

The search of the geotouristic heritage in the Colombian llanos Foothills and adjacent plains: implications for the origin of the current landscape

Germán Chicangana ^a, Alfonsina Bocanegra ^b, Leydy Arboleda-Montes ^b & Andreas Kammer ^c

^a *Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, Colombia. germanchicangana@usantotomas.edu.co*
^b *Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, Colombia. alfonsinabocanegra@usantotomas.edu.co, leydyarboleda@usantotomas.edu.co*
^c *Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Colombia. akammer@unal.edu.co*

Received: December 4th, 2019. Received in revised form: January 13th, 2020. Accepted: January 20th, 2020

Abstract

In the Colombian Llanos Foothills Department of Meta, five places were chosen to endorse its geology for Geotourism purposes by the Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, From the data collected in the field, secondary geologic information verified was possible define a evolution model of the landscape related to the Llanos Foothills and adjacent plains from a geotectonic point of view, giving with this the importance of a role in the Colombian geological heritage for the understanding of the recent geological evolution (Miocene - Holocene) of this sector of Colombian territory. The geological evolution have a long history of the conformation of the crust which covers from the Mesoproterozoic to the Present, and the landscape evolution, both the Piedmont which is part of the Eastern Cordillera, like the Colombian eastern plains were formed from the Upper Miocene to the Present.

Keywords: Colombian Llanos Foothills; geological heritage; geotourism; landscape evolution; Colombian Llanos.

La búsqueda del patrimonio Geoturístico en el Piedemonte Llanero Colombiano y llanuras adyacentes: implicaciones para el origen del paisaje actual

Resumen

En la región del Piedemonte Llanero del Departamento del Meta, en Colombia, se escogieron cinco lugares para avalar su geología con fines de Geoturismo. Con los datos recogidos en campo, la revisión de información pre existente se consiguió esbozar un modelo de la evolución del paisaje relacionado con el Piedemonte Llanero y llanuras adyacentes desde un punto de vista geotectónico, con el cual se recalca la importancia de su papel en el geopatrimonio colombiano con el entendimiento de la evolución geológica y del paisaje reciente (lapso Mioceno - Holoceno) de este sector del territorio colombiano. Con la evolución geológica se encontró una larga historia de conformación de la corteza la cual abarca desde el Mesoproterozoico hasta el Presente, y con respecto a la evolución del paisaje, se encontró que tanto el Piedemonte que es parte de la Cordillera Oriental, como los Llanos se conformaron desde el Mioceno Superior hasta el Presente.

Palabras clave: Piedemonte Llanero Colombiano; patrimonio geológico, geoturismo, evolución del paisaje, Llanos Orientales Colombianos.

1. Introducción

El objetivo de esta investigación fue el de buscar establecer cinco lugares promisorios para realizar proyectos

geoturísticos que contribuyan con el desarrollo sostenible de algunos municipios del Departamento del Meta. Para conseguir esto esta investigación se apoyó del convenio suscrito entre la Universidad Santo Tomás, Sede

How to cite: Chicangana, G, Bocanegra, A, Arboleda-Montes, L. y Kammer, A. La búsqueda del patrimonio Geoturístico en el Piedemonte Llanero Colombiano y llanuras adyacentes: implicaciones para el origen del paisaje actual. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra, 47, pp. 27-38, Agosto 2019 - Enero 2020.

Villavicencio, con la Gobernación del Departamento del Meta, con el cual se desarrolló el programa "Desarrollo de una estrategia de transferencia y apropiación social de Ciencia, Tecnología e Innovación (CT&I) en los ámbitos de la seguridad alimentaria y turismo rural en el Departamento del Meta". Este programa se financió con recursos de Gobernación (OCAD) y de COLCIENCIAS, con los cuales ejecutó el proyecto priorizado PAED - COLCIENCIAS "Desarrollo de una estrategia de transferencia y apropiación social de Ciencia, Tecnología e Innovación (CT&I) en los ámbitos de la seguridad alimentaria y turismo rural en el Departamento del Meta". Derivado de este, la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, se inscribió en dos de los focos estratégicos de las agendas de la política pública nacional y regional: 1. Seguridad Alimentaria, Desarrollo Agropecuario y agro industrial y 2. Turismo llanero.

Los lugares escogidos aquí fueron en su orden de norte a sur (Fig. 1), las Termales de Guaicaramo, ubicadas en el municipio de Barranca de Upía, las Salinas del Upín en el municipio de Restrepo, las Cascadas de la vereda de Angosturas en el municipio de Cubarral, las Piscinas del Rio Guejar en el municipio de Lejanías, y la Laguna del Amor en el municipio de Puerto Rico. Esta iniciativa surgió porque estas zonas se encontraban en conflicto armado permanente desde hace cerca de sesenta años (finales de la década de 1950). La exploración geológica de esta región, y en concreto para la zona de la Sierra de La Macarena y el borde llanero adyacente

a los municipios Cubarral, Lejanías, Puerto Rico y San Juan de Arama, da inicio con [1], quien fue el primer geólogo que describe las litologías y sus contenidos de fósiles, indicando una edad que abarca el lapso Cámbrico - Ordovícico, a rocas que afloran en la Sierra de La Macarena y en el camino que de Uribe conduce al Huila en la Cordillera Oriental. El Servicio Geológico Nacional realizó luego un reconocimiento inicial para la parte sur de la Sierra de La Macarena por parte de [2], y solo desde 2010 el Servicio Geológico Colombiano inició la labor de cartografía geológica a escala 1: 100.000 para esta región.

Hacia al norte del Piedemonte Llanero del Departamento del Meta, en el sector de Barranca de Upía y sus alrededores, se destaca el trabajo de [3], que redefinieron algunas unidades estratigráficas, y la información geológica regional a escala 1:100.000 de este lugar está en la Plancha 229 – Gachala [4]. Para el sector de Restrepo un poco al sur de la anterior, el conocimiento geológico se desarrolló históricamente gracias a las Salinas del Upín. La información geológica regional presenta como base la plancha geológica del cuadrángulo L - 11 Villavicencio a escala 1.200.000 realizada por el Inventario Minero Nacional en 1964 [5]. Para la mina de las Salinas del Upín, el Inventario Minero Nacional a fines de la década de 1960 realizó un estudio geológico minero detallado que evaluó las reservas de sal para este sector de la Cordillera Oriental [6]. La cartografía geológica regional cuenta con la Plancha 247 - Caqueza a escala 1:100.000 [7]. Recientemente para esta región de la Cordillera Oriental, el Piedemonte Llanero y para los Llanos adyacentes, se destacan entre otros [8-10]. En este trabajo se levantó la geología de cada zona analizada, confrontándola con la información pre - existente y verificando su estratigrafía con esta. Igualmente se hizo un reconocimiento regional con la ayuda de imágenes satelitales compuestas, con las cuales se realizó una reconstrucción de la evolución de los paisajes del Piedemonte Llanero y de la cuenca de los Llanos próxima a la Sierra de La Macarena en el municipio de Puerto Rico, cerca de la confluencia entre los ríos Ariari y Guejar. Con esto último se propone aquí una interpretación hipotética del desarrollo orogénico de la Cordillera Oriental, la Sierra de la Macarena y de la Cuenca de los Llanos adyacentes al piedemonte.

2. Metodología

Para realizar la determinación del área de interés (Fig. 2) se realizó un trabajo de exploración geológica para definir su estratigrafía y de esta manera correlacionarla con la geología regional de acuerdo a la información secundaria. Se realizó labor fotogeológica con el uso de imágenes satelitales tipo ASTER para determinación topográfica y LANDSAT para imagen, con las que se efectuó fotogeología de carácter local produciendo mapas geológicos locales. Se tomaron en cuenta los resultados de los datos de campo definiendo la unidad geológica por su interés estratigráfico, su origen y su papel en la historia geológica evolutiva a nivel regional. Para esto último se estimó su rol en la construcción del paisaje actual del Piedemonte Llanero, que da el valor agregado al

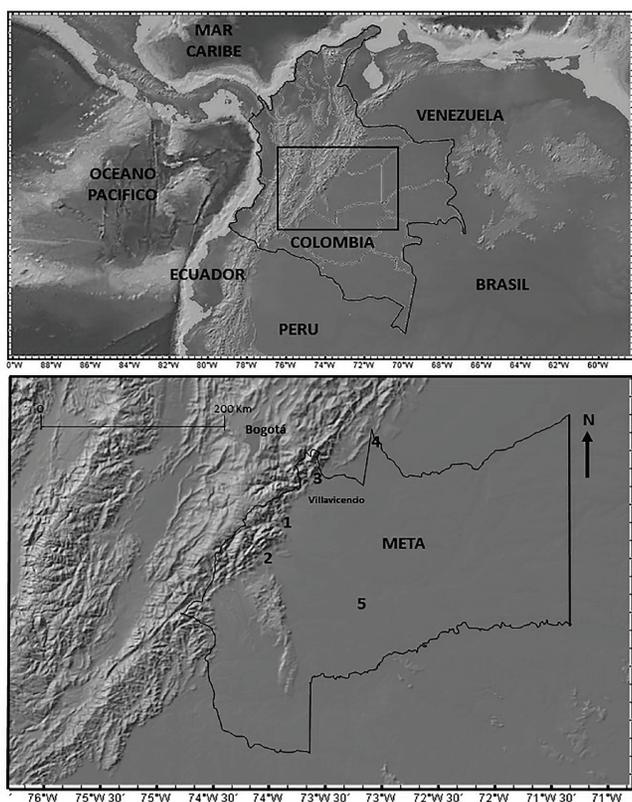


Figura 1. Localización de los sitios contemplados en este trabajo. Fuente: Los Autores.

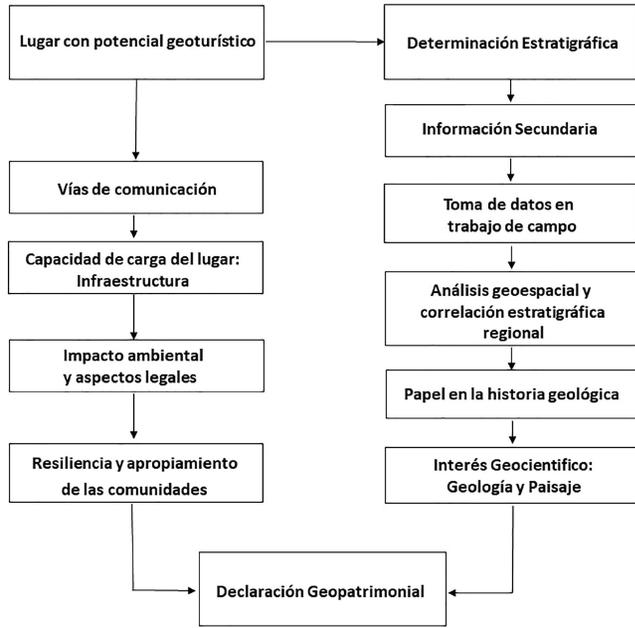


Figura 2. Metodología usada en este trabajo.
Fuente: Los Autores.

patrimonio geológico de las zonas escogidas en esta investigación. Se determinó la viabilidad de las áreas para fines geoturísticos realizándose un análisis sobre la accesibilidad al lugar como vías de comunicación. En esta fase se ejecutó un estudio de impacto ambiental para cada lugar con el fin de indicar la capacidad de carga del lugar en su oferta de servicios, como hospedajes, alimentación y asistencia médica, entre otros. Se realizaron entrevistas en la población que ocupa las zonas.

3. Resultados

3.1. Cascadas del Ariari, Municipio de Cubarral

En el municipio de Cubarral al sur del departamento del Meta, está el sitio denominado como las Cascadas del río Ariari, ubicado en la vereda Angosturas al occidente del municipio. (Figs. 1 y 3). Este lugar que se denomina Reserva Natural de La Esmeralda, se ubica a unos 8 km de la cabecera municipal siguiendo el curso del río Ariari aguas arriba hasta llegar a los límites con el Parque Natural Nacional de Sumapaz, y tiene como principal atractivo turístico las quebradas Esmeralda y el río Ariari.

La geología de este sector es bastante compleja (Fig. 3), porque esta región está cruzada por la Falla Ariari con rumbo N20°O. Esta falla que sigue el curso del río Ariari en su parte alta, es de tendencia inversa ya que el paquete rocoso al sur de esta presenta litologías con edad Proterozoico tardío como la Formación Guape - Duda, a cuya edad se le infiere Ediacarico o más antigua [11]. Estas rocas están intruidas por gabros con metamorfismo [11], o sin metamorfismo (Fig. 4).

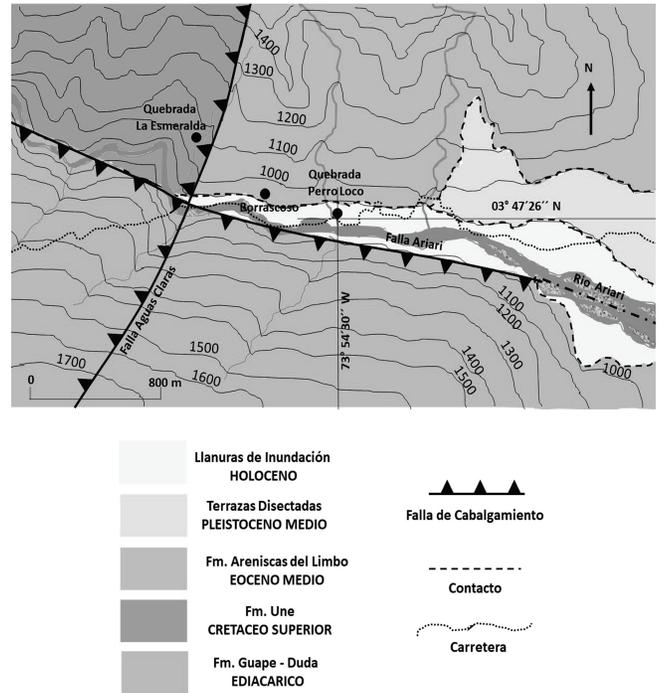


Figura 3. Mapa Geológico del sitio Cascadas del Ariari en el municipio de Cubarral.
Fuente: Los Autores



Figura 4. Diversos aspectos del sitio Cascadas del Ariari en el municipio de Cubarral. a y d. Aspectos de las cascadas en la Reserva La Esmeralda con afloramientos de areniscas de la Formación Une. b. Muestra de mano del Gabro del Ariari. c. Areniscas de grano fino de la Formación Areniscas del Limbo con intercalaciones con estructura tipo boundin.
Fuente: Los Autores.

La geología de este sector es bastante compleja (Fig. 3), porque esta región está cruzada por la Falla Ariari con rumbo N20°O. Esta falla que sigue el curso del río Ariari en su parte alta, es de tendencia inversa ya que el paquete rocoso al sur de esta presenta litologías con edad Proterozoico tardío como la Formación Guape - Duda, a cuya edad se le infiere Ediacarico o más antigua [11]. Estas rocas están intruidas por gabros con metamorfismo [11], o sin metamorfismo (Fig. 4).

En la cartografía geológica del Servicio Geológico Colombiano [12], estas unidades no fueron diferenciadas, mientras que al norte de la falla se presentan litologías que abarcan el lapso Cretáceo - Paleógeno. En este sector el río Ariari sirve de límite entre los municipios de Cubarral y El Dorado. Al norte de la falla en el sitio denominado “El Borrascoso”, afloran rocas sedimentarias consistentes en areniscas que forman parte de la Formación Areniscas de El Limbo con edad Eoceno [12]. Hacia el oeste y teniendo como límite la Falla Aguas Claras, la cual también es de carácter inverso, afloran rocas sedimentarias consistentes en areniscas con intercalaciones de limolitas, pertenecen a la Formación Une [12]. No hay claridad sobre la falla Aguas Claras y su relación con respecto a las fallas del Sistema de Fallas de Algeciras, en lo indicado por la cartografía geológica de la plancha 285 - San Martín [12]. Se asume aquí que la Falla Aguas Claras es parte de este sistema de fallas. Las cascadas con interés geoturístico, se presentan en afloramientos de la Formación Une y la Formación Areniscas de El Limbo, en la margen izquierda del río Ariari, coincidiendo con los cursos de las quebradas. Desde el punto de vista geoturístico se observa que las cascadas presentan paisajes atractivos en donde afloran las rocas de estas dos unidades (Fig. 4). La geomorfología en esta región ha sido modelada por la actividad tectónica de las fallas, y es resultado de la emergencia de la cordillera en este caso el Piedemonte Llanero en los últimos 6 millones de años [8].

Desde el punto de vista estratigráfico, se presentan varias discordancias que no son claras porque se presenta un contacto fallado entre las unidades del Ediacarico con las unidades del Cretáceo y el Paleógeno con la Falla Ariari, y un contacto fallado de la Falla Aguas Claras entre la Formación Une con la Formación Areniscas de El Limbo. La evolución morfotectónica en este caso está gobernada por el accionar del Sistema de Fallas de Algeciras, el cual deriva de la evolución de la subducción oblicua de la Dorsal de Carnegie [13]. Con esta interpretación sugerida aquí, indicamos que el origen de la modelación orogénica en esta región de Colombia, obedece a este estilo de placa subducida que da como resultado la exhumación de las rocas de la Cordillera Oriental y la Sierra de la Macarena, ampliando más hacia el oriente el edificio orogénico y el piedemonte. La presencia de rocas de edad Neoproterozoica en este sector, indica una emergencia inicial de las rocas en esta región, situación que se ha constatado para el Mioceno Medio (~ 13 Ma) a partir de datación termocronológica con trazas de fisión en Apatito para la parte meridional de la Cordillera Oriental [14], y para el sector meridional de la Cordillera Central [15], mientras que hacia el norte en el Macizo de Santander este levantamiento inició un poco antes, en el

Mioceno Temprano [16,17]. De acuerdo a lo anterior se indica por deducción lógica, que tanto del Piedemonte Llanero de este sector (2,5° - 3,7° N), junto con las de la parte norte de la Sierra de La Macarena sufrieron procesos erosivos largos, eliminando rocas del lapso Paleozoico - Paleógeno, favoreciendo para el Presente el afloramiento de rocas con edad Mesoproterozoico y Neoproterozoico.

3.2. Piscinas del Guejar, Municipio de Lejanías

Las Piscinas del Guejar, en el municipio de Lejanías al sur del departamento del Meta (Figs. 1 y 5) es el principal atractivo turístico en el río Guejar para el municipio de Lejanías. En este lugar la comunidad, usa parte del cauce del río como balnearios y los pozos que se presentan por los escarpes de la roca aflorante.

La topografía abrupta del sector controlada por los afloramientos, han generado en el cauce saltos de pocos metros de altura y pequeñas cascadas. Geológicamente en este sector del río Guejar (Figs. 5 y 6), se presenta un gran afloramiento rocoso que está compuesto por areniscas con intercalaciones de limolitas. En visita de campo a las fincas El Diamante y Guadualitos en donde se encuentra el sitio denominado “Piscinas del Guejar”, y siguiendo la información reportada en la cartografía geológica de la plancha 305 - San Juan de Arama [18], se presentan dos unidades litológicas. La primera corresponde a la Formación Guayapita de edad Ordovícico la cual forma parte del Grupo Guejar o “Series Guejar” [1]. Esta litología está representada por una alternancia de limolitas y areniscas (Fig. 6). Estas rocas se presentan hacia la margen derecha del río Guejar en caños y quebradas que confluyen con el río al norte de las fincas. A una distancia de 2,2 km siguiendo el curso del río Guejar aguas abajo, se presentan areniscas de grano grueso y areniscas conglomeráticas pertenecientes al Grupo Palmichal de edad Cretáceo Tardío (Fig. 6), que se relaciona aquí más a rocas de la Formación Guadalupe en el sentido de [3].

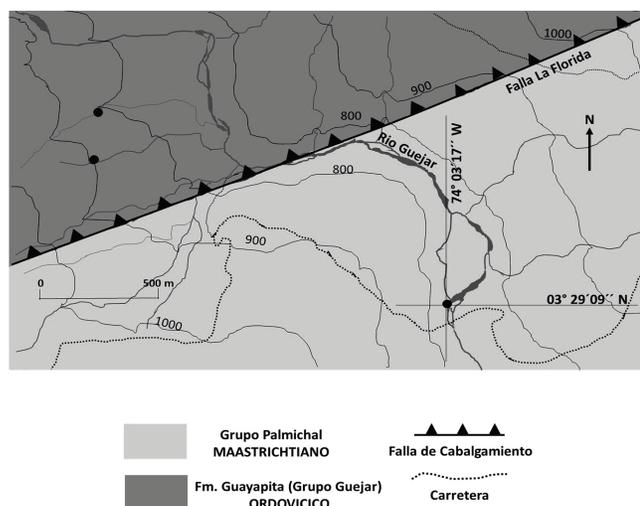


Figura 5. Mapa Geológico del sitio Piscinas del Guejar. Fuente: Los Autores.

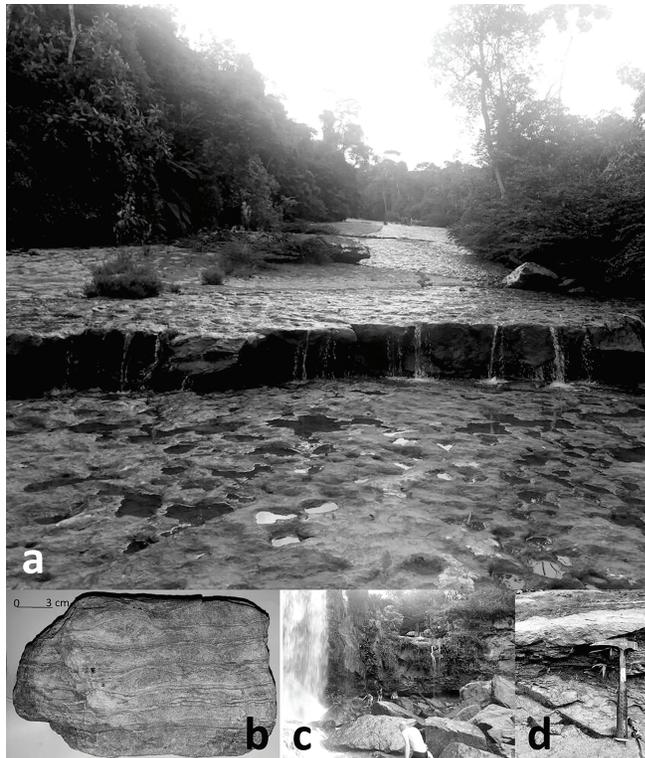


Figura 6. a y c. Diversos aspectos de las “Piscinas del Guejar”. b. Muestra de mano que representa una intercalación de areniscas y limolitas de la Formación Guayapita de la denominada “Series Guejar”. d. Areniscas del Grupo Palmichal.

Fuente: Los Autores.

El contacto discordante entre estas unidades se puede observar en varios sitios de la Plancha 305 - San Juan de Arama [18], sin embargo, en este sitio no se observó este contacto. Desde un punto de vista regional en esta zona cruza una falla con rumbo NE denominada Falla La Florida, la cual está asociada al Sistema de Fallas de Algeciras. Esta falla buza hacia el NO, es de carácter inverso y su bloque occidental sobrepone litologías más antiguas con respecto al oriental. Esto último explicaría el cambio de litología y la ausencia del contacto discordante no verificado en campo. Como interés geoturístico el río Guejar presenta paisajes atractivos en donde las rocas de estas dos unidades estratigráficas presentan afloramientos, tanto desde su cuenca alta, para el sitio aquí descrito (Fig. 6), como en la cuenca media que corresponde a los municipios de Mesetas y San Juan de Arama. En estos últimos municipios, el río cruza un cañón en el cual su cauce bordea la estribación norte de la Sierra de la Macarena, dentro del Parque Nacional Natural de la Serranía de la Macarena. En este último sector se presentan lugares como altos y miradores en donde se observa el paisaje a nivel regional, siendo estos muy atractivos para el turismo. Desde el punto de vista ambiental el territorio del municipio de Lejanías corresponde a parte del Parque Nacional Sumapaz y de la Zona de Protección de la Vertiente Oriental. La evolución del paisaje en el sentido orogénico es la misma que se describió para la cuenca alta del río Ariari en el municipio de Cubarral.

3.3. Salinas del Upín, Municipio de Restrepo

Las Salinas del Upín en el municipio de Restrepo (Figs. 1 y 7), aprovecha su mina como infraestructura turística para describir la historia del lugar.

Esta mina es administrada por una empresa privada, y se ubica siguiendo el cauce del río Upín hacia el occidente, a unos 2,3 km del casco urbano del municipio. La mina que existió desde los finales de la década de 1950 hasta 1992, fue subterránea (Fig. 8), y desarrolló su explotación con el método de cámaras y pilares llegando a producir cerca de 200 toneladas al día en su mayor auge durante la década de 1980. La mina finalizó su extracción porque se inundó dando lugar al colapso de sus pilares lo que obligó a su cierre definitivo. En 2017 esta mina producía un promedio de 30 toneladas al día aplicando el método de bombeo de agua que hace que salga una solución salina la cual, por el método de evaporación de salmuera en hornos, hace que se concentre la sal en recipientes, deshidratándola y luego de esa forma se empaqueta para consumo en las fincas del municipio y sus cercanías (Fig. 8).

Desde el punto de vista histórico, Emiliano Restrepo Echavarría fue propietario de la Hacienda “Vanguardia” durante la segunda mitad del siglo XIX [19], y con esta, abarcaba los terrenos que luego corresponderían al municipio de Restrepo y la mina. Este personaje describe para 1870 como se extraía la sal en este lugar de acuerdo a su narración publicada en la revista de la Sociedad Colombiana de Geografía (SGC, 1976) [20]. Para esa misma época, Édouard François André un viajero y naturalista francés, en su descripción de su viaje a Colombia durante el lapso 1875 - 1876 cita a las Salinas del Upín, y con sus descripciones dejó un paisaje de la mina que quedó ilustrado (Fig. 8), en el libro *Geografía Pintoresca de Colombia* [21].

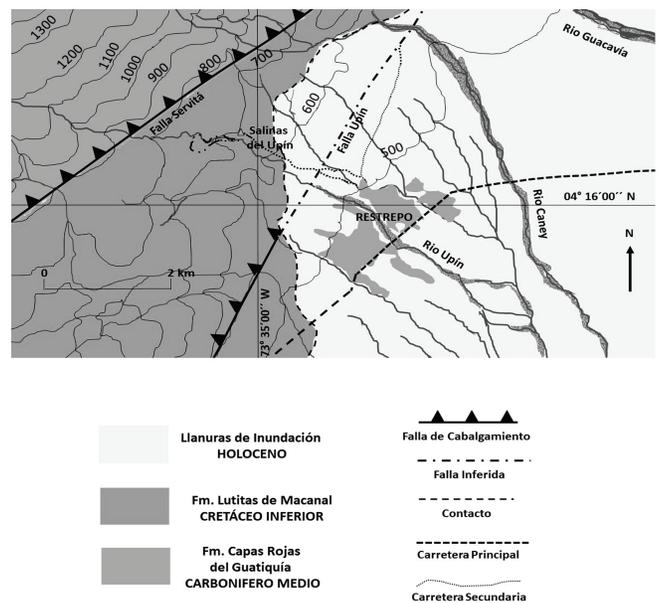


Figura 7. Mapa Geológico de la zona de análisis en el municipio de Restrepo. Fuente: Los Autores.

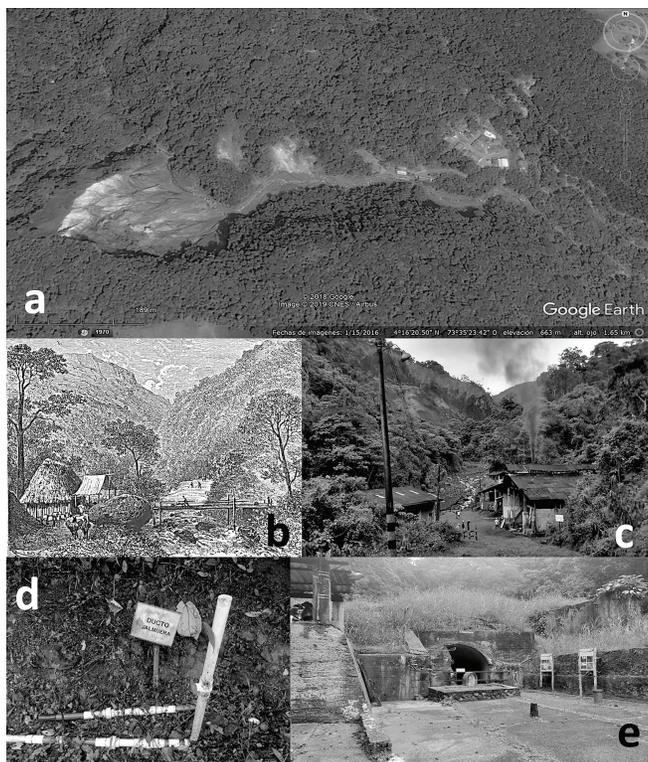


Figura 8. a. Imagen satelital tomada de Google Earth©, mostrando la cuenca del río Upin, con la cárcava y las instalaciones de la mina Salinas del Upín en Restrepo. b. Aspecto de la explotación de sal en las Salinas del Upín para 1876, de acuerdo a la descripción del viajero francés Eduard André y dibujado por el litografista Riu. Tomado de [21]. c. Paisaje actual con un horno en donde se procede al secado de la salmuera en primer plano y la cárcava sobre el cauce del río Upín al fondo. d. Bombeo de agua para la extracción de sal. e. Aspecto externo de la bocamina. Fuente: Los Autores.

El diapiro de sal está encajado por las rocas de la Formación Lutitas de Macanal con edad Cretáceo Inferior [6,7]. Esta unidad se encuentra deformada y fracturada por la presencia del diapiro Salino que es la fuente de la sal. En esta región existe una fuerte actividad tectónica derivada del accionar de la falla Servitá. En el sector mediante una evaluación con índices geomórficos, como la relación entre la longitud de drenaje sobre el gradiente de la pendiente (SL) y el índice de sinuosidad de un frente montañoso (smf), se encontró una alta influencia tectónica con respecto a la evolución del paisaje [22]. En la cuenca alta del río Upín se realizó el reconocimiento preliminar de una cárcava que se ubica a unos 800 m río arriba de la mina. Esta cárcava que tiene una altura de 110 m por encima del cauce del río, genera de manera periódica fenómenos de remoción de masa debido a las condiciones climáticas del sitio, más la influencia tectónica de la actividad de la falla de Servitá en este sector. Esta falla se ha reconocido como una falla sismoactiva [23]. El accionar de la falla en la región produce este tipo de fenómenos tanto en este lugar, como más al norte, en la vereda Guacavía del municipio de Cumaral en límites entre los departamentos de Cundinamarca y Meta, y en el sector entre la vereda San Pedro de Guajaray y el Río Pirí en el

municipio de Medina, departamento de Cundinamarca [24]. En los flujos de escombros que colmatan las cuencas, se producen entre otros fenómenos la avulsión en los cauces de los ríos. En el río Upín, igualmente se presentan ocasionalmente episodios de flujos de escombros que afectan a la infraestructura vial y a las comunidades que se asientan cerca de sus orillas en el municipio de Restrepo. El patrimonio de este lugar es más de índole cultural que geológico - minero, ya que la Secretaría de Cultura del municipio de Restrepo lo establece como identidad cultural del municipio porque las salinas fueron el origen del casco urbano del municipio, ya que el lugar comenzó a poblarse a partir del establecimiento en 1906 de una colonia penal. Los presos de esta colonia trabajaron en la extracción de la sal y con el tiempo se fue desarrollando el poblado.

3.4. *Termales de “El Encanto”, Municipio de Barranca de Upía*

El sitio Las Termales de “El Encanto” está localizado al pie del Cerro Guaicaramo en la vereda El Encanto del Municipio de Barranca de Upía, Meta, entre los límites de los departamentos de Cundinamarca y Casanare (Figs. 1 y 9) y se accede por una vía terciaria con una longitud de 15 km desde la carretera nacional que de Villavicencio conduce a Yopal.

Las rocas aflorantes en este sector consisten de estratos de areniscas que varían de grano fino a grueso y calizas, que de acuerdo a la plancha 229 – Gachalá [4], pertenecen a las Formaciones Socha Inferior de edad Paleoceno (Figs. 9 y 10).

La falla Guaicaramo, pone en contacto rocas del Paleógeno sobre rocas de edad Neógeno, y en este sector estas últimas rocas que están representadas por la Formaciones Caja y La Corneta [4], o también denominadas Guayabo Inferior y Superior por [25,26], se encuentran cubiertas por sedimentos del Cuaternario. Como patrimonio geológico se establece que la evolución del paisaje del lugar está originada por el control orogénico local que esta falla ha realizado durante el lapso Mioceno Superior - Presente. El registro sedimentológico de esta región indica que se presentó una fuerte sedimentación desde el Mioceno Superior hasta el Presente [26], interpretándose con esto la fuerte emergencia que sufre la cordillera durante este lapso [8,27].

Desde el punto de vista turístico, las fuentes termales son balnearios, y el lugar está próximo al río Upía (Fig. 10). El agua hidrotermal tiene una temperatura que oscila entre los 40,9°C a 41,5°C con olor a ácido sulfhídrico. Con esto último se confirma la presencia de una fuente ígnea próxima que es la generadora de calor. El origen de las fuentes magmáticas que dan el calor a las aguas subterráneas en esta región, y en la cual coinciden las fuentes termales con el trazo de la falla Guaicaramo, tanto en este lugar como con las Termales Aguas Calientes a unos 12 km al suroeste en el municipio de Paratebueno, en el departamento de Cundinamarca, obedece al desarrollo de una cuña astenosférica que resultó del desarrollo de la evolución de la subducción de la placa de Nazca al norte de los Andes, y posiblemente está relacionada

con la denominada “Caldas Tear” [28], que coincide por su localización con el límite de placas subducidas en este sector [29].

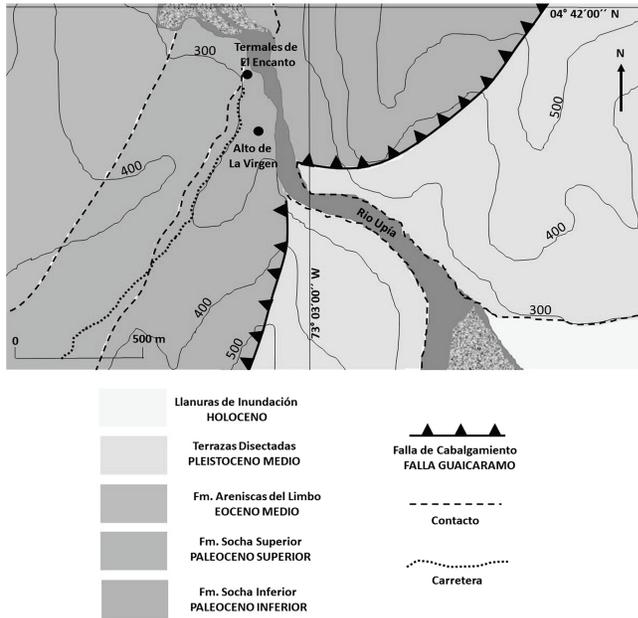


Figura 9. Mapa Geológico del sitio Termales “El Encanto”. Fuente: Los Autores.

El relieve en esta región se caracteriza por ser moderado a fuerte y el punto más alto se encuentra localizado en el alto de La Virgen, convirtiéndose en un sitio apropiado para adaptar como mirador con el cual se puede contemplar el paisaje de esta región hasta en una distancia que supera los 10 km (Fig. 10).

3.5. *Lagunas del Amor y San Vicente, Municipio de Puerto Rico*

El municipio de Puerto Rico se encuentra localizado en el suroeste del departamento en la cuenca baja del río Ariari (Figs. 1 y 11). Su topografía está caracterizada por sabanas y pequeñas serranías. El acceso al lugar es por una carretera secundaria que tiene aproximadamente 20 km de largo y que se desvía de la carretera nacional Villavicencio - San José del Guaviare. El paisaje de todo el municipio se caracteriza por colinas bajas cubiertas por un bosque de sabana en el que abundan las palmas con sotobosque medianamente denso [30]. Este bosque está permanentemente anegado en zonas cenagosas predominando morichales los cuales conforman un ecosistema compuesto por arboles pequeños y palmeras con un estrato herbáceo continuo y alto que permanece inundado la mayor parte del año. Los suelos de este lugar son arcillosos y están cruzados por pequeños drenajes que definen un patrón dendrítico. Todos los drenajes forman parte del sistema fluvial de la cuenca baja del río Ariari. Los suelos derivan de un subsuelo arcillo - arenoso que constituye la componente geológica en esta región. En estos suelos predominan colores rojizos característico de los suelos tipo oxisol con alto grado de sapolitización por lo que no se puede reconocer la roca preexistente.

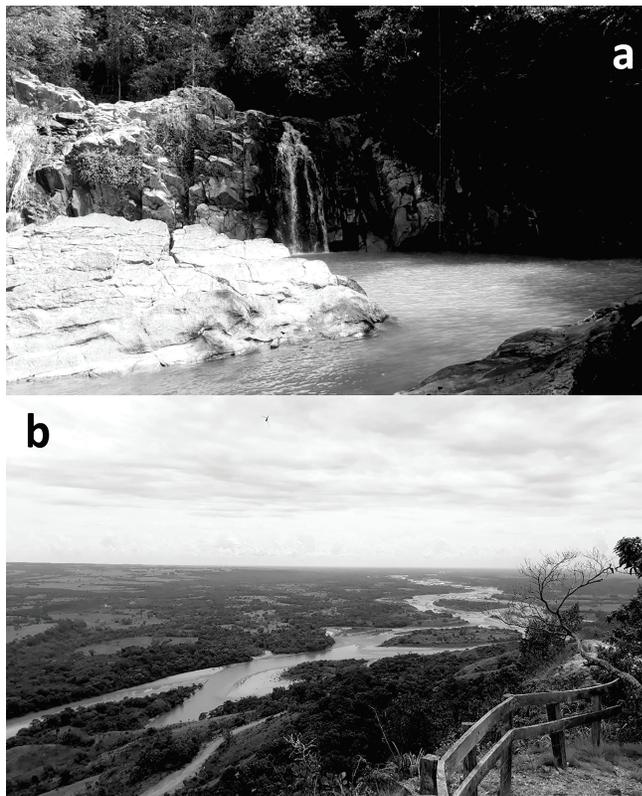


Figura 10. a. Aspecto del balneario de las Termales “El Encanto” con afloramientos de areniscas y calizas de la Formación Socha Inferior. b. Vista del río Upiá hacia los llanos desde el mirador del Alto de La Virgen. Fuente: Los Autores.

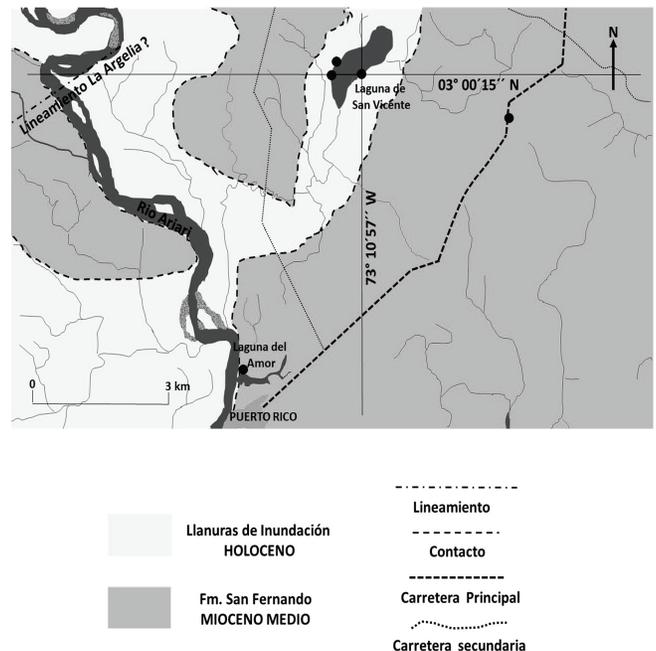


Figura 11. Mapa Geológico de la zona de análisis en el municipio de Puerto Rico. Fuente: Los Autores.

Geomorfológicamente la zona se caracteriza por ser muy plana (Fig. 12), con presencia de pequeños montículos de pendientes suaves (no mayores al 2%). A unos tres km aguas abajo del casco urbano del municipio siguiendo el río Ariari, se presenta su confluencia con el río Guejar. La Geología de esta región (Fig. 11), presenta dos unidades. La unidad más antigua se denomina Formación San Fernando que de acuerdo a la cartografía geológica de la Plancha 327 - Puerto Rico [31], se constituye de arcillolitas y limolitas de color gris azulado cuando están frescas, pero cuando están con alteración supergénica se presentan abigarradas con color rojizo. La edad de esta unidad reportada para esta zona es de Mioceno Medio de acuerdo a un dato palinológico con una palma extinta clasificada como *Grimsdalea magnaclavata* [32].

Esta unidad representa una transición que va de ambiente marino a lagunar con presencia de ríos meandricos (sistema fluvio - deltaico). En la visita de campo se verificó un suelo con alto contenido de arcilla de colores marrón, gris y blanco, junto con arcillas grises y arenas de color pardo amarillento con manchas de óxidos de hierro (Fig. 12). La Formación San Fernando se correlaciona con la denominada Formación Pebas [33], la cual otros autores como [25] la correlacionan con las Formaciones Carbonera (C1) y León.

De interés geoturístico son las lagunas denominadas del Amor y San Vicente, las cuales son parte de la evolución del desarrollo de la llanura aluvial del río Ariari en esta región. Frente a este paisaje el mejor exponente es la denominada Laguna del Amor con sus moriches (Fig. 12). La Laguna San Vicente es un cuerpo de agua declarado como Parque Natural Regional por parte de la autoridad ambiental departamental CORMACAREMA.

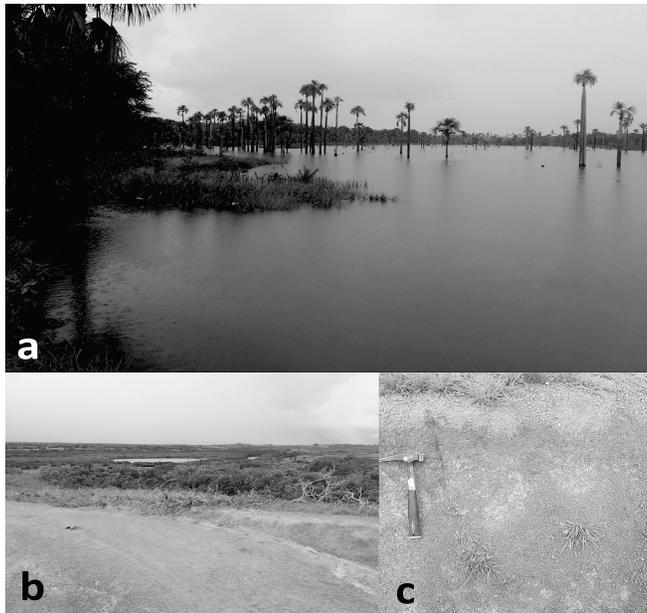


Figura 12. a. Panorama de la Laguna del Amor. b. Paisaje de la región. c. Arcillas y limos alterados por meteorización de la Formación San Fernando.

Fuente: Los Autores.

4. Discusión

Para los sectores correspondientes al Piedemonte Llanero, se verificó el levantamiento cortical que dio lugar al crecimiento de la Cordillera Oriental en los últimos 6 millones de años [8]. En cada caso se evidencia este proceso orogénico, teniendo presente las unidades geológicas y el tiempo geológico. Aquí se sigue una secuencia de tiempo geológico para el cual en la región cambió radicalmente de paisaje. Con el análisis estratigráfico realizado en cada sitio analizado (Fig. 13), y relacionando esta información con el desarrollo orogénico Neógeno que se presentó para esta región de Colombia, se encuentra que en todos los sitios se presentan discordancias entre sus unidades estratigráficas, con la excepción del paquete sedimentario Paleógeno del área de influencia de la Falla Guaicaramo (Fig. 13, 4).

En la mayoría de los casos se sospecha para aquellos hiatos con un muy largo intervalo de tiempo geológico se relacionan con contactos fallados, como en el caso del sector de Cubarral en el alto Ariari (Fig. 13, 1), y en el sector de las Piscinas del Guejar (Fig. 13, 2). Para el sector de la Salinas del Upín, la Falla de Servitá es la separación de las unidades (Fig. 13, 3). En la investigación se constató que los sitios 1 y 4 presentan discordancias para fines del Eoceno, el sitio 5 que corresponde a Puerto Rico, refleja una discordancia para un tiempo más reciente que el Mioceno Medio. En los sitios 1 y 4 se presenta una discordancia o superficie erosiva para rocas con edad Pleistoceno Medio (edades $\sim >$ a 126.000 años). De acuerdo a trabajos anteriores realizados por otros autores, se ha encontrado que el sector medio de la Cordillera Oriental que corresponde a las latitudes $\sim 2,5^\circ \text{ N} - 5,5^\circ \text{ N}$, comenzó a emerger desde fines del Mioceno, cuando comienzan a manifestarse en el Piedemonte Llanero litologías sedimentarias compuestas de conglomerados representadas por la Formación Guayabo Superior [26], indicando con esto un cambio de ambiente para la cuenca de los Llanos que de marino - lagunar deltaico, pasa a fluvial [34].

Desde el transcurso del Oligoceno se presentó en la cuenca Llanos un mar interno denominado Pebas [33,35,36], el cual existió hasta que, durante el lapso Mioceno Inferior a Medio, se volvió un gran lago que se extendió desde la cuenca llanos al norte hasta la actual cuenca del Amazonas al sur [33,37]. Durante este tiempo geológico la cuenca de los Llanos se extendía hasta las estribaciones de la actual cordillera Central al occidente abarcando la actual cuenca interandina del río Magdalena (Fig. 14). Se asegura esto porque en la cuenca de Medina al oriente de Cundinamarca, los datos estratigráficos y palinológicos señalan un ambiente de transición que pasaron de marino - lagunar a fluvial [25].

Hacia el occidente en la cuenca de Magdalena Medio a partir de datos de termocronología, se observa que para el lapso Oligoceno - Mioceno Medio, el desarrollo orogénico en el flanco occidental de la Cordillera Oriental en el sector de la Falla La Salina, presentó una muy baja tasa de deformación cortical [38]. Esta situación fue previamente confirmada por [15] para las cordilleras Central y Occidental.

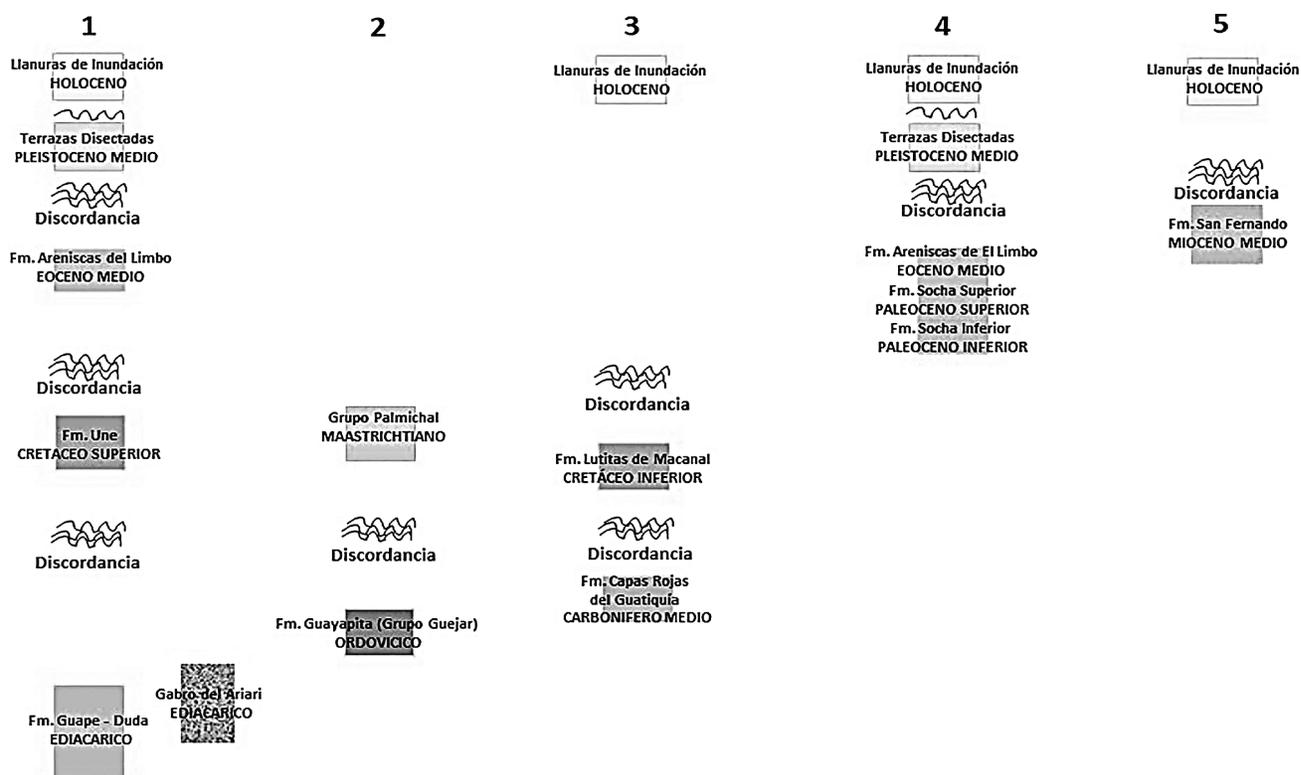


Figura 13. Columnas estratigráficas generalizadas de los sitios analizados en este trabajo. 1. Sector del Alto Ariari, municipios de Cubarral y El Dorado (Fig. 3). 2. Sector de las Piscinas del Guejar, Municipio de Lejanías (Fig. 5). 3. Sector de las Salinas del Upín, Municipio de Restrepo. (Fig. 7). 4. Sector de las Termales “El Encanto”, municipio de Barranca de Upía (Fig. 9). Sector del municipio de Puerto Rico (Fig. 11). Fuente: Los Autores.

Hacia el sur tanto en la Cordillera Central como en la Cordillera Oriental, la exhumación de las rocas fue más tardía [14,15]. De acuerdo a [38], con respecto al ascenso orogénico temprano de la Cordillera Oriental al norte de nuestra región de estudio, se presentó una exhumación más temprana de las rocas indicando una edad de ~ 20 Ma para esta [16,17], mientras que a hacia el occidente entre las latitudes 3°N y 4,7° N, la exhumación de las rocas en las Cordilleras Central y Occidental fue más temprana con ~ 35 Ma, al igual que al norte en la Cordillera Central (5° - 7° N) y en la Sierra Nevada de Santa Marta [15]. Las exhumaciones tempranas de las Cordilleras Central y Occidental, al igual que de la Sierra Nevada de Santa Marta, obedecen al desarrollo de la convergencia de la placa Caribe y ajuste posterior de la subducción de la Placa Farallón durante el lapso Eoceno - Oligoceno, mientras que el desarrollo orogénico de la Cordillera Oriental durante el Mioceno Temprano para su sector norte, al igual que la Cordillera de Mérida en Venezuela [16] y para el Mioceno Medio al sur de la latitud 3,7°N [14], se debió al ajuste geométrico sublitosférico inicial de la subducción de la placa de Nazca en su desarrollo inicial por su partición a causa del desarrollo incipiente de la dorsal de baja expansión de Galápagos al occidente del norte de Suramérica [39,40-42]. Dentro de este desarrollo que se presentó durante el transcurso de Mioceno Medio al Mioceno Superior, la intromisión de la Dorsal de Carnegie en el canal

de subducción, produce el inicio de la construcción orogénica del sector meridional de la Cordillera Oriental y la Serranía de la Macarena [14]. Con lo anterior se muestra cómo era la paleogeografía en función del desarrollo de la subducción de la, Placa de Nazca en el noroeste de Suramérica para el Mioceno Medio (Fig. 14).

De otro lado, el clima durante para el Mioceno Medio en la cuenca Llanos fue más húmedo que en el Presente, porque se trataba de una llanura costera pantanosa que presentaba mucha biodiversidad [43,44].

En este escenario, el polen fósil *Grimsdalea magnaclavata* cuya planta madre creció en la llanura costera o alrededor de pantanos con arbustos y plantas herbáceas de sabana [45], indica que el ambiente de esta región fue fluvio - deltaico y estaba compuesto por ríos meandricos que se presentaron en una zona proximal al actual sistema orogénico

Cordillera Oriental - Sierra de La Macarena [31,35,46]. En el actual territorio colombiano el desarrollo de la transición marino - lagunar ocurrió durante el lapso Oligoceno - Mioceno Medio [33,43,47], y los sedimentos compuestos de arcillolitas con pulsos de arenitas de las Formaciones San Fernando y Caja, las cuales otros autores como [25] denominan León y Guayabo inferior, y que son las reportadas aquí para el sector de Puerto Rico, representan el denominado Sistema Pebas del lapso Mioceno Medio - Superior. Estas unidades se correlacionan con la Formación

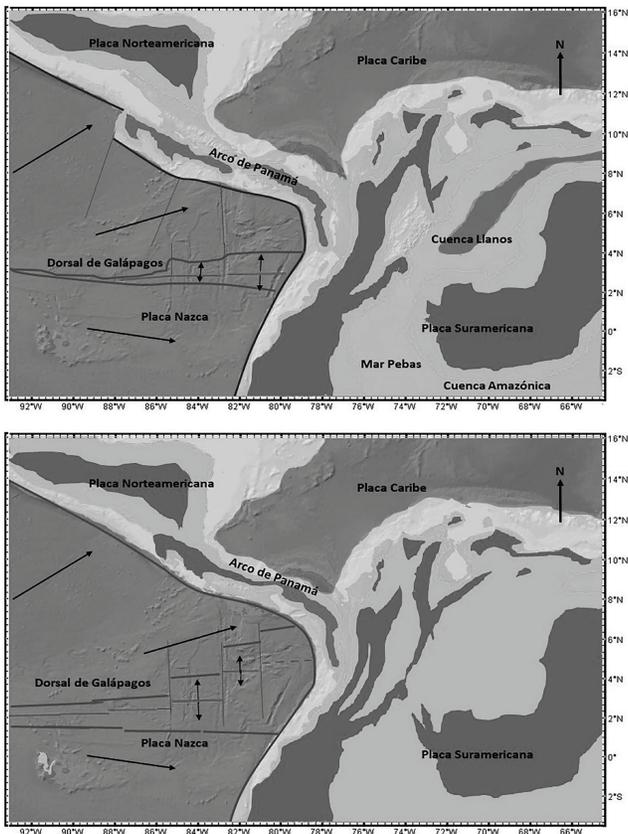


Figura 14. Arriba, Paleogeografía para el noroccidente de Suramérica en el Mioceno Medio. Abajo, Paleogeografía para el noroccidente de Suramérica en el Mioceno Superior.
Fuente: Los Autores.

Pebas del Perú [33]. En la Sierra de La Macarena se observa que la exhumación fue asimétrica, siendo más temprana al norte de este cuerpo orogénico que al sur del mismo, por lo que su construcción orogénica fue un evento diacrónico. Llama la atención que en la Cordillera Oriental se presentó igualmente una exhumación temprana en la región que abarca los municipios de Cubarral - El Dorado, entre los ríos Ariari y Guape, en donde se observan litologías Neoproterozoicas [12]. Esta exhumación temprana se evidencia porque la tasa de erosión ha sido más alta tanto al norte de la Sierra de La Macarena como en este último sector. Hacia el sur de esta región, en la Cordillera Oriental se destaca la exhumación del basamento Mesoproterozoico que se compone de granulitas, migmatitas y neises del Complejo Garzón, el cual se observa de manera parcial al norte de la Sierra de La Macarena [18]. Esto último indica una asimetría en la edificación orogénica de esta región para al menos los últimos 10 millones de años representando este sector la fase inicial del levantamiento de la parte central de la Cordillera Oriental para las latitudes entre los 3,7° y 5°N. Hacia el oriente durante el transcurso de este tiempo se va definiendo un arco que generó la divisoria de aguas entre las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco. A este arco se lo denomina el Arco del Vaupés, que es un alto estructural con dirección NO

- SE, el cual está conformado por La Sierra de La Macarena al noroeste, y las Serranías de Chibiriquete y del Araracuara a sureste [48]. y este promontorio estructural se desarrolló durante el lapso Mioceno Superior - Plioceno, siendo sincrónico con la emergencia de la Cordillera Oriental (Fig. 14). Hacia el norte desde la cuenca del río Ariari hasta la cuenca del río Upía que corresponde a nuestras zonas de estudio en el Piedemonte Llanero, el levantamiento de la Cordillera Oriental ocurrió durante los últimos 6 millones de años [8,25,26,43], ya que las litologías que corresponden al lapso de tiempo geológico Cretáceo - Paleógeno se preservan y en la actualidad se encuentran en proceso erosivo.

5. Conclusiones

Se han determinado cinco sitios que presentan condiciones favorables para la actividad geoturística, para el Piedemonte Llanero del departamento del Meta, Colombia. Estos sitios tienen buenas condiciones de acceso y las comunidades involucradas en cada caso han usado previamente estos lugares para actividades recreativas, ecoturísticas y de patrimonio cultural, como lo es la mina de sal de las Salinas del Upín en el municipio de Restrepo. El valor geopatrimonial para estos lugares es el de su papel en la evolución del paisaje de esta región de Colombia desde un punto de vista geológico y geomorfológico. Se encontró desde el punto de vista geológico un aporte educativo sobre para la evolución geológica de la región del Piedemonte Llanero y de la Cuenca de Los Llanos no solo para la comunidad especializada en el tema de las geociencias sino también para la comunidad en general. En términos geológicos, se destaca que en esta región queda claro el desarrollo diacrónico del sistema orogénico que constituye la Cordillera Oriental en sentido sur - norte y su relación directa con el crecimiento del denominado Arco del Vaupés con la evolución de las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco, situación que se definió durante los últimos 10 millones de años antes del Presente. Algunas de las litologías y sus contextos geológicos locales determinados en estos lugares, tienen además de un interés educativo, un interés científico ya que abren muchos interrogantes en cuanto a su desarrollo y evolución geotectónica de la corteza del territorio colombiano. Con respecto a esto último, tenemos que las Termas de El Encanto en el municipio de Barranca de Upía guardan una relación fuerte entre las fuentes hidrotermales y la falla de Guaicaramo, porque esta falla también guarda una relación con las Termas de Guaicaramo en el municipio de Paratebueno en el Departamento de Cundinamarca. Con las fallas del Piedemonte Llanero es frecuente encontrar esta situación, no solo con la falla Guaicaramo, sino también cerca de Villavicencio en el sector del corregimiento Pipiral donde se observa esta relación con una falla pequeña relacionada a la Falla Servitá, la cual es una estructura de cabalgamiento de primer orden similar a la falla Guaicaramo. Esta relación ayuda a avanzar en el conocimiento de la conducta sismológica de estas fallas desde el punto de vista geofísico, y ayuda a entender también la evolución tectono - orogénica de este sector de la Cordillera Oriental. Por otro

lado, la Falla Servitá, deja claro una actividad tectónica continua, y manifestación de esto, es para la cuenca alta del río Upín se presenta muchos episodios constantes de fenómenos de remoción de masa, que sobrecargan de sedimentos el cauce de este río dando lugar a situaciones de emergencia hacia las comunidades que se encuentran en la parte baja del cauce, por episodios de flujos de escombros. Esta misma falla produce una situación similar y genera emergencias con el río Guacavía unos 7 km hacia el NE. De otro lado se destaca la riqueza geológica y la diversidad litológica en los sectores que corresponden a los municipios de Cubarral, y Lejanías, en donde todavía faltan por definir los límites y discordancias entre las unidades estratigráficas del lapso Neoproterozoico - Ordovícico, y rocas de edad más joven que afloran en esta zona de la Cordillera Oriental y del Arco de Vaupés, como lo son unidades pertenecientes a Paleozoico Superior y del lapso Mesozoico - Neógeno. De estas rocas aún está pendiente por definir, su historia para una etapa más temprana del territorio colombiano y que papel representaron para el paleocontinente Gondwana antes de la formación del supercontinente Pangea. Todo esto tiene no solamente fines educativos, sino también científicos, y este es su valor geopatrimonial. Con lo anterior se recomienda que estos sitios deberían acogerse al Decreto 1353 del 31 de Julio de 2018, que trata de la gestión integral del patrimonio geológico y paleontológico de Colombia que lidera el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Agradecimientos

El agradecimiento es al Ingeniero Topográfico Iván Darío Castillo Vargas, quien trabajó en una primera etapa del proyecto como coinvestigador durante 2017, y como personal de apoyo, a los profesores Breggy Hassler Choque Jiménez y John Humberto Moreno Reina, y las estudiantes Angie Natalia Cruz Castañeda y Lina Fernanda Sabogal Ríos, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio. Este proyecto fue financiado mediante fondos de convocatoria interna de investigación de la Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, con el contrato suscrito con el acta de compromiso N° 03 del 24 de agosto de 2017.

Referencias

- [1] Trumpy, D., Pre-Cretaceous of Colombia. GSA Bulletin, 54(9), pp. 1281-1304, 1943.
- [2] Paba, F. y Van der Hammen, T., Sobre la geología de la parte sur de la Macarena. Inf. 1321. Boletín Geológico, 6(1-3), pp. 11 – 30, 1960.
- [3] Guerrero, J. y Sarmiento, G., Estratigrafía física, palinológica, sedimentológica y secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera. Geología Colombiana, 20, pp. 3-66, 1996.
- [4] SGC. Geología de la Plancha 229 - Gachalá. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, Colombia, 2013.
- [5] Renzoni, G., Geología del Cuadrángulo L - 11 Villavicencio, Escala 1: 200.000. Servicio Geológico Nacional e Inventario Mineral Nacional, Bogotá, Colombia, 1965.
- [6] McLaughlin, D.H. y Arce, H.M., Recursos minerales de parte de los Deptos. de Cundinamarca, Boyacá y Meta. Boletín Geológico INGEOMINAS, 19(1), pp. 1-102, 1971.
- [7] INGEOMINAS. Geología de la Plancha 247 - Caqueza. Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, Bogotá, Colombia, 2011.
- [8] Mora, A., Inversion tectonics and exhumation processes in the Eastern Cordillera of Colombia. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr.rer.nat) in der Wissenschaftsdisziplin Geologie eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam. Postdam, Bundesrepublik Deutschland. 2007.
- [9] Mora, A., Parra, M., Strecker, M.R., Sobel, E.R., Zeilinger, G., Jaramillo, C., Ferreira Da Silva, S. and Blanco, M., The eastern foothills of the Eastern Cordillera of Colombia: an example of multiple factors controlling structural styles and active tectonics. Geological Society of America Bulletin, 122, pp. 1846-1864, 2010. DOI:10.1130/B30033.1.
- [10] Parravano, V., Teixell, A. and Mora, A., Influence of salt in the tectonic development of the frontal thrust belt of the eastern Cordillera (Guatiquía area, Colombian Andes). Interpretation, 3(4), SAA17. 2015. DOI: 10.1190/INT-2015-0011.1
- [11] Toro-Toro, L.M., Moreno-Sánchez, M. y Gómez-Cruz, A., Metagabro del Ariari, plutonismo MORB, Cordillera Oriental de Colombia. Boletín de Geología, 36(2), pp. 15-24, 2014.
- [12] Unión Temporal G&H. Geología de la Plancha 285 - San Martín. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia, 2015.
- [13] Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., and Cotton, F., A new view for the geodynamics of Ecuador: implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. Tectonics, 35, pp. 1249-1279, 2016. DOI: 10.1002/2015TC003941
- [14] Anderson, V.J., Horton, B.K., Saylor, J.E., Mora, A., Tesón, E., Breecker, D.O. and Ketcham, R.A., Andean topographic growth and basement uplift in southern Colombia: implications for the evolution of the Magdalena, Orinoco, and Amazon river systems, Geosphere, 12(4), pp. 1235-1256, 2016. DOI: 10.1130/GES01294.
- [15] Villagómez, D.D., Thermochronology, geochronology and geochemistry of the Western and Central cordilleras and Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia: the tectonic evolution of NW South America. Thèse DSc. Faculté des Sciences, Université de Genève, Genève, Suisse, 2010.
- [16] van der Lelij, R., Spikings, R. and Mora, A., Thermochronology and tectonics of the Mérida Andes and the Santander Massif, NW South America. Lithos, (248-251), pp. 220-239, 216. DOI: 10.1016/j.lithos.2016.01.006
- [17] Amaya, S., Zuluaga, C.A. and Bernet, M., New fission-track age constraints on the exhumation of the central Santander Massif: implications for the tectonic evolution of the Northern Andes, Colombia. Lithos, (282-283), pp. 388-402, 2017. DOI: 10.1016/j.lithos.2017.03.019
- [18] Unión Temporal G&H. Geología de la Plancha 305 - San Juan de Arama. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia, 2015.
- [19] Hettner, A., Viajes por los Andes Colombianos (1882 – 1884). publicaciones del Banco de La Republica. Bogotá, Colombia, 1976.
- [20] SCG. Excursión a la salina de Upín por Emiliano Restrepo 1870. Revista de la Sociedad Geográfica de Colombia, 30 (110), pp. 1-3, 1976.
- [21] Acevedo-Latorre, E., Geografía pintoresca de Colombia. Litografía Arco, Bogotá, Colombia, 1984
- [22] Rodríguez-Leal, L.F., Índices geomórficos aplicados a las principales fallas que se presentan en el flanco oriental de la cordillera oriental entre los 4° latitud norte y 4°52' latitud norte. Tesis de grado, Escuela de Ingenierías, Programa de Ingeniería Civil, Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio, 2013.
- [23] Chicangana, G., Vargas, C.A. y Caneva, A., El posible escenario de riesgo por el efecto de un sismo con $M \geq 6.5$ para la ciudad de Villavicencio, Colombia. Revista Cuadernos de Geografía, 22(2), pp. 171-190, 2013.
- [24] Barreto, A.G. y Naranjo, J.M., Informe técnico sobre la visita de emergencia a las inspecciones de San Pedro - Arenal y Guajaray, municipio de Medina, departamento de Cundinamarca. Área de Amenazas Geoambientales. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia, 2003, 25 P.
- [25] Parra, M., Cenozoic foreland-basin evolution in the northern Andes:

- insights from thermochronology and basin analysis in the Eastern Cordillera, Colombia. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr.rer.nat) in der Wissenschaftsdisziplin Geologie eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam. Postdam, Bundesrepublik Deutschland, 2008.
- [26] Parra, M., Mora, A., Jaramillo, C., Torres, Zeilinger, G. and Strecker, M.R., Tectonic controls on Cenozoic foreland basin development in the northeastern Andes, Colombia. *Basin Research*, 22, pp. 874-903, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2117.2009.00459.x
- [27] Mora-Páez, H., Mencin, D.J., Molnar, P., Diederix, H., Cardona-Piedrahita, L., Peláez-Gaviria, J.-R. and Corchuelo-Cuervo, Y., GPS velocities and the construction of the Eastern Cordillera of the Colombian Andes. *Geophys. Res. Lett.*, 43, pp. 8407-8416, 2016. DOI: 10.1002/2016GL069795
- [28] Vargas, C.A. and Mann, P., Tearing and breaking off of subducted slabs as the result of collision of the panama arc-indenter with Northwestern South America. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 103, pp. 2025-2046, 2013. DOI: 10.1785/0120120328
- [29] Vargas, C.A., Ochoa, L.H. and Caneva, A., Estimation of the thermal structure beneath the volcanic arc of the Northern Andes by Coda Wave Attenuation Tomography. *Front. Earth Sci.* 7, art. 208, 2019. DOI: 10.3389/feart.2019.00208
- [30] Hooghiemstra, H. and Flantua, S.G.A., Colombia in the Quaternary: an overview of environmental and climatic change. In: Gómez, J. and Pinilla-Pachon, A.O., Eds., *The geology of Colombia*, Vol. 4 Quaternary. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, Bogotá, Colombia, 2019, 52 P. DOI: 10.32685/pub.esp.38.2019.02
- [31] Unión Temporal G&H. Geología de la Plancha 327 - Puerto Rico. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá, Colombia, 2015.
- [32] Jaramillo, C., Rueda, M. and Torres, V., A palynological zonation for the Cenozoic of the Llanos and Llanos Foothills of Colombia. *Palynology*, 35(1), pp. 46-84, 2011. DOI: 10.1080/01916122.2010.515069
- [33] Wesselingh, F.P., Räsänen, M., Irion, G., Vonhof, H.B., Kaandorp, R., Renema, W., Romero-Pittmann, L. and Gingras, M., Lake Pebas: a palaeoecological reconstruction of a Miocene, long-lived lake complex in western Amazonia. *Cainozoic Research*, 1(1-2), pp. 35-81, 2002.
- [34] Duarte, E., Bayona, G., Jaramillo, C., Parra, M., Romero, I. y Mora, J.A., Identificación de los máximos eventos de inundación marina Miocenos y su uso en la correlación y análisis de la cuenca de antepaís de los Llanos Orientales, Colombia. *Boletín de Geología*, 39(1), pp. 19-40, 2017. DOI:10.18273/revbol.v39n1-2017001
- [35] Wesselingh, F.P., Hoorn, M.C., Guerrero, J., Räsänen, M., Romero-Pittmann, L. and Salo, J., The Stratigraphy and regional structure of Miocene deposits in western Amazonia (Colombia, Peru and Brasil), with implications for Late Neogene landscape evolution. *Scripta Geologica*, 133, pp. 292-322, 2006.
- [36] Antonelli, A., Nylander, J.A.A., Persson, C. and Sanmartin, I., Tracing the impact of the Andean uplift on neotropical plant evolution. *PNAS*, 106(24), pp. 9749-9724, 2009. DOI: 10.1073/pnas.00811421106
- [37] Jaramillo, C., Romero, I., D'Apolito, C., Bayona, G., Duarte, E., Louwyse, S., Escobar, J., Luque, J., Carrillo-Briceño, J.D., Zapata, V., Mora, A., Schouten, S., Zavada, M., Harrington, G., Ortiz, J. and Wesselingh, F.P., Miocene flooding events of western Amazonia. *Sci. Adv.* 3, art. e1601693, 2017.
- [38] Sánchez, C.V., Cenozoic structural evolution of the eastern margin of the Middle Magdalena Valley basin, Colombia: integration of structural restorations, low-temperature thermochronology, and sandstone Petrography. MSc. Thesis, Faculty of the Graduate School of The University of Texas at Austin. Austin TX, USA, 2011.
- [39] Hey, R.N., Tectonic evolution of the Cocos - Nazca spreading center: *GSA Bulletin*, 88, pp. 1404 -1420, 1977.
- [40] Meschede, M. and Barckhausen, U., The relationship of the Cocos and Carnegie ridges: age constraints from paleogeography reconstructions. *Int J Earth Sciences (Geol Rundsch)* 90, pp.386-392, 2001. DOI: 10.1007/s005310000155
- [41] Mann, P., Overview of the tectonic history of northern Central America. In: *Geologic and tectonic development of the Caribbean plate boundary in northern Central America*, Mann, P., (ed.), Geological Society of America Special Paper 428, pp. 1-20, 2007. DOI: 10.1130/2007.2428(01)
- [42] Vargas, C.A., Chicangana, G. and Kammer, A., The intermediate seismicity zone of the Western Colombia, backbone of the Americas, Mendoza, Argentina, 2006. DOI: 10.13140/RG.2.2.24296.32008
- [43] Hoorn, M.C., et al., Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science* 330, pp. 927-931, 2010. DOI: 10.1126/science.1194585
- [44] Gross, M., Piller, W.E., Ramos, M.I. and da Silva-Paz, J.D., Late Miocene sedimentary environments in southwestern Amazonia (Solimões Formation; Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 32, pp.169-181, 2011.
- [45] Pocknall, D.T. and Jarzen, D.M., *Grimsdalea magnaclavata* Germeraad, Hopping & Muller: an enigmatic pollen type from the Neogene of northern South America. *Palynology*, 2012, pp. 1-10, DOI: 10.1080/01916122.2011.642258.
- [46] Wesseling, F.P. and Salo, J., Miocene perspective on the evolution of the Amazonian biota. *Scripta Geologica*, 133, pp. 439-458, 2006.
- [47] Romero-Valero, I.C., Palynological evidence for the Paleoenvironmental history of the Miocene Llanos basin, Eastern Colombia. Seton Hall University Dissertations and Theses (ETDs). Paper 1956, 2014.
- [48] Mora, A., Baby, P., Roddaz, M., Parra, M., Brusset, S., Hermoza, W. and Espurt, N., Tectonic history of the Andes and sub-Andean zones: implications for the development of the Amazon drainage basin. In: Hoorn, C. and Wesselingh, F.P., Eds., *Amazonia, landscape and species evolution: a look into the past*, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 2010b, pp. 38-60. DOI: 10.1002/9781444306408.ch4

G. Chicangana, recibió su grado de Ing. de Minas en 1996, de la Fundación Universitaria de Popayán, Colombia, y su grado de MSc. en Ciencias con énfasis Geología en 2005 de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Fue profesor investigador de la Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio, Colombia, y actualmente se desempeña como profesor de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia. Investigador del Grupo Geofísica del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Su labor investigativa abarca temas relacionados con amenaza sísmica, geodinámica, geotectónica y sismotectónica.
ORCID: 0000-0003-1440-4834

A. Bocanegra, recibió su grado de Geóloga en 2000 de la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, y su grado en Ing. Industrial en 2018 de la Universidad Antonio Nariño, Villavicencio, Colombia. Es profesora de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia. Su labor investigativa abarca temas relacionados con geología regional, tectónica y estudio de suelos.
ORCID: 0000-0003-3815-3902

L. Arboleda-Montes, recibió su grado de Geóloga en 2012 de la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. Es profesora de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia. Su labor investigativa abarca temas relacionados con hidrología y geología ambiental.
ORCID: 0000-0003-4234-5384

A. Kammer, recibió su grado de Geólogo en 1980 de la Universidad de Berna, Suiza, y su grado como Dr. en Ciencias con énfasis Geología en 1985 de la Universidad de Neuchâtel, Suiza. Es profesor asociado y líder del Grupo de Fracturas del Departamento de Geociencias, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Su labor investigativa abarca temas en geología estructural, tectónica y geología regional.
ORCID: 0000-0002-6326-4025