








Fundación  
Miguel Lillo  
Tucumán  
Argentina

doi

# Geomorfología de la sección norte de la Cordillera de Cutucú, Zona Subandina, Ecuador

Geomorphology of the northern section Cutucú mountain range, Subandean Zone, Ecuador

Lucía R. AVILÉS PONCE\* , Christian W. ROMERO CÓNDOR ,  
Ana B. GRAMAL AGUILAR , Oswaldo P. PICO CARRASCO ,  
Erick S. CRUZ CARRILLO 

Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Recursos Minerales en el Territorio Ecuatoriano. Instituto de Investigación Geológico y Energético – IIGE. Quito-Ecuador.

\* Autor corresponsal: <lucia.aviles@geoenergia.gob.ec>

## Resumen

La Cordillera de Cutucú representa un subdominio morfoestructural de la Zona Subandina (ZSA) que se extiende al sureste del Ecuador. Se encuentra limitada por la cuenca del río Santiago al sur, por el río Pastaza al norte, al oeste por las estribaciones orientales de la Cordillera Real y al este por la Llanura Amazónica. La escasa investigación previa sobre los aspectos geomorfológicos de la sección norte de la Cordillera de Cutucú ha limitado la interpretación integral de sus estructuras geológicas y la litoestratigrafía regional. En este contexto, la presente investigación detalla las características geomorfológicas de esta área a partir de técnicas de fotointerpretación de MDT, imágenes satelitales, y su relación con la litoestratigrafía levantadas en jornadas de campo en el segmento norte de la Cordillera de Cutucú. Este análisis geomorfológico describe al Anticlinal de Macuma, donde afloran cuarzoarenisca y calizas cretácicas de las formaciones Napo y Hollín como parte de los flancos del anticlinal, mientras que formando su núcleo se encuentran brechas volcánicas, litoareniscas volcánicas y arcosas del Jurásico-Cretácico, de la Formación Chapiza, sobreyaciendo a lutitas calcáreas fosilíferas paleozoicas de la Formación Macuma, mientras que en su núcleo se encuentran volcanosedimentos de la Formación Chapiza del Jurásico Medio al Cretácico

► Ref. bibliográfica: Avilés Ponce, L. R.; Romero Cóndor, C. W.; Gramal Aguilar, A. B.; Pico Carrasco, O. P.; Cruz Carrillo, E. S. 2025. Geomorfología de la sección norte de la Cordillera Cutucú, Zona Subandina, Ecuador". *Acta Geológica Lilloana* 36 (2): 365-391. DOI: <https://doi.org/10.30550/j.agl/2080>

► Recibido: 10 de diciembre 2025 – Aceptado: 17 de octubre 2025.

► URL de la revista: <http://actageologica.lillo.org.ar>



OPEN ACCESS

► Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Inferior y por lutitas calcáreas fosilíferas de la Formación Macuma del Paleozoico. Asimismo, se describe al Anticlinal de Pumbuis llamado así por la localidad, el cual se extiende de sur a norte, desde el río Tayuntsa hasta el río Macuma, caracterizado por la presencia de estructuras tipo chevrone dispuestos como fajas alargadas y escalonadas buzando hacia el este, donde afloran volcanosedimentos de la Formación Chapiza, sobreyacidos en discordancia por cuarzoareniscas de la Formación Hollín.

**Palabras clave:** Geomorfología, fotointerpretación, anticlinal, relieves estructurales, chevrone, geoformas.

## Abstract

The Cutucú Cordillera represents a morphostructural subdomain of the Sub-Andean Zone that extends to the southeast of Ecuador. It is limited by the Santiago River basin to the south, by the Pastaza River to the north, to the west by the eastern foothills of the Cordillera Real, and to the east by the Amazon Plain. The scarce previous research on the geomorphological aspects of the northern section of the Cutucú Mountain Range has limited the comprehensive interpretation of its geological structures and regional lithostratigraphy. In this context, the present investigation details the geomorphological characteristics of this area from DTM photointerpretation techniques, satellite images, and their relationship with the lithostratigraphy lifted for the present investigation in the northern segment of the Cutucú Cordillera.

This geomorphological analysis describes the Macuma Anticline with northward dipping, where Cretaceous quartz-sandstones of the Hollín Formation outcrop as part of the flanks of the anticline, overlain by sandstones, calcareous mudstones, limestones of the Napo Formation, while at its core are volcanic breccias, volcanic litharenites, and arkoses of the Chapiza Formation from the Middle Jurassic to Early Cretaceous and fossiliferous calcareous shales of the Macuma Formation of the Paleozoic. Likewise, the Pumbuis Anticline is described, which extends from south to north, from the Tayuntsa River to the Macuma River, characterized by the presence of chevron-type structures arranged as elongated and stepped bands dipping towards the east, where volcanosediments of the Chapiza Formation outcrop, unconformably overlain by quartz-sandstones of the Hollín Formation.

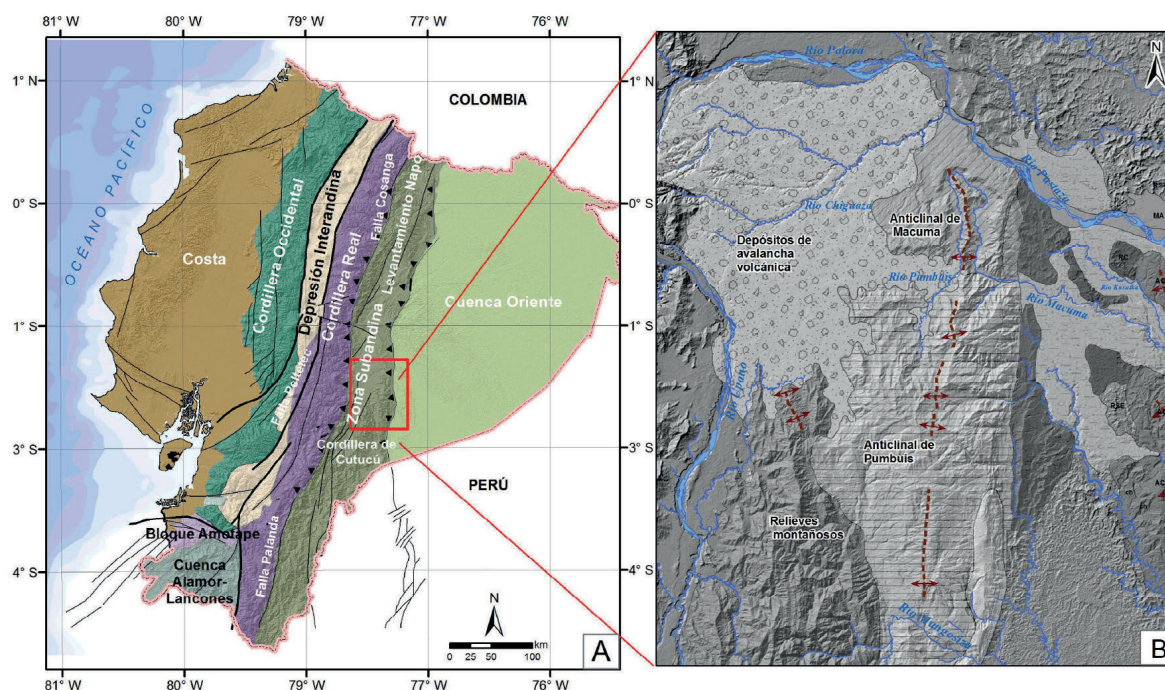
**Keywords:** Geomorphology, anticline, structural reliefs, chevrons, landforms.

## INTRODUCCIÓN

La Cordillera de Cutucú se ubica al sur-este del Ecuador, y forma parte de la Zona Subandina conformada además por el Levantamiento Napo y por la Depresión Pastaza que en conjunto representan subdominios morfoestructurales definidos por pliegues y fallas de empuje tectónicamente activas, desarrollado en conjunto hacia el este de la Cordillera Real (Rivadeneira *et al.*, 1999; Baby *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2019; Vallejo *et al.*, 2021; Reyes *et al.*, 2025) (Figura 1A).

El área de estudio cubre la sección norte de la Cordillera de Cutucú limitada al oeste por las estribaciones orientales de la Cordillera Real, al este por la Cuenca Oriente, desde el río Pastaza al Norte hasta el río Mangosiza al sur (Figura 1B).

La Cordillera de Cutucú ha sido interpretada como una estructura en flor positiva por Christophoul (1998), resultado del proceso de inversión de un sistema transpresivo pre-cretácico, donde afloran las formaciones Santiago y Chapiza (de edad Jurásico Inferior y Jurásico Medio al Cretácico Inferior respectivamente), con un basamento pre-Cretácico afectado por antiguos plegamientos ocurridos durante los periodos Paleozoico y Jurásico (Tschoop, 1953); se ha interpretado además que la Cordillera de Cutucú se encuentra deformada por un complejo sistema de fallas inversas relacionado a la inversión de tipo transpresivo de un *rift* abortado del Triásico Superior al Jurásico Inferior orientado NNE-SSO (Baby *et al.*, 1999; Christophoul, 1998; Díaz *et al.*, 2004).



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de estudio. **A.** Esquema de regiones morfotectónicas del Ecuador. Modificado de Vallejo *et al.* (2021) y Romero Córdor *et al.* (2023). **B.** Ubicación de la sección Norte de la Cordillera de Cutucú.

Corroborando esta hipótesis Christophoul (1999) menciona que, el núcleo de la Cordillera de Cutucú está constituido por la Formación Santiago que corresponde al relleno sedimentario del rift Triásico, coincidiendo con lo mencionado por Geyer (1974), Pindell y Tabbutt (1995), Romeuf (1995) y Gaibor *et al.* (2008), quienes afirman que, la Formación Santiago puede ser identificada tanto en la Cordillera de Cutucú como en la Cordillera del Cóndor y se extiende hacia el centro sur de la Cuenca Santiago. Por otra parte, Gutiérrez *et al.* (2019) y Gramal *et al.* (2021), proponen que la evolución de la Zona Subandina está vinculada al desarrollo de un arco magmático relacionado con procesos de subducción en el Cretácico Tardío – Cenozoico y una cuenca antepaís flexural, donde un cinturón de pliegues y cabalgamiento correspondiente a la ZSA involucra un proceso de canibalización del relleno de cuenca más antiguo incorporado a depósitos más jóvenes durante la exhumación de los Andes.

En cuanto a la geomorfología de la zona, el estudio realizado por Reyes *et al.* (2025) analiza la morfología de la culminación norte de la Cordillera de Cutucú, sobre la desviación del río Macuma alrededor del núcleo del anticlinal, mediante el uso de indicadores e índices geomórficos, siendo este uno de los pocos estudios geomorfológicos existentes a lo largo de la Cordillera de Cutucú. En este contexto, esta región en específico carece de estudios detallados sobre sus aspectos geomorfológicos, lo que limita la interpretación integral de sus estructuras geológicas. Investigaciones previas no han incorporado parámetros morfológicos observables en imágenes satelitales, ni correlacionado texturas superficiales con unidades geológicas, omitiendo información clave para comprender la interacción entre tectónica y procesos exógenos. La escasa información morfológica genera interpretaciones incompletas del relieve, subestimando procesos que modelan el paisaje y dificultando la caracterización precisa de las unidades geológicas. Como resultado, se limita el desarrollo de modelos predictivos más precisos y el diseño de estrategias efectivas de manejo territorial o exploración de recursos.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es presentar un análisis geomorfológico de la sección norte de la Cordillera de Cutucú, mediante técnicas de fotointerpretación digital a partir de imágenes satelitales y MDT con la finalidad de correlacionar los rasgos morfológicos identificados con unidades y/o formaciones geológicas existentes en estudios previos y en el levantamiento de información geológica en campo desarrollada por el IIGE, para la elaboración de las hojas geológicas Macas y Macuma, escala 1:100.000, en el año 2024, con el fin de obtener un patrón litológico a replicar en zonas inaccesibles.

Dentro del análisis para el presente estudio se ha subdividido la Cordillera de Cutucú en tres unidades morfológicas, el Anticlinal de Macuma, el Anticlinal de Pumbuis y los relieves montañosos de la cordillera rodeados por depósitos provenientes de la actividad del volcán Sangay.



## MARCO GEOLÓGICO

La morfología de la Margen Noroccidental Sudamericana (MNS) se caracteriza por el desarrollo de los Andes del Norte, que en Ecuador mantienen tendencia NNE-SSO y se componen de dos cordilleras genéticamente distintas: la Cordillera Occidental separada por el Valle Interandino de la Cordillera Real. La Cordillera Real constituye un núcleo de rocas sedimentarias e intrusiones del Paleozoico a Mesozoico metamorfizadas (Spikings *et al.*, 2021). Al oriente, la Cordillera Real limita al este con la ZSA; la ZSA es considerada como el *wedge-top* andino, es decir un cinturón corrido y plegado, el cual es considerado una zona de transición entre rocas metamórficas de la Cordillera Real y rocas sedimentarias de la Cuenca Oriente (Gutiérrez *et al.*, 2019; Gramal *et al.*, 2021). Se compone de tres subdominios morfoestructurales el Levantamiento Napo en el norte, la Cordillera de Cutucú en el sur, que constituyen dos grandes estructuras antiforales separadas por la Depresión Pastaza (Baby *et al.*, 2013; Romero *et al.*, 2021).

La Cordillera de Cutucú corresponde a un mega-pliegue anticlinal limitado por fallas de rumbo, con un basamento del Paleozoico que incluye cuarcitas y filitas de la Formación Pumbuíza (Tschopp, 1953), así como estratos finos y laminaciones de areniscas grises calcáreas intercaladas con limolitas y calizas tipo *mudstone* asociadas a la Formación Macuma (IIGE, 2024b), así también rocas volcánico-clásticas y volcánicas del intervalo Triásico a Jurásico, correspondientes a las formaciones Santiago y Chapiza (Christophoul, 1998). Gaibor *et al.* (2008) subdividen a la Formación Santiago en tres miembros, a la base el Miembro Río Santiago que consiste en calizas y areniscas calcáreas; sobreyaciendo a este en concordancia aparece el Miembro Yuquianza que incluye lutitas negras ricas en materia orgánica; y al tope se encuentra al Miembro Patuca que incluye areniscas, limolitas y lutitas negras con intercalaciones basálticas correspondiente al volcanismo continental de tipo toleítico descrito por Romeuf *et al.* (1997), dentro de la Formación Santiago en la Cordillera de Cutucú.

La Formación Chapiza comprende una sucesión de sedimentos continentales clásticos, de bajo buzamiento, sobreyacidos por la Formación Misahuallí, Tschopp (1953) menciona que, en la Cordillera de Cutucú la Formación Chapiza aflora como limolitas rojas y areniscas, grises y rosadas, con finos horizontes de anhidrita, dolomita y yeso. Dashwood y Abbotts (1990), subdividen a esa formación en tres miembros: Miembro Inferior constituido por intercalaciones de lutitas y areniscas con niveles de yeso y anhidrita, Miembro Medio conformado por una intercalación de lutitas y areniscas sin presencia de evaporitas y el Miembro Superior que contiene lutitas rojas, areniscas, conglomerados y rocas volcanoclásticas, siguiendo la litoestratigrafía propuesta por Tschopp (1953). Por otro lado, para Christophoul (1999), la Formación Chapiza se depositó en un ambiente

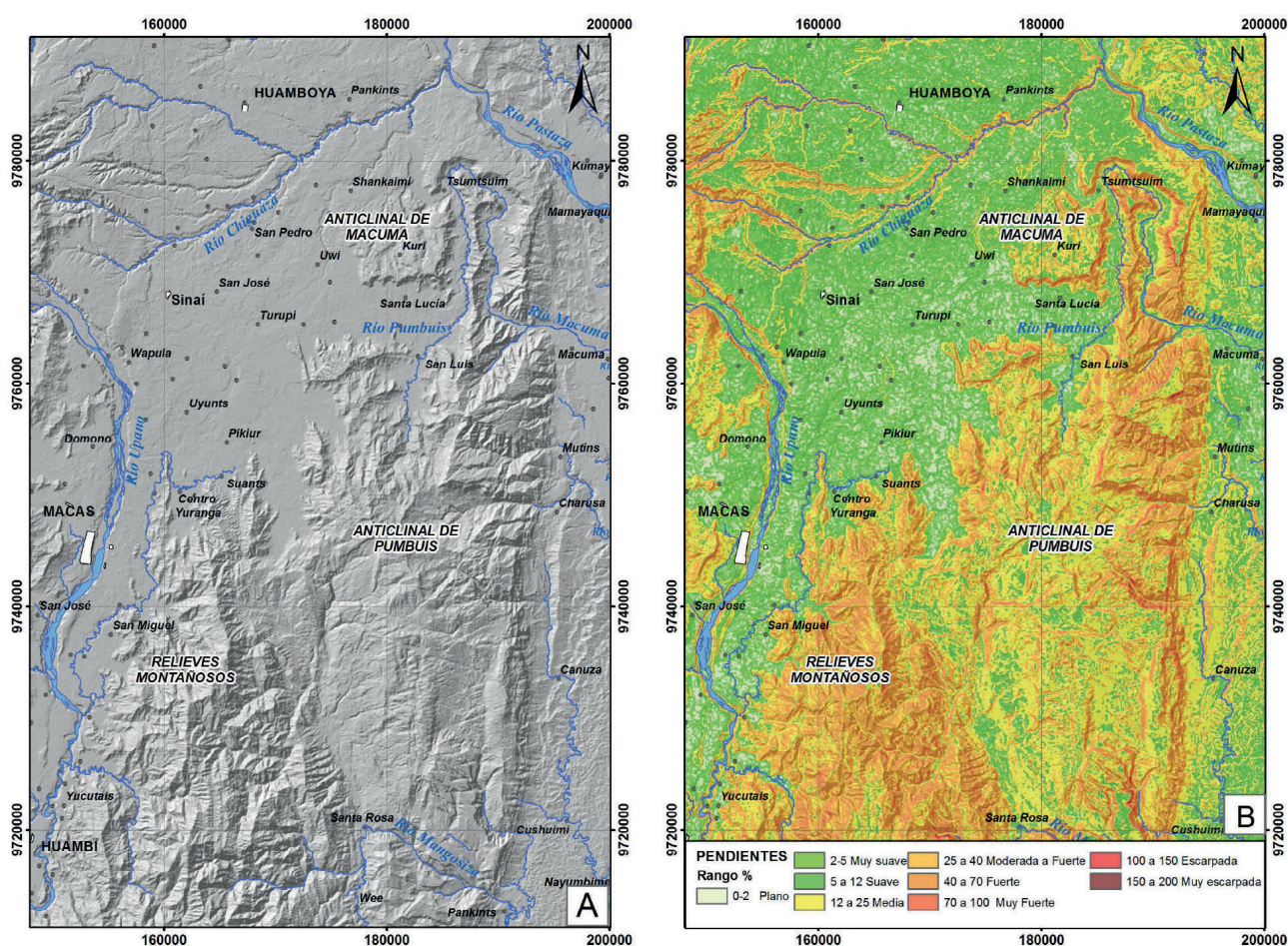
continental de tipo fluvial a lacustre costero para el Miembro Inferior y el Miembro Medio, mientras que, para el Miembro Superior se propone un ambiente continental. En función a la presencia de rocas volcanoclásticas en la secuencia se considera que la Formación Chapiza es contemporánea con el arco volcánico Misahuallí. En el Cretácico Inferior, inicia la fase de depósito de sedimentos de la Formación Hollín, interpretada como depósitos fluvio lacustres y de ríos trenzados (White *et al.*, 1995), previo al depósito de las rocas de la Formación Hollín existió un proceso erosivo de las secuencias jurásicas y paleozoicas de la Cuenca Oriente (Barragán *et al.*, 2004). En el intervalo del Aptiano al Campaniano, en un ambiente de transgresión marinas se depositan calizas y lutitas de la Formación Napo, así como secuencias de areniscas asociadas a ciclos regresivos y progradantes en un sistema de deltas (Ye, 2014).

## METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolló en cinco etapas. La primera consistió en la recopilación de información bibliográfica de estudios previos realizados en la Cordillera de Cutucú, así como en la obtención de mapas geológicos históricos (IIGE, 2017), mapas geomorfológicos (SIGTIERRAS, 2015) y mapas geopedológicos en diferentes escalas. Para el proceso de fotointerpretación, se utilizaron insumos de tipo ráster como Modelos Digitales del Terreno (MDT) de alta resolución, con un tamaño de pixel de 3 x 3 m (SIGTIERRAS, 2012), mosaico de imágenes satelitales Landsat, ortofotos y anáglifos (IIGE, 2024a) e insumos de tipo vector como cartografía base a escala 1:50.000 (IGM, 2013), que incluye curvas de nivel, red hidrográfica, poblados y vías, entre otros elementos. El objetivo de esta etapa fue construir una base de datos dinámica, a partir de la cual se analizaron, sintetizaron y depuraron datos utilizados en las siguientes etapas del estudio.

En la segunda etapa, se elaboró una base de datos en formato *shapefile* de tipo polígono, que incluye atributos como el nombre de la geoforma, la unidad genética, los parámetros morfológicos y morfométricos, así como la asociación litológica. Además, como parte del análisis de rasgos morfológicos, se creó una base de datos en formato *shapefile* de tipo polilínea para representar los lineamientos estructurales, los cuales fueron fotointerpretados y compilados a partir de estudios.

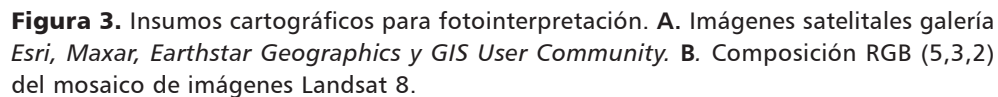
En la tercera etapa, se realizó el procesamiento y la generación de insumos para la fotointerpretación, como el mapa de sombras (Figura 2A), el mapa de pendientes (Figura 2B) clasificado en diez rangos, procesados a partir de un MDT con un tamaño de pixel de 3x3 metros (SIGTIERRAS, 2012), imágenes satelitales galería *Esri*, *Maxar*, *Earthstar Geographics* y *GIS User Community* (Figura 3A) y la composición RGB (5,3,2) del mosaico de imágenes Landsat 8 (Figura 3B).



**Figura 2.** Insumos cartográficos para fotointerpretación, procesados a partir de un MDT con un tamaño de pixel de 3x3 metros (SIGTIERRAS, 2012). A. Mapa de sombras o *hill-shade*. B. Mapa de pendientes de área de estudio, clasificada en diez categorías.

La cuarta etapa consistió en la fotointerpretación digital mediante la herramienta de visualización 3D del software QGIS 3.16, a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT). Para ello, se superpusieron diversas capas como: ortofotos, mapa de sombras, anáglifos, imágenes satelitales, mapas de pendientes, mapas de elevación, curvas de nivel, red hidrográfica y cartografía geológica y geomorfológica existente. En este proceso, se aplicaron criterios de fotointerpretación para la delimitación de geoformas, basados en Vargas (1992), Delgado *et al.* (2010), Smith *et al.* (2011) y Naranjo (2015). Estos criterios incluyeron características morfológicas, como las formas de la cima, la vertiente y el valle, identificación de parámetros morfométricos como la pendiente (Tabla 1), el desnivel relativo, la longitud de la vertiente, el cambio de tonalidad, texturas, vegetación, patrones de drenaje (Tabla 2) y la correlación de las diferentes geoformas con la litología levantada en los trabajos de campo realizados durante el levantamiento de información para la realización de las hojas geológicas Macas y Macuma, escala 1:100.000, realizadas por el IIGE en el año 2024.





Finalmente, en la quinta etapa, se elaboró el mapa geomorfológico de tipo analítico de la sección norte de la Cordillera de Cutucú, escala 1:100.000. La representación cartográfica se basó en la degradación de colores según la unidad genética de cada geoforma (Tabla 3), utilizando una gama de colores adaptada de Gustavsson *et al.* (2006), Serrano *et al.* (2004), Gustavsson y Kolstrup (2009) y Smith *et al.* (2011).



**Tabla 1.** Criterios de fotointerpretación asociados a la pendiente del terreno. Adaptado de Robertson *et al.* (2013).

Clase	Pendiente (%)	Características	Geoformas comunes
1	0-2	Terrenos planos	Llanuras de inundación, terrazas aluviales
2	2-5		
3	5-12	Terrenos asociados con depósitos aluviales clasto-soportados	Terrazas y piedemontes
4	12-25		
5	25-40	Terrenos con depósitos pedregosos matriz soportados	Conos torrenciales
6	40-70	Terrenos con sedimentos variables, incluyendo coluviones y sustratos arcillo-limosos	Laderas coluviales finos
7	70-100	Terrenos con depósitos coluviales gruesos y sustrato arcillo-limoso	Laderas coluviales gruesos
8	100-150	Rocas volcanoclásticas	Relieves montañosos
9	150-200	Areniscas, conglomerados	Cornisas de mesa, frente de cuevas, escarpes de deslizamiento
10	>200		

**Tabla 2.** Criterios de fotointerpretación asociados a patrones de drenaje según el tipo de geoformas. Adaptado de Robertson *et al.* (2013).

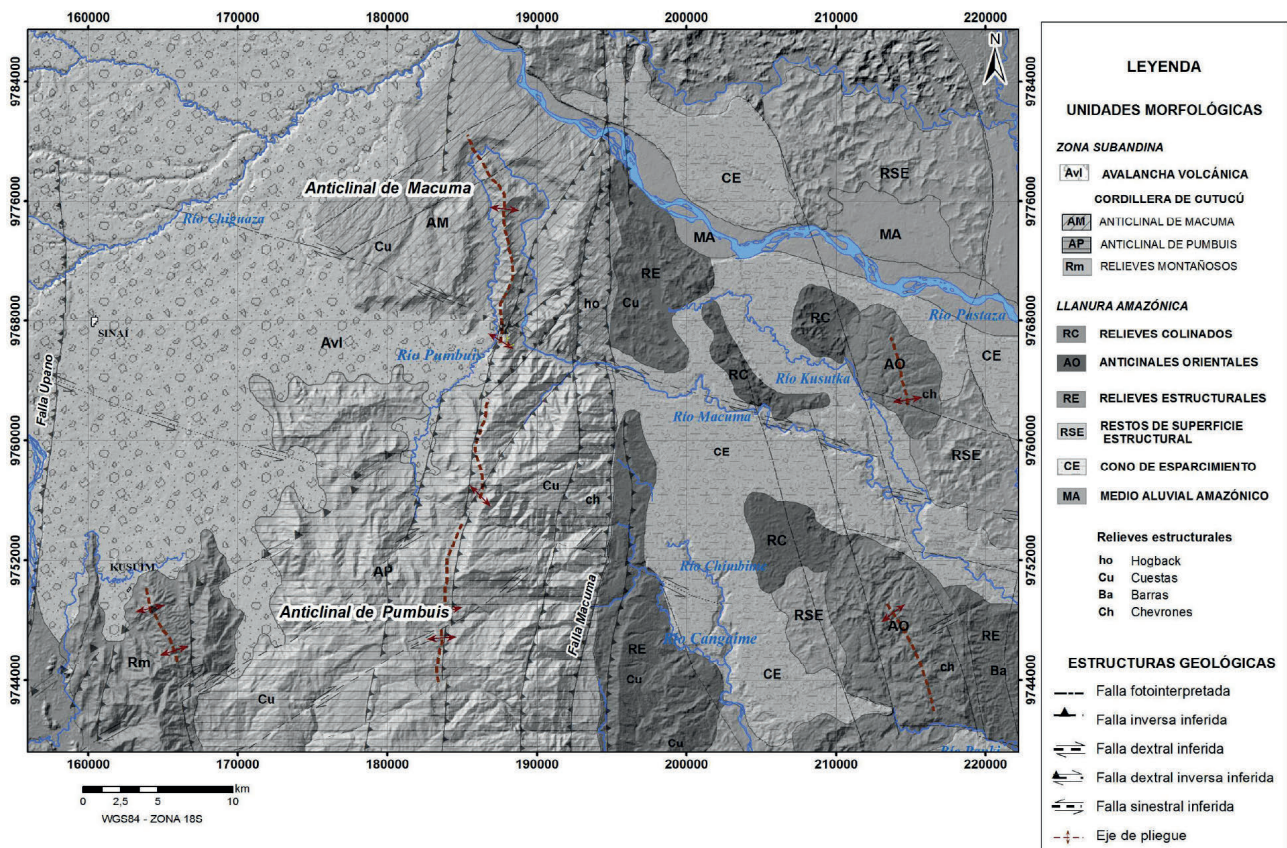
Patrón de drenaje	Características	Geoformas comunes
Radial	Lavas y piroclastos	Conos volcánicos
Anular	Rocas sedimentarias y/o volcánicos inclinados	Domos y conos volcánicos disectados
Rectangular	Rocas fuertemente fracturadas	Macizos ígneos y metamórficos
Enrejado	Rocas sedimentarias duras y blandas intercaladas	Rocas sedimentarias plegadas
Dendrítico	Rocas intrusivas y sedimentos homogéneos	Macizos ígneos o llanuras disectadas
Trenzado	Aluvial	Piedemonte
Meándricos, anastomosados	Aluvial	Llanuras de inundación

**Tabla 3.** Escala de colores adoptados para la elaboración de los mapas geomorfológicos. Adaptado de Serrano *et al.* (2004), Gustavsson *et al.* (2006), Gustavsson y Kolstrup (2009) y Smith *et al.* (2011).

Unidad genética	Valores RGB (Red/Green/Blue)	Tonalidad
Estructural	R:196 / G:42 / B:79	
Denudativo	R: 191 / G: 43 / B:0	
Deposicional	R: 168 / G: 168 / B: 0	
Volcánica	R:255 / G:190 / B:190	
Fluvial	R:112 / G:173 / B:71	
Poligénicas	R:205 / G:154 / B:248	

## RESULTADOS

Como resultado de la interpretación geomorfológica realizada en este trabajo se identificaron diversas formas del relieve, clasificadas en función de su génesis, entre ellas geoformas de origen estructural como superficies de cuestras (Cu), formando los flancos del Anticlinal de Macuma (AM) al norte y del Anticlinal de Pumbuis (AP) al sur; al oeste geoformas de origen volcánico, formadas por un depósito de una avalancha de escombros, producto de la actividad del volcán Sangay, dispuestas como una amplia planicie con pendientes suaves, donde se distinguen montículos de cimas redondeadas denominados *hummocks*, mientras que, hacia el este, en las estribaciones orientales subandinas y parte de la llanura Amazónica las geoformas identificadas, corresponden a relieves estructurales (RE) y anticlinales orientales (AO), donde las rocas con mayor resistencia a la meteorización se han modelado en forma de chevrones y barras (Ba) dispuestos como parte de los flancos de los pliegues, así también se distinguen relieves colinados (RC), conos de esparcimiento (CE) y formas del relieve aisladas, donde sus rasgos estructurales prácticamente se han borrado por efectos de la erosión, quedando únicamente los restos de antiguas superficies estructurales (RSE) observados en la Figura 4.



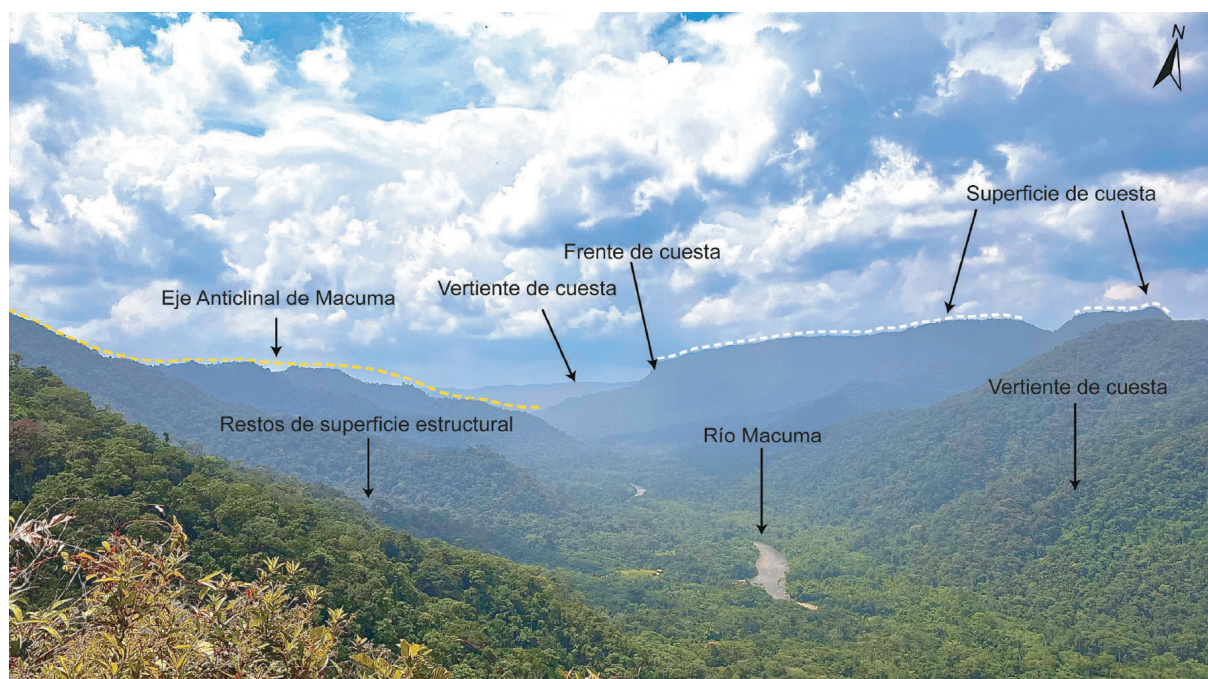
**Figura 4.** Unidades morfológicas de la sección norte de la Cordillera de Cutucú y parte de la Llanura Amazónica.



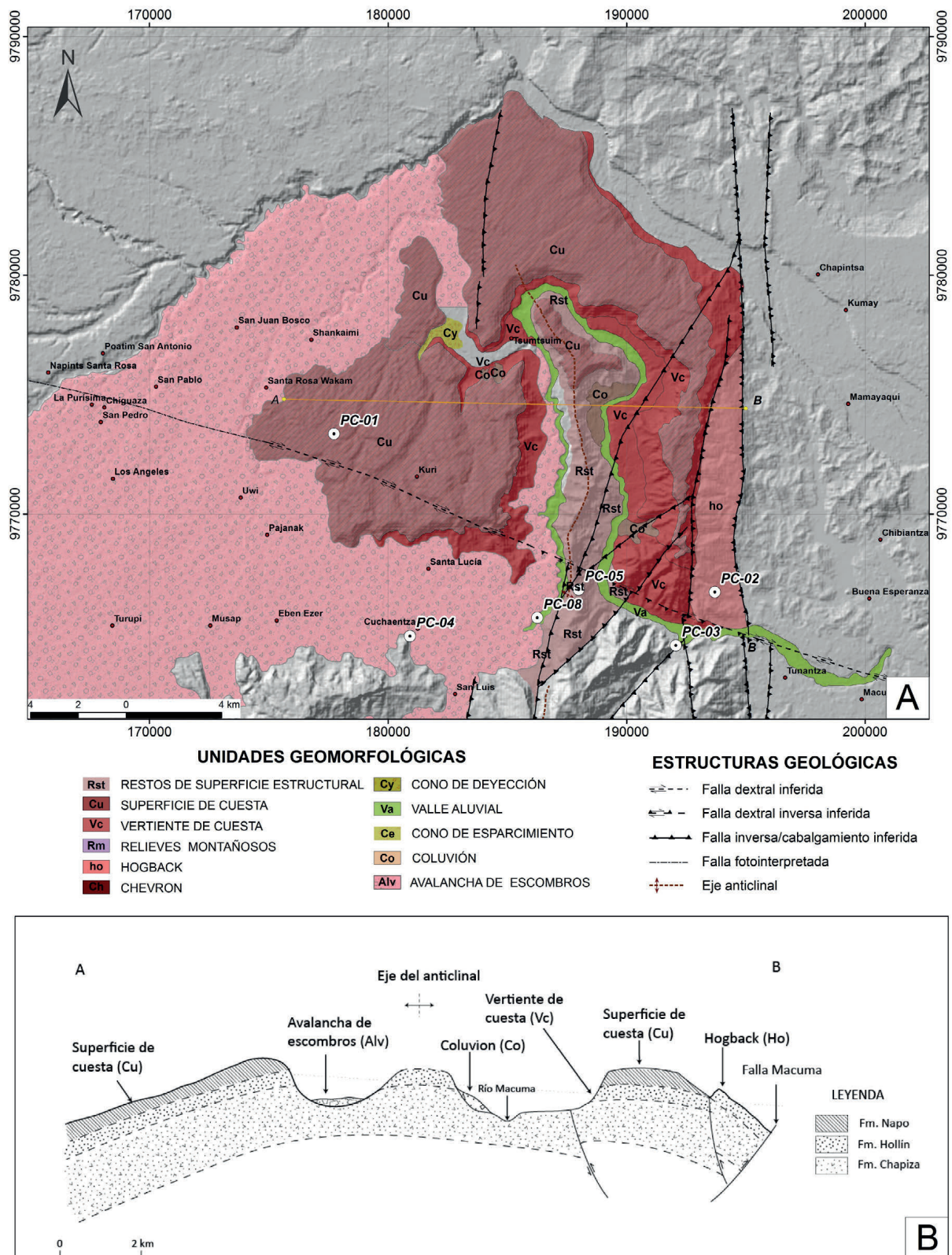
## Anticlinal de Macuma

Se ubica al norte de la Cordillera de Cutucú, se interpreta como un anticlinal orientado N-S, donde se han desarrollado geoformas de origen estructural como superficies y vertientes de cuestras, dispuestas como parte de los flancos del pliegue, con pendientes medias de 12% a 25%, el centro del anticlinal ha sido afectado por procesos erosivos que lo han modelado como un relieve de morfología alargada, con cimas agudas y vertientes irregulares, fuertemente disectado (Figura 5), dejando expuesta una sucesión de estratos de limolitas y areniscas de color púrpura y rojizo de la Formación Chapiza del Jurásico Medio al Cretácico Inferior, cubiertas por derrubios y coluviones desprendidos desde los escarpes que lo rodean, y disectado por un encañonamiento producto de la dinámica fluvial del río Macuma. Al este del anticlinal los relieves estructurales se presentan como *hogbacks*, desarrollados entre estratos resistentes a la erosión, donde los buzamientos son mayores a los 45° (Villota, 2005), estos se alinean de norte a sur, con pendientes muy fuertes a escarpadas, formando superficies inclinadas con buzamiento hacia el este (Figura 6).

Según los trabajos de campo realizados en la hoja geológica de Macuma (IIGE, 2024b), al este de la Comunidad Kuri se encuentran las Cavernas de Anaconda, (PC-01, coordenadas UTM-WGS84 18S: 177 744 E y 9 773 358 N) donde afloran calizas fosilíferas de la Formación Napo, con estratificación subhorizontal (So: 297/12), formando en su interior estalactitas y estalagmitas producto de la precipitación de los carbonatos (Figura 7). La



■ **Figura 5.** Fotografía panorámica del Anticlinal de Macuma, delimitación de geoformas.



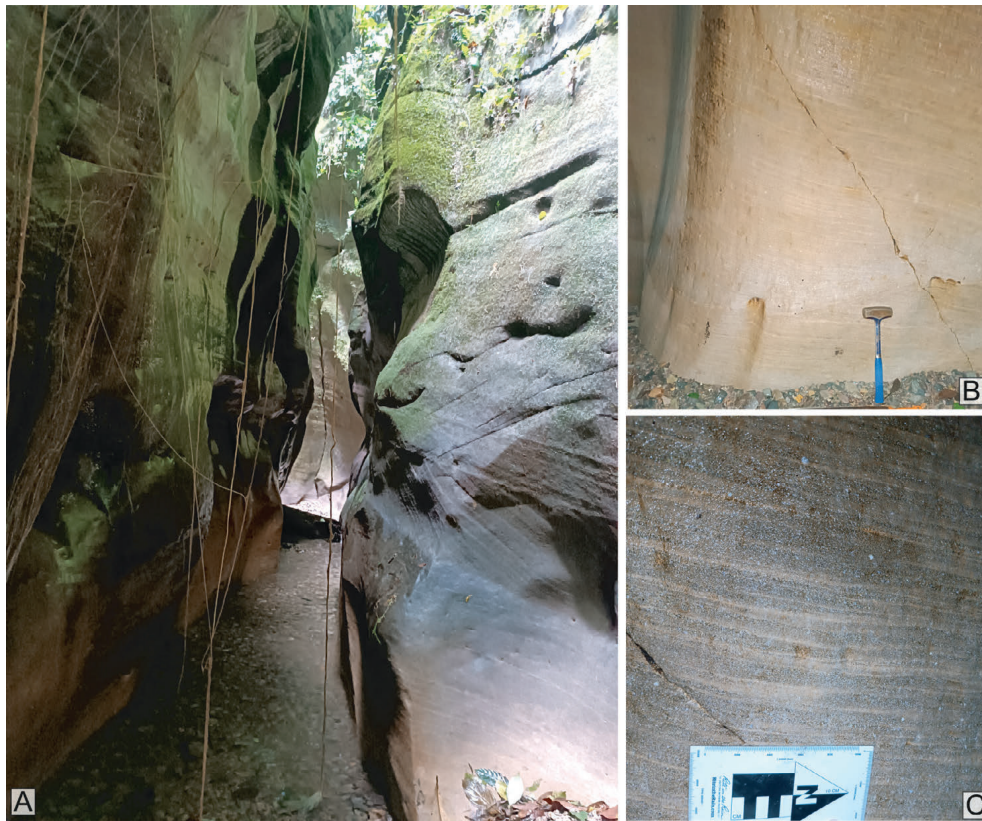




**Figura 7.** A. Cavernas de Anaconda donde aflora la Formación Napo, presencia de estalagmitas y estalactitas. B. Afloramiento de calizas tipo *mudstone* de la Formación Napo dispuesto en estratos tabulares con presencia de bitumen. C. Fósiles encontrados en la Formación Napo.

morfología de este sector corresponde a laderas con pendientes abruptas y escarpadas, que alcanzan desniveles relativos de hasta 160 metros, formando el frente de la superficie de cuesta (Figura 6). El cambio de morfología identificado en MDT e imágenes satelitales permitió definir el contacto entre las formaciones Hollín y Napo, donde se distinguen capas inclinadas con pendientes suaves a moderadas que han resistido al proceso de erosión, así como relieves estructurales de tipo *hogback*, y vertientes de cuesta (Figura 6), litológicamente asociados a la Formación Hollín según los afloramientos encontrados en las comunidades de Santa Lucía y Wisu (PC-02, coordenadas UTM-WGS84 18S: 193 665 E, 9 766 713 N), donde aflora una arenisca cuarzosa, de grano medio, bien sorteada con pequeñas intercalaciones centimétricas de arcillolitas color beige, sus estratos se presentan un rumbo N68°E, con un buzamiento de 18° hacia el NO (Figura 8).

Al sur del anticlinal formando parte de la vertiente de cuesta, en las coordenadas UTM-WGS84 18S: 192 071 E, 9 764 493 N (PC-03), afloran rocas cretácicas de la Formación Chapiza, como una secuencia sedimentaria de limolitas y areniscas de color púrpura formando vertientes irregulares de fuerte disección con pendientes de muy fuertes a escarpadas y desniveles relativos que alcanzan los 200 metros, donde no ha sido posible identificar el contacto con la Formación Hollín.



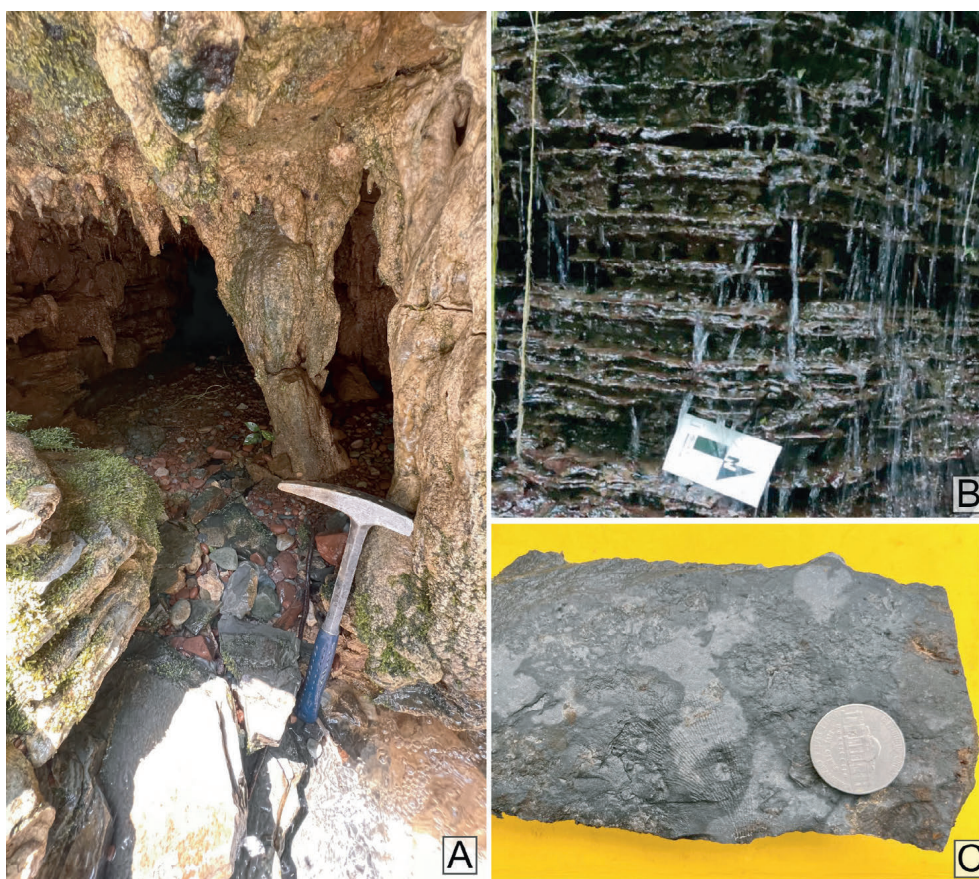
**Figura 8.** A. Afloramiento de la Formación Hollín dentro de un cañón fluvial, formado por la erosión del río Tayuntza en la comunidad Wisu. B-C. Areniscas color beige con estratificación cruzada.

Por efecto de la inversión tectónica y por procesos de erosión han quedado expuestas rocas del Paleozoico de la Formación Macuma en el sector Quebrada Colorada, vía Macas-Taisha, compuesta por una secuencia de calizas estratificadas tipo *wackestone* y *packstone*, con contenido de fósiles de braquiópodos, briozoos y crinoideos. Producto de actividad kárstica se han generado cavidades que disuelven los carbonatos, además, en la base y el techo de estas cavidades se generan estalactitas y estalagmitas (Figura 9).

La Formación Macuma descansa en discordancia angular sobre la Formación Pumbuiza (Tschopp, 1953; Baby *et al.*, 1998); este contacto no ha sido observado, sin embargo se asume por posición estratigráfica.

Mediante fotointerpretación se identificaron estructuras geológicas tipo fallas inversas, y lineamientos estructurales con una orientación preferencial NNE-SSO cortadas por una falla dextral que divide el Anticlinal de Macuma con el Anticlinal de Pumbuis al sur (Figura 4), así también el levantamiento de información en campo permitió correlacionar las diferentes unidades geomorfológicas con la litología encontrada, facilitando la interpretación de contactos geológicos en zonas de difícil acceso, tomando como referencia los marcadores geomorfológicos característicos de la Zona Subandina como superficies y frentes de cuevas típicos de las formaciones Hollín y Napo (Figura 10).



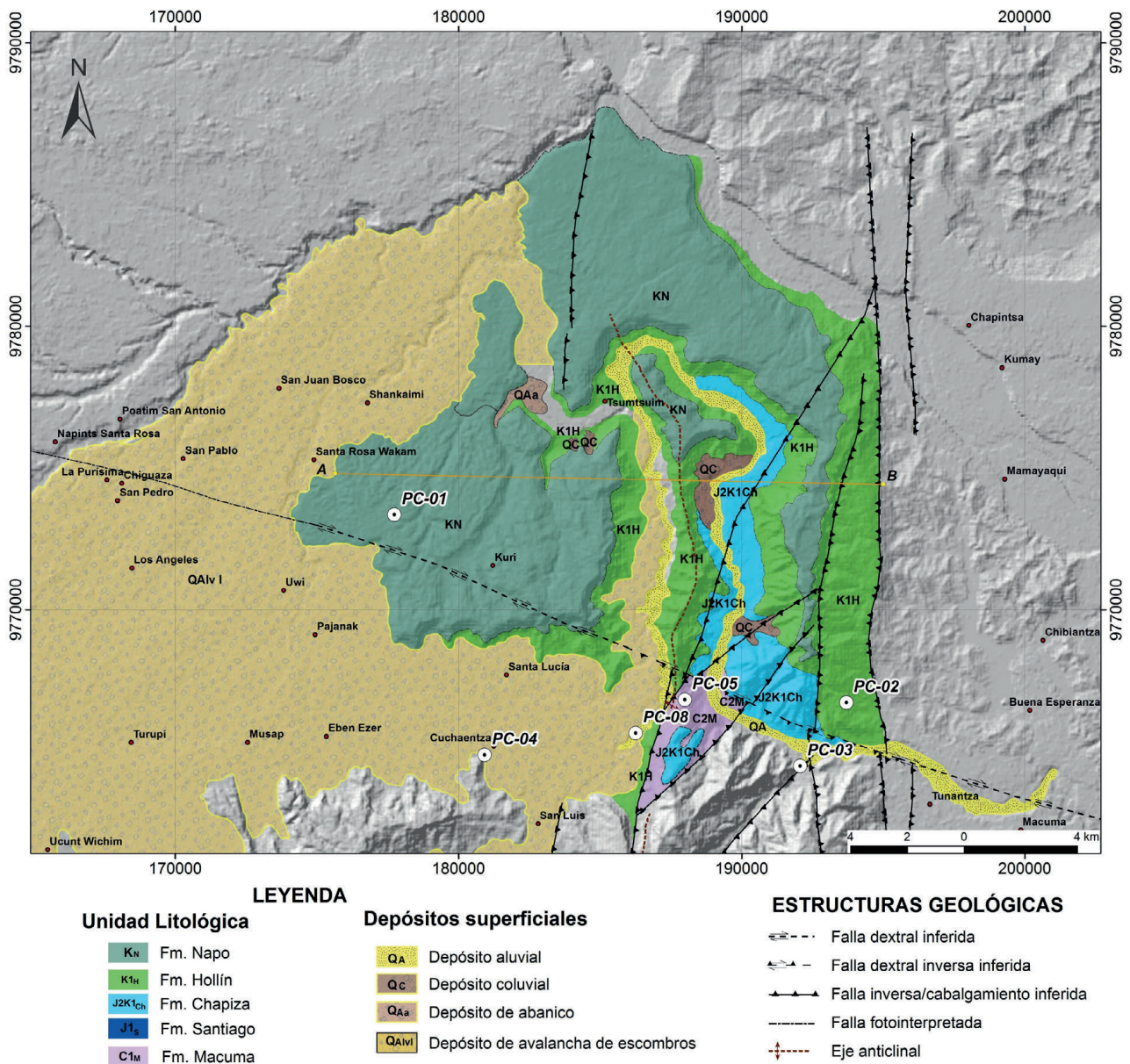


**Figura 9.** A. Afloramiento Formación Macuma, vía Macuma-Taisha, sector Quebrada Colorada presencia de estalactitas. B. Calizas estratificadas tipo *wackestone* y *packstone*. C. Fósiles de braquiópodos, briozoos y crinoideos.

### Anticlinal de Pumbuis

El anticlinal de Pumbuis se extiende en dirección N-S, desde el río Tayuntsa, afluente del río Chapiza, hasta el río Macuma al norte. Este pliegue está disectado longitudinalmente por una falla dextral de escala regional, la cual constituye un rasgo estructural prominente que segmenta el anticlinal en dos bloques diferenciados (Figura 4 y Figura 10). En su flanco oriental, el límite estructural está definido por la falla Macuma, una estructura de rumbo NNE–SSO y buzamiento hacia el oeste, que controla el levantamiento y la configuración tectónica del flanco oriental de la Cordillera de Cutucú (Egüez *et al.*, 2003). En este sector, la morfología del anticlinal presenta una transición desde geoformas de tipo chevrones ubicados al este, hasta restos de superficies estructurales ubicados en el centro del anticlinal (Figura 11). Hacia el oeste, el límite está representado por relieves montañosos caracterizados por cimas agudas y vertientes irregulares, desarrollados sobre rocas volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Chapiza (Figura 12).

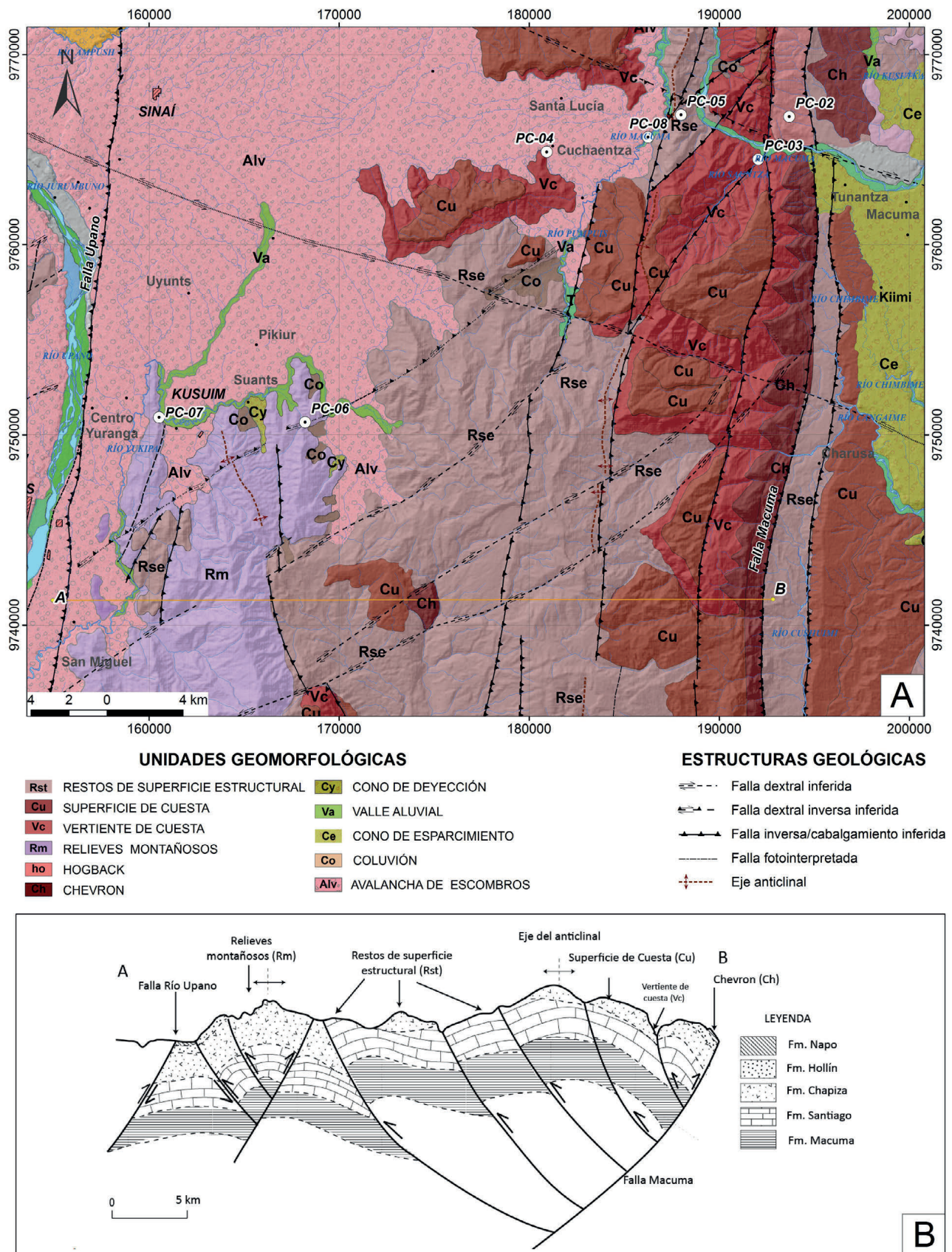




**Figura 10.** Unidades litológicas interpretadas a partir de las unidades geomorfológicas fotointerpretadas en el anticlinal de Macuma.

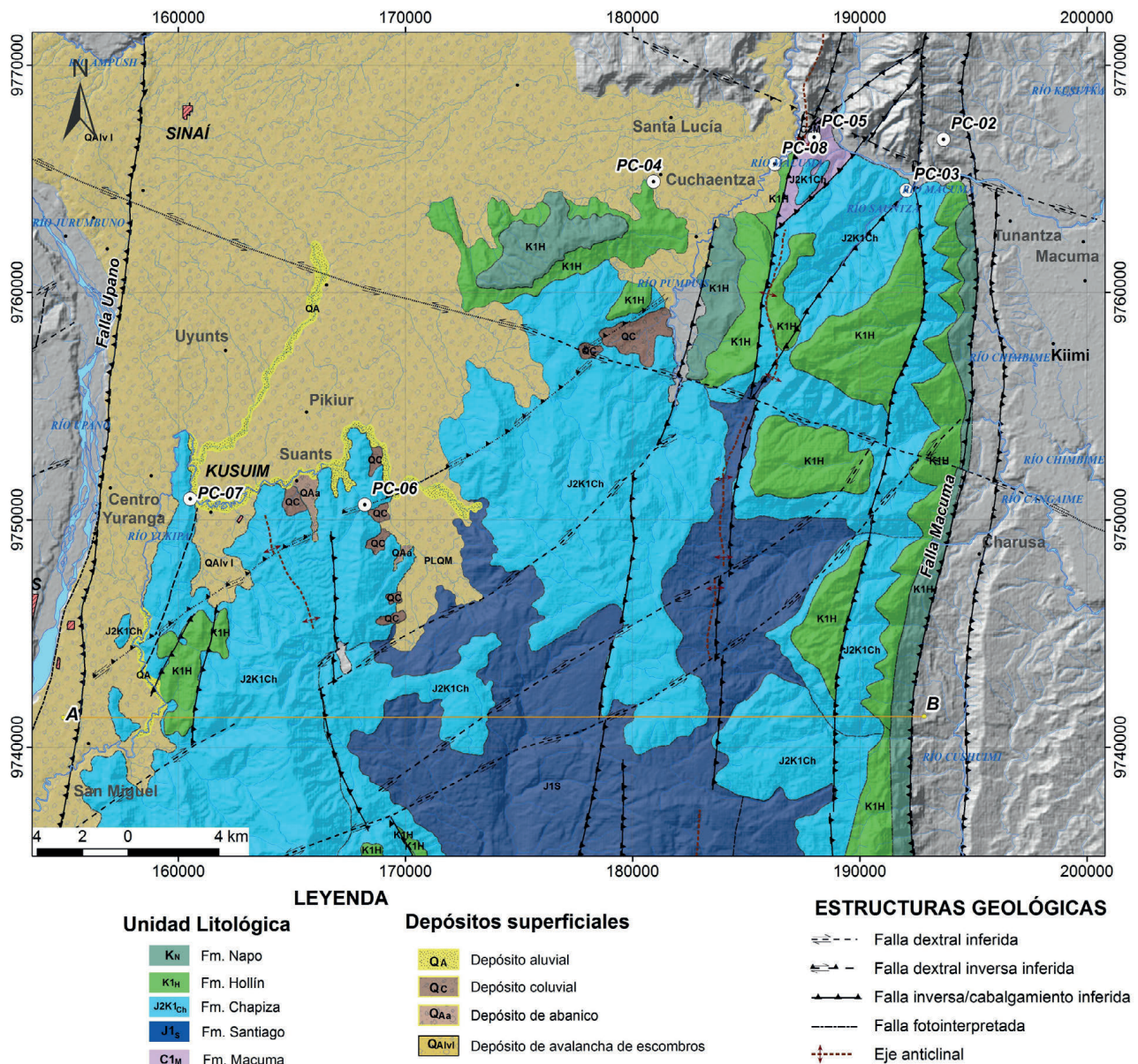
En el flanco oriental del anticlinal, en contacto estructural con la falla Macuma, se desarrollan fajas alargadas de chevrones con buzamientos hacia el este que varían entre  $35^\circ$  y  $45^\circ$ , pendientes escarpadas, baja densidad de drenaje y morfologías triangulares y escalonadas (Figura 11). Estas geoformas se relacionan con la presencia de una secuencia litológica compuesta por intercalaciones de cuarzoareniscas de alta resistencia, y niveles delgados de limolitas, arcillolitas o lutitas más susceptibles a la erosión (Villota, 2005), lo cual sugiere una posible correlación con la Formación Hollín (Figura 12).





**Figura 11.** Mapa geomorfológico del Anticlinal de Pumbuis, con una escala de trabajo 1:100.000.





**Figura 12.** Unidades litológicas interpretadas a partir de las unidades geomorfológicas fotointerpretadas en el Anticlinal de Pumbuis.

Adicionalmente, se observan superficies estructurales de tipo cuesta y sus respectivos frentes, geoformas conformadas por capas suavemente inclinadas con buzamientos entre  $5^\circ$  y  $12^\circ$  hacia el este. Estas están rodeadas por vertientes irregulares fuertemente disectadas, donde predominan patrones de drenaje subdendríticos a paralelos, pendientes que oscilan entre muy fuertes y escarpadas, y desniveles topográficos de hasta 600 metros. Este conjunto morfológico muestra similitudes con los relieves presentes en el Anticlinal de Macuma, hacia el norte, donde afloran litologías correspondientes a la Formación Chapiza.

En el sector de Cuchaentza (PC-04, coordenadas UTM-WGS84 18S: 180 930 E, 9 764 880 N) las capas inclinadas presentan un buzamiento hacia el norte, formando una superficie de cuesta con fuerte disección, drenaje subdendrítico, con pendientes moderadas a fuertes y escarpes con desniveles relativos que alcanzan los 100 metros (Figura 11).

En el centro del anticlinal la morfología es irregular, contrastando con las geoformas circundantes (cuestas y chevrones). En las zonas topográficamente más bajas, se observan vertientes irregulares con elevado grado de disección, donde algunos drenajes no presentan continuidad y las curvas de nivel se cierran formando depresiones circulares. Estas depresiones podrían estar asociadas a la presencia de dolinas generadas por procesos de disolución kárstica, típicos de terrenos carbonatados, como las calizas (Goudie, 2004).

A partir del análisis morfoestructural y de los afloramientos identificados en el Anticlinal de Macuma, se establece una correlación entre las areniscas cuarzosas de la Formación Hollín y las geoformas estructurales tipo cuesta y chevrones interpretadas en este trabajo. En tanto, las vertientes que rodean las superficies estructurales de cuesta, por su posición estratigráfica y similitud morfológica, son asignadas a la Formación Chapiza (Figura 11).

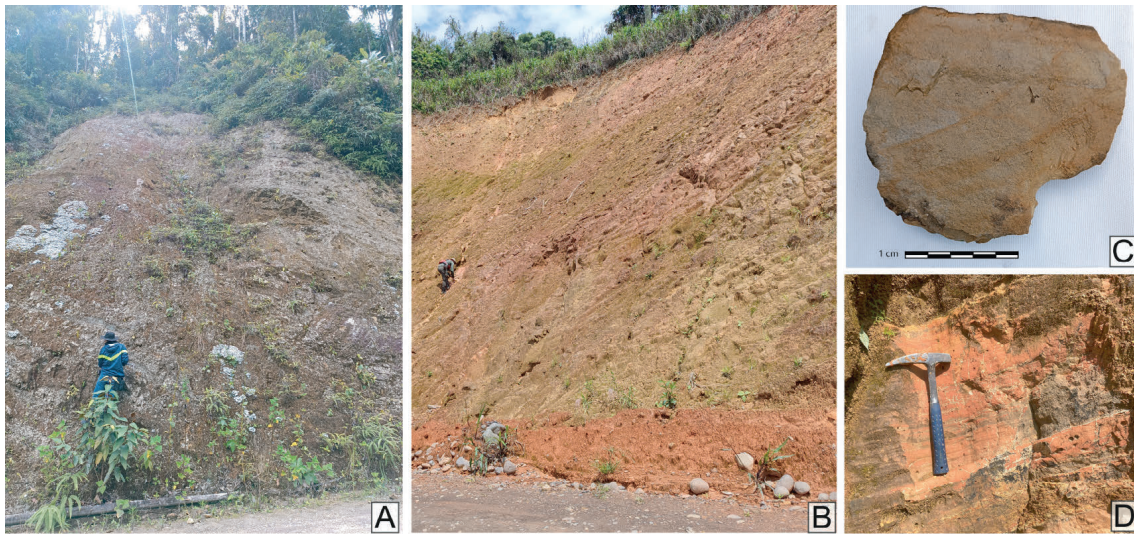
Según los trabajos de campo realizados en la hoja geológica de Macuma (IIGE, 2024b), al norte del anticlinal (PC-05, coordenadas UTM-WGS84 18S: 188 153 E, 9 766 834 N), aflora una intercalación de calizas de tipo *mudstone* hasta *wackestone* de color gris, formando relieves con baja densidad de drenaje y cimas suavizadas asociadas a la Formación Macuma (Figura 9 y Figura 12).

### Relieves montañosos de la Cordillera de Cutucú

Se ubican en el oeste de la Cordillera de Cutucú (Figura 5), colindando con la hoja geológica de Macas, escala 1:100.000, donde se extienden relieves montañosos orientados de norte a sur, que alcanzan los 1.900 msnm, con cimas agudas, vertientes irregulares de disectadas a muy disectadas, drenaje subdendrítico y pendientes de muy fuertes a escarpadas (100-150%).

Según los trabajos de campo realizados en las hojas geológicas de Macas y Macuma (IIGE, 2024b), en la comunidad Suants (PC-06, coordenadas UTM-WGS84 18S: 168 217 E, 9 750 676 N) aflora una secuencia sedimentaria de limolitas y arcillolitas de color rojizo estratificadas (So: 085/81), sobreyacidas por rocas volcanoclásticas de color marrón a violeta de la Formación Chapiza, así también, en el cerro Yuranga (PC-07, coordenadas UTM-WGS84 18S: 160 535 E, 9 750 911 N), afloran secuencias sedimentarias de limolitas masivas intercaladas con areniscas muy finas dispuestas en capas lateralmente continuas, de espesores centimétricos a decimétricos con estratos buzando hacia el oeste (245/30 y 272/38) (Figura 13).





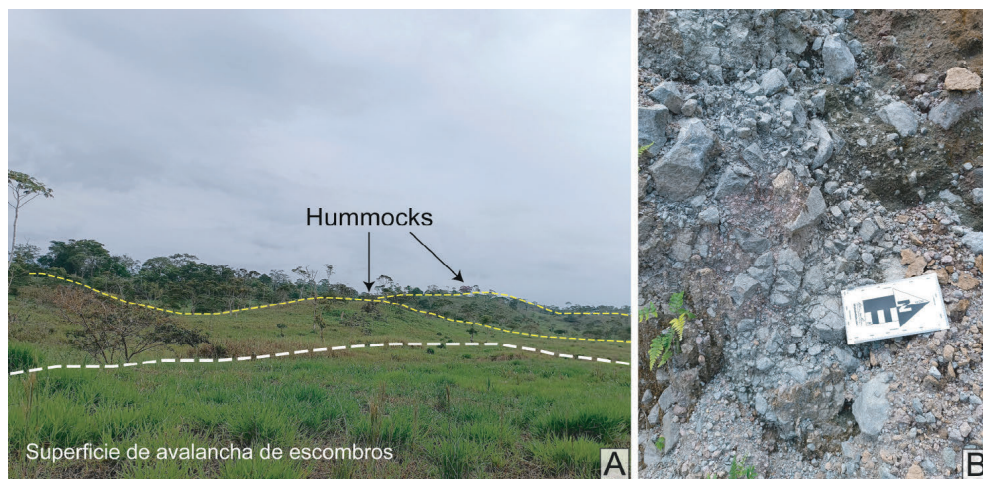
**Figura 13.** A. Afloramiento de la Formación Chapiza, sector comunidad Suants. Secuencia sedimentaria de limolitas y arcillolitas de color rojizo. B. Afloramiento Formación Chapiza, sector Centro Yuranga. C. Muestra de mano de una limolita de color rojizo comunidad Suants. D. Secuencias sedimentarias de limolitas masivas intercaladas con areniscas muy finas dispuestas en capas lateralmente continuas.

En el sector de Cerro Yuranga se identificaron afloramientos de la Formación Chapiza con estratos buzando hacia el oeste, mientras que, en el sector Suants el buzamiento de las capas cambia hacia el este, por lo que, por la posición de los estratos en este sector se interpreta un anticlinal con su eje orientado al NNO-SSE, con una longitud aproximada de 7 km (Figura 11).

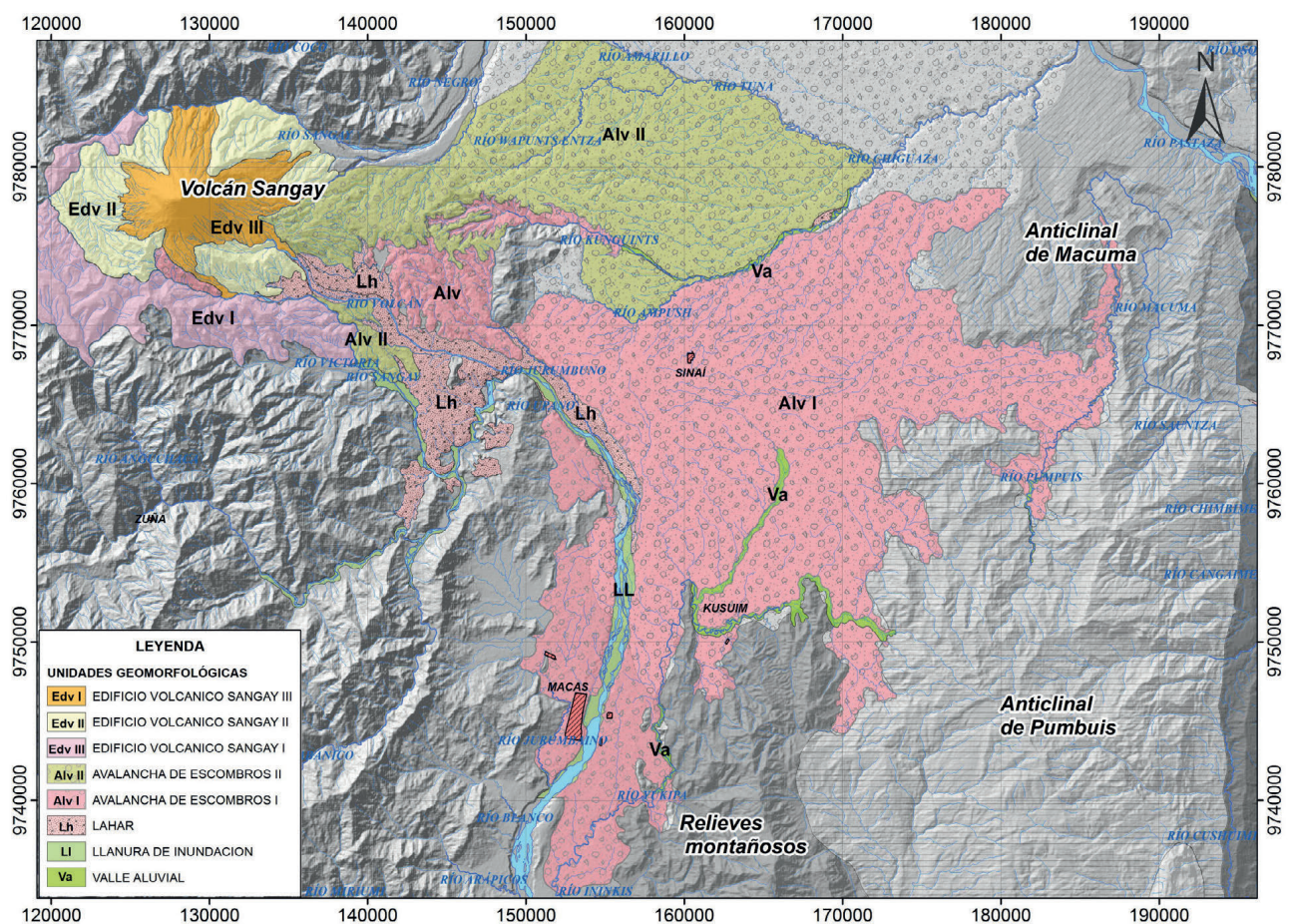
### Avalancha volcánica

Estudios realizados por Monzier *et al.* (1999) señalan la presencia de tres edificios volcánicos, los dos primeros han sido destruidos presumiblemente por colapsos sectoriales del mismo volcán. El edificio más antiguo, con un diámetro basal de aproximadamente 16 km, se presume fue destruido por un colapso, provocando una avalancha de escombros cuyos depósitos alcanzaron incluso las planicies amazónicas (Monzier *et al.*, 1999). En el presente estudio mediante fotointerpretación se distinguen amplias planicies, con pendientes planas a muy suaves, donde se disponen dispersos relieves colinados con cimas redondeadas atribuidos a geoformas de tipo *hummocks* (Figura 14a), con una dirección de flujo que desciende desde el flanco este del volcán Sangay (Figura 15), el cual corresponde a un estratovolcán de arco continental con una actividad principalmente estromboliana que ha generado distintos productos como cenizas, flujos de lava, flujos piroclásticos y lahares (Valverde, 2014).





**Figura 14.** A. Geoformas de tipo *hummocks* y superficies de avalancha de escombros producto de la actividad del volcán Sangay (edificio volcánico I). B. Depósito brechoso tipo avalancha, color rojizo a marrón ubicado en el sector de Cuchaentza.



**Figura 15.** Fotointerpretación de la avalancha de escombros del volcán Sangay, atribuida al edificio volcánico I.

En la margen izquierda del río Pumbuis, al oeste de Cuchaentza, en las coordenadas UTM-WGS84 18S: 186 264 E, 9 765 652 N (PC-08), aflora un depósito brechoso tipo avalancha, color rojizo a marrón, clastos monolíticos, bloques centimétricos de andesitas basálticas, 30% matriz, 70% clastos, matriz arenosa, alcanzando una distancia desde el centro de emisión de 54 km aproximadamente (Figura 14b).

## DISCUSIÓN

La sección norte de la Cordillera de Cutucú, se interpreta en el presente trabajo como una estructura anticlinal orientada de N-S, con inmersión hacia el norte, coincidiendo con el estudio realizado por Reyes *et al.* (2025), quien lo describe como un anticlinal abierto de ramas asimétricas con un hundimiento hacia el norte, sin embargo, el esquema litológico presentado por Reyes *et al.* (2025) indica que, los flancos del anticlinal geomorfológicamente interpretados como superficies y frentes de cuesta se encuentran formados por depósitos cuaternarios, contradictorio a lo encontrado en afloramientos identificados al norte del anticlinal en el sector de Tsumtsuim donde afloran cuarzoareniscas de la Formación Hollín formando la vertiente de la cuesta, sobreyacidas por calizas fosilíferas de la Formación Napo, formando la superficie y el frente de la cuesta, así como afloramientos encontrados en el sector de Wisu (PC-02), al este del anticlinal, donde aflora una secuencia de cuarzoareniscas con estratificación cruzada de la Formación Hollín dispuestas a manera de *hogbacks* con buzamiento hacia el este.

Por otro lado, durante los recorridos de campo realizados en la hoja geológica de Macuma (escala 1:100.000), no fue posible identificar afloramientos de la Formación Santiago en el Anticlinal de Pumbuis. No obstante, mediante fotointerpretación, se identificaron en el centro del anticlinal morfologías asociadas a procesos de erosión kárstica, como dolinas, las cuales se presentan como depresiones circulares. Estas características podrían estar asociadas a las calizas de la Formación Santiago, lo que coincide con las observaciones previas de Geyer (1974), Pindell y Tabbutt (1995), Romeuf (1995), Christophoul (1999) y Gaibor *et al.* (2008), quienes afirman que la Formación Santiago se puede identificar tanto en la Cordillera de Cutucú como en la Cordillera del Cóndor, extendiéndose hacia el centro-sur de la cuenca Santiago.



## CONCLUSIONES

En la presente investigación la geomorfología contribuye en la elaboración de cartografía geológica a partir de la identificación de los principales rasgos morfológicos asociados a los diferentes tipos de roca encontrados en campo, facilitando la interpretación de contactos geológicos en zonas de difícil acceso, tomando como referencia los marcadores geomorfológicos característicos de la Zona Subandina, entre ellos geoformas de origen estructural como superficies de cuestras asociados a la Formación Hollín.

La Cordillera de Cutucú, se presenta como una estructura orientada N-S, extendiéndose desde la cuenca del río Santiago hasta el río Pastaza, donde se levanta el Anticlinal de Macuma, que según la disposición de las capas presenta una inmersión hacia el norte, con sus flancos modelados como geoformas de origen estructural, donde afloran rocas sedimentarias del Cretácico de la Formación Hollín como parte de las vertientes de cuestra y rocas de la Formación Napo, formando superficies de cuestras, que buzanan hacia ambos lados del eje del anticlinal, el cual se encuentra afectado por intensos procesos erosivos, que han dejado al descubierto rocas más antiguas, pudiendo correlacionarse según su posición estratigráfica y sus rasgos morfológicos con la Formación Chapiza.

Continuando hacia el sur de la Cordillera de Cutucú, se interpretó el Anticlinal de Pumbuis, desde el río Tayuntsa al sur, afluente del río Chapiza, hasta el río Macuma al norte, limitado por una falla fotointerpretada de tipo dextral inversa, rasgo morfológico que prácticamente lo divide del anticlinal de Macuma, dejando al descubierto en el centro rocas del Paleozoico de la Formación Macuma, mientras que, en el flanco oriental del anticlinal se disponen a manera de fajas alargadas chervrones orientados de sur a norte con buzamiento hacia el este, en formas triangulares y escalonadas, características que se asocian litológicamente a una intercalación de rocas de alta resistencia como las cuarzoareniscas de la Formación Hollín, así también se fotointerpretaron depresiones circulares las que podrían estar asociadas a la presencia de dolinas originadas por procesos de erosión kárstica típico de calizas pudiendo ser parte de la Formación Santiago.

Hacia el este de la Cordillera de Cutucú (Figura 12), la zona se encuentra prácticamente cubierta por un depósito de avalancha de escombros de grandes dimensiones, producto del colapso del edificio Sangay I, formando amplias planicies, con pendientes muy suaves y *hummocks* dispersos como relieves colinados con cimas redondeadas.



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano, desarrollado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético, anexo al Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, y producto del levantamiento de información geológica realizada en el año 2024, en las hojas geológicas de Macas y Macuma, escala 1:100.000, en proceso de publicación.

## REFERENCIAS

- Baby, P., Bernal, C., Christophoul, F., Valdez, A. 1998. *Modelo estructural y ciclos tectono-sedimentarios de la cuenca Oriente*. Versión 1.0. Convenio Petroproducción-Orstom.
- Baby, P., Rivadeneira, M., Barragán, R., Christophoul, F. 2013. Thick-skinned tectonics in the Oriente foreland basin of Ecuador. In: Nemcok, M., Mora, A., Cosgrove, J. (eds.), *Thick-Skinned-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion*. Geological Society London, Special Publications 377(1): 59–76. Available at: <https://doi.org/10.1144/SP377.1>
- Barragán, R., Christophoul, F., White, H., Baby, P., Rivadeneira, M., Ramirez, F., Rodas, J. 2004. Estratigrafía Secuencial del Cretácico De La Cuenca Oriente Del Ecuador. En: P. Baby, M. Rivadeneira, R. Barragán (eds.), *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Institut Français d'études andines 144: 45-68.
- Christophoul, F. 1998. *Comisión zona Gualaquiza, Carretera Méndez-Patuca, Santiago-Morona y Cerro Macuma*. Fonds Documentaire ORSTOM, pp. 1–41.
- Christophoul, F. 1999. *Discrimination des influences tectoniques et eustatiques dans les bassins liés à des zones de convergence : exemples du bassin Subandin d'Équateur*. Thèse de doctorat. Université P. Sabatier. Toulouse (FRA).
- Dashwood, M.F. and Abbotts, I.L. 1990. Aspects of the petroleum geology of the Oriente Basin, Ecuador. *Geological Society, Special Publications* 50(1): 89–117. Available at: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP1990.050.01.06>
- Delgado, J., Padilla, F. y Barrientos, V. 2010. *Prácticas de GEOLOGÍA. Mapas Geológicos y Problemas*. Universidade da Coruña.
- Díaz, M., Baby, P., Rivadeneira, M., Christophoul, F. 2004. El pre-apertense en la cuenca oriente ecuatoriana. En: P. Baby, M. Rivadeneira y R. Barragán (eds.), *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut Français d'études andines 144: 23–44. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.2989>

- Egüez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C., Dart, R. 2003. *Database and Map of Quaternary Faults and Folds in Ecuador and its Offshore Region*. International Lithosphere Program. USGS.
- Gaibor, J., Hochuli, J., Winkler, W., Toro, J. 2008. Hydrocarbon source potential of the Santiago Formation, Oriente Basin, SE of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 25(2): 145–156. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.07.002>
- Geyer, V.O. 1974. Der Unterjura (Santiago Formation) Von Ekuador. *Neue. Jb. Geologische Paläontologische M.* 9, pp. 525-541
- Goudie, A. 2004. *Encyclopedia of Geomorphology*. 1<sup>st</sup> Edition. Routledge (Switzerland). Available at: [http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484\\_SISTEM\\_PEMBETUNGAN\\_TERPUSAT\\_STRATEGI\\_MELESTARI](http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI)
- Gramal, A., Carranco, F., Romero, C., Pulupa, A., Calderón, D., Toainga, S. 2021. Evidencias de canibalización de secuencias Cretácicas y Paleógenas de la Cuenca Oriente en la cuña orogénica de los Andes ecuatorianos. *Boletín de Geología* 43(3): 15–34.
- Gustavsson, M. and Kolstrup, E. 2009. New geomorphological mapping system used at different scales in a Swedish glaciated area. *Geomorphology* 110(1–2): 37–44. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.12.022>
- Gustavsson, M., Kolstrup, E. and Seijmonsbergen, A.C. 2006. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology* 77(1–2): 90–111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.01.026>
- Gutiérrez, E., Horton, B., Vallejo, C., Jackson, L. 2019. Provenance and geochronological insights into Late Cretaceous-Cenozoic foreland basin development in the Subandean Zone and Oriente Basin of Ecuador. *Andean Tectonics* 237–268. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00011-3>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. IIGE. 2024a. *Anaglifos de la hoja geológica de Macuma. 1:5.000*. Macuma. Instituto de Investigación Geológico y Energético.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. IIGE. 2024b. *Mapas geológicos de las hojas de Macas y Macuma [en elaboración]. 1:100.000*. Quito. Instituto de Investigación Geológico y Energético.
- Instituto Geográfico Militar. IGM. 2013. Capas de Información Geográfica Básica del IGM de libre acceso. Archivos SHP. Cartas topográficas escala 1:50.000, formato SHP. Quito, Ecuador. Available at: <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>



- Monzier, M., Robin, M., Hall, M., Cotton, J., Samaniego, P. 1999. Sangay volcano, Ecuador: structural development, present activity and petrology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 90(1): 49–79. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00021-9)
- Naranjo, J. 2015. *Fotogeología práctica: Fotogeología descriptiva e interpretativa con ejemplos de Colombia*. Editorial Universidad de Caldas. Manizales-Colombia.
- Pindell, J.L. y Tabbutt, K.D. 1995. Mesozoic-Cenozoic Andean paleogeography and regional controls on hydrocarbon systems. In: A. J. Tankard, R. Suárez Soruco and H. J. Welsink (eds.), *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists 62: 593
- Reyes, P., Valarezo, M., Ramos, S., Procel, S., Lasluisa, E., Cabero, A. 2025. Quaternary deflection of the Macuma River as it crosses the actively growing Cutucú antiformal culmination in southeastern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences* 151: 105264. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105264>
- Rivadeneira, M., Baby, P., Dávila, C., Christophoul, F. 1999. *Los principales campos de Petroproducción : estilo tectónico, etapas de deformación y características geológicas*. Petroproducción—IRD (EX ORSTOM).
- Robertson, K., Jaramillo, O. y Castiblanco, M. 2013. *Guía Metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. IDEAM, pp. 1–72. Available at: <https://es.scribd.com/document/283906599/Guia-Metodologica-Para-La-Elaboracion-de-Mapas-Geomo>
- Romero, C.W., Escobar, V., Calderón, D., Gramal, A., Menéndez, E., Gallardo, O., Vélez, T. 2021. Las características geoquímicas y significado geodinámico del Miembro Yaupi de la Formación Chapiza en la Cordillera Cutucú. *Revista Científica GeoLatitud* 4(2): 1–10.
- Romeuf, N. 1995. *Volcanisme jurassique et métamorphisme en Equateur et au Pérou: caractéristiques pétrographiques, minéralogiques et géochimiques : implications géodynamiques*. Ed. de l'ORSTOM.
- Romeuf, N., Münch, P., Soler, P., Jaillard, E., Pik, R., Aguirre, L. 1997. Mise en évidence de deux lignées magmatiques dans le volcanisme du Jurassique inférieur de la zone subandine équatorienne. *Academie Des Sciences Paris* 324: 361–368.
- Serrano, Á., Salazar, E., Nozal, F., Suárez, A. 2004. *Mapa Geomorfológico de España, a Escala 1:50.000. Guía para su elaboración*. Ministerio de Educación y Ciencia. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. SIGTIERRAS. 2012. *Modelo Digital del Terreno de la hoja geológica de Macuma. Tamaño de pixel 3x3 metros*. Quito. Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica.
- Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. SIGTIERRAS. 2015. *Mapa geomorfológico de los cantones Taisha y Morona. 1:25.000*. Quito. Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica.

- Smith, M., Paron, P. and Griffiths, J. 2011 Geomorphological Mapping. Methods and applications. In: J. F. Shroder Jr (ed.), *Developments in Earth Surface Processes* 15. Elsevier.
- Spikings, R., Paul, A., Vallejo, C., Reyes, P. 2021. Constraints on the ages of the crystalline basement and Palaeozoic cover exposed in the Cordillera Real, Ecuador:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analyses and detrital zircon U/Pb geochronology. *Gondwana Research* 90: 77–101. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.10.009>
- Tschopp, H.J. 1953. Oil explorations in the Oriente of Ecuador 1938-1950. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist* 37(10): 2303–2347.
- Vallejo, C., Romero, C., Horton, B., Spikings, R., Gaibor, J., Winkler, W., Esteban, J., Thomsen, T., Mariño, E. 2021. Jurassic to Early Paleogene sedimentation in the Amazon region of Ecuador: Implications for the paleogeographic evolution of northwestern South America. *Global and Planetary Change* 204: 103555. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2021.103555>
- Valverde, V. 2014. *Los depósitos de avalancha de escombros provenientes del Volcán Sangay: caracterización petrográfica - geoquímica*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería en geología y Petróleos. Ecuador.
- Vargas, E. 1992. *La Fotografía aérea y su aplicación a estudios Geológicos y Geomorfológicos. Principios de percepción remota*. Tomo I. Universidad Mayor de San Andrés, p. 874.
- Villota, H. 2005. *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Instituto Geográfico Agustín Cadazzi. Colombia.
- White, H., Skopec, R., Ramírez, F., Rodas, J. and Bonilla, G. 1995. Reservoir Characterization of the Hollin and Napo Formations, western Oriente Basin, Ecuador. In: Tankard, A., Suárez Soruco, R. and Welsink, H. (eds.), *Petroleum Basins of South America*. AAPG Memoirs 62: 573-596.
- Ye, Y. 2014. *Depositional Systems and Sequence Stratigraphy of the M1 Sandstone in Tarapoa, Ecuador*. Msc. Thesis. University of Texas at Austin. USA.