarga hídrica; sin embargo, la presencia de las estructuras geológicas generan permeabilidad secundaria, interviniendo en la infiltración y circulación del agua subterránea, asumiendo que a mayores profundidades disminuye significativamente la recarga hídrica de la sub-cuenca.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- La caracterización geomorfológica y litoestratigráfica realizada en la sub-cuenca del río Jatunhuaycu, muestran la interacción de cuerpos rocosos pre-existentes y el ecosistema contemporáneo, marcando un claro ejemplo de ambiente periglacial, controlado por el crecimiento y el retroceso del glaciar del volcán Antisana.
- En la sub-cuenca del río Jatunhuaycu se identificaron tres sistemas de estructuras: 1) NE-SO correspondiente a un rumbo andino, 2) El strike de la Cordillera Real, que marca una clara tendencia N-S de las estructuras presentes en la sub-cuenca, principalmente de fallamiento normal y 3) NO-SE, específicamente en zonas donde los depósitos cuaternarios se encuentran cubriendo a la mayoría de las estructuras geológicas. Estas estructuras podrían estar generando permeabilidad secundaria, interviniendo en la infiltración y circulación del agua subterránea, donde se asume que a mayores profundidades podría disminuir significativamente la recarga hídrica de la sub-cuenca.
- Los estudios geológicos (geología local y estructural) a distintos niveles de unidades hidrográficas, así como cuencas, sub-cuencas y micro-cuencas, y la relación

geología-agua dentro de estas unidades, son la línea base para otros estudios específicos.

## 5.2. Recomendaciones

Sería conveniente complementar este trabajo con estudios de geofísica e hidrogeología, con la finalidad de determinar el comportamiento del agua en el subsuelo mediante ensayos indirectos y datos cuantitativos.

## 6. Referencias bibliográficas

- [1] R. Thorpe, P. Francis, M. Hammil, and M. Baker, *The Andes*. ed., Andesites. New York: Wiley. 1982.
- [2] M. L. Hall, P. A. Mothes, P. Samaniego, A. Militzer, B. Beate, P. Ramón, and C. Robin, "Antisana volcano: A representative andesitic volcano of the eastern cordillera of Ecuador: Petrography, chemistry, tephra and glacial stratigraphy," *Journal of South American Earth Sciences*, 2017, vol. 73, pp. 50-64.
- [3] B. C. S. Hansen, D. T. Rodbell, G. O. Seltzer, B. León, K. R. Young, and M. Abbott, "Late-glacial and Holocene vegetational history from two sites in the western Cordillera of southwestern Ecuador," *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, vol. 194, no. 1-3, pp. 79-108.
- [4] R. J. Huggett, "Glacial Geomorphology", In *Fundamentals of geomorphology*. Routledge, 2007, pp 262-292.
- [5] R. G. Walker, "Facies modeling and sequence stratigraphy: perspective," *Journal of Sedimentary Research*, vol. 60, no. 5, January 1990.
- [6] G. Nichols, "Glacial Environments," In *Sedimentology and stratigraphy*. John Wiley and Sons. New York, 2009, pp. 105.
- [7] H. C. Raasveldt, "Las glaciaciones de la sierra Nevada de Santa Marta," *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 41, pp. 450-466, Dec. 2017.
- [8] B. Beate, F. Villares, S. Inguaggiato, S. Hidalgo, and S. Benitez, *Modelo geotérmico preliminar de tres áreas de interés en la caldera cuaternaria resurgente de chacana y estimación teórica de su potencial geotermoelectrico*, 2009.
- [9] B. Cáceres, L. Maisincho, J. D. Taupin, B. Francou, E. Cadier, F. Delachaux, ... and A. Garces, "Glaciares del Ecuador: Antisana y Carhuayrazo," *Informe del Año 2004*, 2005, vol. 164.