



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 20/ Edición N.40
Julio - diciembre de 2023
Reia4015 pp. 1-20

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Velandia Angarita, O. R.; Mariño
Martínez, J. E.; Giraud López, M. J.
Litoestratigrafía y bioestratigrafía
como herramientas de exploración
de fósiles de vertebrados en Socha
(Colombia)
Revista EIA, 20(40), Reia4015.
pp. 1-20.
<https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1700>

 *Autor de correspondencia:*

Velandia Angarita, O. R.
(Omar Rodrigo).
Ingeniería Geológica
UPTC Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia
Correo electrónico:
omar.velandia@uptc.edu.co

Litoestratigrafía y bioestratigrafía como herramientas de exploración de fósiles de vertebrados en Socha (Colombia)

 OMAR RODRIGO VELANDIA ANGARITA¹

JORGE ELIECER MARIÑO MARTÍNEZ¹

MARIE JOELLE GIRAUD LÓPEZ¹

1. UPTC Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Resumen

En la parte nororiental del departamento de Boyacá, en el municipio de Socha, han sido identificadas zonas con un alto potencial fosilífero de microvertebrados y vertebrados como peces, cocodrilos y, particularmente, tortugas, de edad Paleoceno medio y superior de la Formación Arcillolitas de Socha. A lo largo de este sector fueron elaboradas secciones estratigráficas a detalle y perfiles geológicos, que en conjunto con técnicas de litoestratigrafía y bioestratigrafía, permitieron diferenciar en tres miembros la formación, e identificar las áreas de prospección de dos niveles fosilíferos de interés, así como un conjunto de areniscas guía ubicadas en el intermedio de los niveles. Los paleoambientes identificados para la formación indican una sedimentación lagunar, pantanosa, paludal, y deltaica para las areniscas, en general sedimentadas en un ambiente de depositación continental. Toda la información obtenida podría aplicarse para la eventual ubicación de fósiles en prospección y exploración en investigaciones posteriores, así como destacar la necesidad imperante de fortalecer las leyes locales a favor de la protección y preservación de estos yacimientos paleontológicos en la región.

Palabras clave: Vertebrados; Microvertebrados; Paleoceno; Paleoambiental; Socha; Niveles fosilíferos.

Recibido: 30-04-2023

Aceptado: 15-05-2023

Disponible online: 01-06-2023

Lithostratigraphy and biostratigraphy as tools for the exploration of vertebrate fossils in Socha (Colombia)

Abstract

In the northeastern zone of the department of Boyacá, in the locality of Socha, areas with a high fossiliferous potential of microvertebrates and vertebrates, as fish, crocodiles and, particularly, turtles, of middle and upper Paleocene age of the Arcillolitas de Socha Formation have been identified. Along this sector, detailed stratigraphic sections and geological profiles were elaborated, which together with lithostratigraphic and biostratigraphic techniques, allowed us to differentiate the formation into three members and to identify the prospecting areas of two fossiliferous levels of interest, as well as a group of key sandstones located in the intermediate levels. The paleoenvironments identified for the formation indicate a lagoonal, marshy, paludal, and deltaic sedimentation for the sandstones, generally sedimented in a continental depositional environment. All the information obtained could be applied for the eventual location of fossils in prospecting and exploration in subsequent research, as well as highlighting the imperative need to strengthen local laws in favor of the protection and preservation of these paleontological deposits in the region.

Key words: Vertebrates; Microvertebrates; Paleocene; Paleoenvironment; Socha; Fossil levels.

1. Introducción

En el Museo de Los Andes de Socha (MAS) se exhiben los fósiles de microvertebrados y vertebrados asociados a restos óseos como caparazones, plastrones, vértebras, costillas, dientes, huesos largos, fragmentos mandibulares o craneales de peces, serpientes, cocodrilos y tortugas entre otros por identificar y clasificar, además de rizomas y coprolitos bien conservados encontrados en la Formación Arcillolitas de Socha (E1as). Estos fósiles han sido extraídos y rescatados en diversas campañas de recolección a nivel histórico por parte del Museo de Los Andes de Socha (MAS) y principalmente en comisiones de campo oficiales por parte de profesionales especializados asignados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en los años 2010-2011. Aunque algunas de las localidades fosilíferas han desaparecido producto del crecimiento constante de la minería en el sector, los remanentes de las que aún se conservan están en alto peligro de ser destruidas.

A registro puntual de las localidades donde fueron extraídos estas piezas paleontológicas, tuvo una interferencia en el tiempo y una falta

de continuidad a profundidad que indicara con claridad la ubicación estratigráfica de las zonas potencialmente fosilíferas, por lo que el objetivo del presente trabajo es desarrollar un estudio más conciso y acertado de los sedimentos que contienen estos fósiles. A partir de un análisis litoestratigráfico y bioestratigráfico se busca determinar el estudio paleoambiental y establecer así el ambiente de formación que tuvo lugar en esta localidad y la ubicación litoestratigráfica de los fósiles a fin de identificar capas guías que faciliten la exploración.

La importancia de este trabajo consiste en dar a conocer la presencia de niveles fosilíferos inéditos de gran importancia paleontológica y su ubicación estratigráfica en la Formación Arcillolitas de Socha (E1as), usando análisis bioestratigráfico y de facies para determinar el ambiente de depositación de la formación, con el objetivo de facilitar la prospección y posibles exploraciones posteriores encaminadas a la planeación de excavaciones sistemáticas interdisciplinarias, análisis específicos, protección, preservación y conservación de los yacimientos geológicos y paleontológicos.

2. Marco de referencia

Alvarado y Sarmiento (1944) dieron el nombre de Socha Superior al conjunto de Arcillolitas grises y verdosas con bancos de areniscas aflorantes al norte de Sochaviejo y que se encuentran reposando sobre los potentes bancos de arenisca de la Formación Socha Superior.

En base a un estudio realizado sobre los segmentos de carbón, Van Der Hammen (1957) asigna una edad Paleoceno Medio a la sección media a superior y edad Paleoceno Superior a la sección superior de la Formación Socha Superior, la cual es correlacionable con una parte de la Formación Bogotá, la parte superior de la Formación Lisama del Valle Medio del Magdalena y con una parte de la Formación Los Cuervos de la Cuenca del Maracaibo.

Según Reyes (1984) la Formación Socha Superior tiene un espesor que oscila entre los 250 y los 270 m, donde su mejor exposición se encuentra localizada en el corte de la vía férrea en la Curva de Cosgua, la cual podría considerarse como la sección tipo.

Ulloa y Rodríguez (2003) le asignan el nombre de Formación Arcillolitas de Socha siguiendo los requerimientos de la Guía Estratigráfica Internacional. La Formación Arcillolitas de Socha (E1as) se encuentra sobre las Areniscas de Socha y aflora expuesta

en el área de estudio, explayándose y abarcando una gran extensión de terreno, conformando suaves valles debido a su baja resistencia a la erosión. Se encuentra constituida principalmente por Arcillolitas y limolitas varicoloreadas y abigarradas en alternancia con gruesos a muy gruesos bancos de areniscas silíceas de grano fino. A pesar de los estudios previos, no se había reportado hasta esta época la presencia de fósiles de vertebrados.

La Formación Arcillolitas de Socha, de manera local, presenta cerca a la base mantos de carbón medios a delgados y muy delgados y sobre ellos estromatolitos muy locales, seguidos de unas primeras intercalaciones de bancos medios a gruesos de arenisca y una primera exposición fosilífera de tortugas principalmente. Sobre ellas se presenta una segunda intercalación de areniscas y lodolitas para continuar con un segundo nivel fosilífero con mayor abundancia y variedad de especies, dentro de las que destacan tortugas, peces, cocodrilos y serpientes.

3. Métodos

Para el desarrollo de este estudio se propuso una metodología dividida en tres etapas secuenciales, descritas así:

3.1. Etapa 1. Preview. Se realizó un reconocimiento bibliográfico y documentación acerca de temas relacionados a la geología del área de estudio. La prospección y revisión de los puntos de concentración fósil fue coordinada por el director del Museo de Los Andes de Socha, Byron Benítez.

3.2. Etapa 2. Trabajo de campo. Se realizó el registro de datos estructurales, litológicos y muestreo, así como el levantamiento de la columna estratigráfica general de la Formación Arcillolitas de Socha y columnas a detalle para los sitios con concentraciones fosilíferas importantes, usando la técnica de medición del Bastón de Jacob y técnicas aplicadas de litoestratigrafía. También se adelantaron jornadas de exploración paleontológica siguiendo las técnicas de enchaquetado y métodos mecánicos para la preparación de fósiles junto a Byron Benítez.

Se manejó la metodología de campo implementada por el SGC basado en los estándares de la Guía Estratigráfica Internacional (Boggs, 1967; Krumbein y Sloss, 1958; Sachs, 1978).

3.3. Etapa 3. Trabajo de oficina. En esta etapa se compiló todo lo registrado en la etapa de campo y se realizaron los insumos para el desarrollo de este estudio. Se desarrolló la respectiva cartografía cuya base cartográfica corresponde a la Plancha 172-II-A, mapas, bloque diagramas y perfiles geológicos usando el Software ArcGis V 10.5, y las figuras y columnas estratigráficas fueron representadas mediante CorelDraw V X7.

Para el estudio litoestratigráfico se realizó un análisis de facies, subdividiéndola en tres grupos principales: Areniscas, materiales finos y materiales heterolíticos.

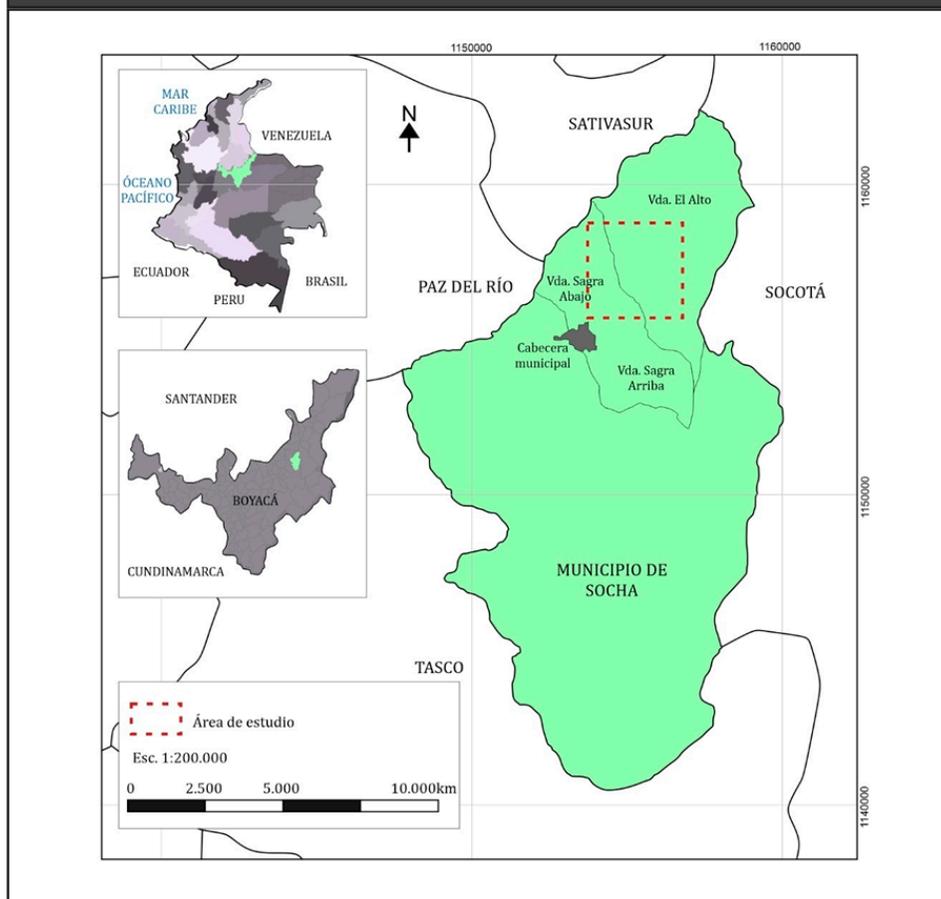
Para el análisis bioestratigráfico se correlacionan las columnas La Legua y La Cabrerita con la columna de la Formación Arcillolitas de Socha para la identificación de las diferentes biozonas y las unidades bioestratigráficas correspondientes, de igual manera se elaboró un modelo inicial para dar seguimiento a posibles afloramientos de estos niveles fosilíferos con el fin de prospectar nuevas exploraciones a futuro.

Se tuvo en cuenta algunos artículos y estudios para realizar el análisis paleoambiental, basados en la información previamente recopilada en la fase de Preview, estudios acerca del paleoclima durante el Paleoceno-Eoceno, Paleogeografía durante el Cenozoico, Paleontología en Suramérica durante el Paleoceno Superior, Cocodrilos como indicadores de Paleoclima en el Cretácico Tardío y Cenozoico, entre otros, como base investigativa para el producto final que consistió en la determinación del ambiente deposicional de la Formación Arcillolitas de Socha (Alvarado y Sarmiento, 1944; Reyes, 1984; Ulloa y Rodríguez, 2003; Van Der Hammen, 1957; Pardo, 2005; Geoestudios, 2006; Giraud, 2011).

4. Resultados

4.1. Puntos de concentración fósil

En este estudio fueron definidos cuatro puntos de importancia paleontológica debido a su concentración fósil, el primer punto ubicado en la vereda Sagra abajo y los otros tres en la vereda El Alto (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de los sitios paleontológicos de interés en el municipio de Socha

En la vereda Sagra Abajo, sector La Cabrerita, se encuentra un extenso afloramiento rocoso con predominio limo-arcilloso, intercalaciones de arenita de grano fino y esporádica estratificación cruzada en artesa, expuesto a lo largo de 150 m orientado en dirección NW-SE (Figura 3a). Se reportan hallazgos de fragmentos correspondientes a caparazones y plastrones de tortuga altamente fracturados, inmersos en matriz arcillosa y en sedimentos de arenisca de grano fino.

En la Vereda El Alto se reportan hallazgos paleontológicos en las localidades El Horizonte, sector La Legua y Carbonorte. El afloramiento El Horizonte se encuentra ubicado en la parte central del área de estudio, expuesto en un acopio de carbón abandonado, próximo a un reservorio de agua sobre el cual han sido registrados con anterioridad hallazgos paleontológicos de gran importancia por su diversidad faunística. Consiste en un afloramiento de arcillolitas y limolitas de color gris claro crema con fósiles que comprenden escamas de peces, fragmentos de microvertebrados, fragmentos

de caparazones, plastrones y vértebras de tortugas de variados tamaños, dientes y fragmentos óseos de cocodrilos, placas óseas y restos de huesos largos de diversa índole (Figura 2). Muchos fósiles con excelente estado de conservación observados en las colecciones paleontológicas del MAS, fueron muestreados en algunos sectores cercanos a este afloramiento. A unos 50 m en sentido E del afloramiento El Horizonte, se encuentra ubicada la quebrada La Carbonera, que expone un conjunto de areniscas con un espesor total de 2,20 m, de grano fino, color gris pardo a rojizo por meteorización, dispuestos en pequeños bancos de 40 cm (Figura 3b); que hace parte de un amplio conjunto arenoso determinado como nivel guía de las capas objeto de interés.

Figura 2. Algunos restos fósiles in situ o ya preparados de vertebrados, hallados en el afloramiento El Horizonte de la Vereda El Alto en Socha.



Figura 3. a) Afloramiento en el sector La Cabrerita, Vereda Sagra Abajo, ubicada hacia el NW del área de estudio; b) Nivel guía, ubicado infrayaciendo la sección del afloramiento El Horizonte; c) Afloramiento Carbonorte, que expone arcillolitas varicoloreadas con avanzados procesos de carcavamiento.



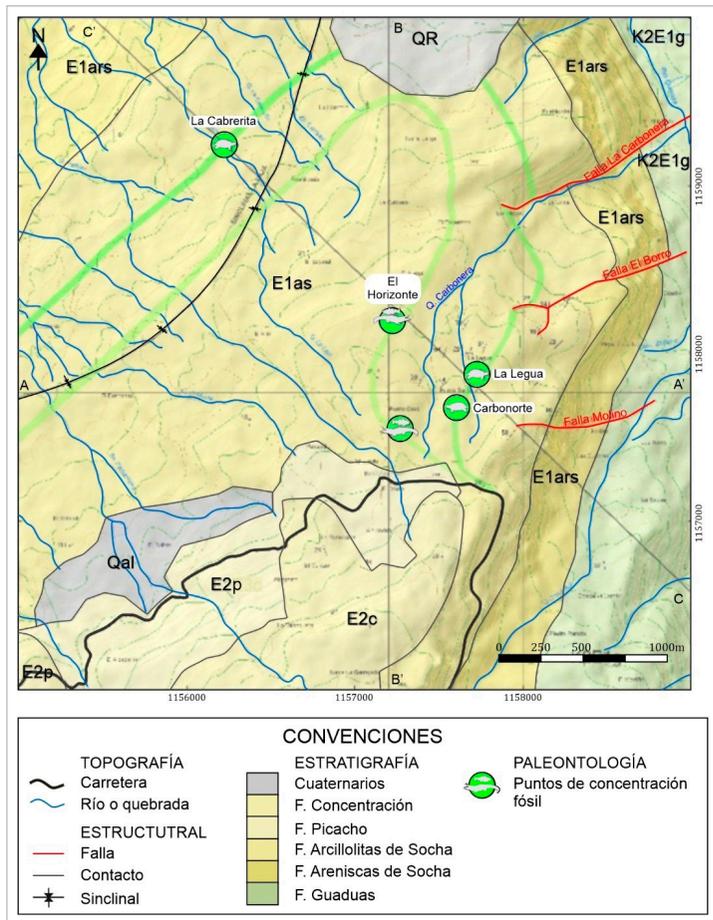
El afloramiento La Legua se encuentra ubicado en la zona E del área de estudio, a 400 m del Acopio El Horizonte. Este afloramiento consiste en un conjunto de limo-arcillolitas varicoloreadas con esporádicas intercalaciones de arenisca de grano fino, bien seleccionadas de color gris pardo a amarillento por meteorización, con contenido de líticos negros, moscovita y cuarzo hialino, inmersos en matriz arcillosa y cemento silíceo. En esta localidad se reportan hallazgos paleontológicos de fragmentos de caparazón de tortuga inmersos tanto en matriz arcillosa como en matriz arenosa. Los hallazgos realizados se presentaron en buen estado de conservación en roca fresca (Velandia, 2021; Giraud, 2011).

El afloramiento denominado Carbonorte (Figura 3c), ubicado en proximidad a esta empresa minera, se encuentra a 50 m hacia el SE del afloramiento La Legua, haciendo parte del complejo de afloramientos de la Vereda El Alto. Este afloramiento está comprendido por arcillolitas y limolitas varicoloreadas, y muy localmente intercalaciones de areniscas de grano fino; en estos sedimentos fueron registrados hallazgos de restos fósiles importantes, tales como caparazón y plastrón de tortuga, restos óseos de vértebras, mandíbulas y dientes de cocodrilos, rizomas y vértebras de serpiente de gran tamaño, siendo un yacimiento

paleontológico de enorme importancia (Benítez, comunicación personal, 2018). Actualmente este yacimiento está prácticamente desaparecido debido a la intervención de empresas mineras; pero, en pocos sectores aún se pueden rescatar algunos restos fósiles. Por ello es necesario realizar de forma urgente un plan de prospección, excavación sistemática y protección de los yacimientos del municipio de Socha antes de que desaparezcan totalmente.

De acuerdo con la información recopilada, se realizó un mapa Geológico-Paleontológico (Figura 4), que basado en la geología estructural y estratimetría de la formación, resume las trazas de los niveles fosilíferos con el objetivo de facilitar futuras exploraciones e identificación de estos niveles en otras localidades.

Figura 4. Mapa Geológico-Paleontológico del área de estudio, modificado de la Plancha 172 Paz de Río del SGC (Ulloa y Rodríguez, 2003)

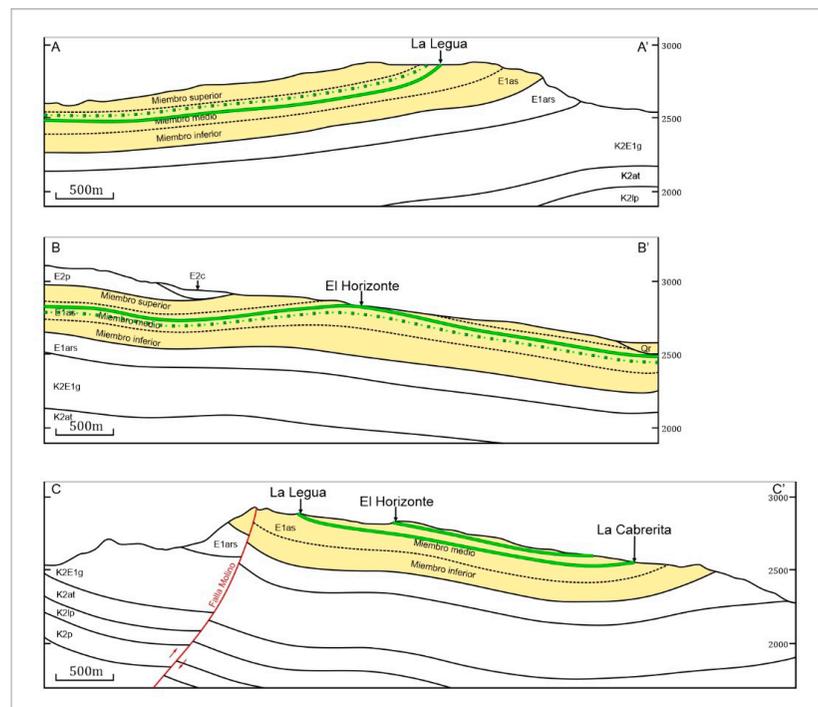


Nota: Los círculos en verde representan los puntos de concentración fósil y la línea verde representa la ubicación de trazas donde podrían estar distribuidos los niveles de concentraciones fósiles.

4.2. Perfiles geológicos.

De acuerdo con el mapa de cartografía geológica, se trazaron tres líneas de perfil las cuales atraviesan puntos de concentración paleontológica (Figura 5). El perfil A-A' se dispone en sentido W-E sobre el afloramiento La Legua; el perfil B-B' atraviesa el afloramiento El Horizonte en sentido N-S; y el perfil C-C' atraviesa de forma transversal en sentido SE-NW y pasa sobre los afloramientos La Cabrerita, El Horizonte y La Legua, donde se evidencia una relación estratigráfica entre los puntos de concentración fósil La Cabrerita y La Legua, lo que correspondería a un mismo nivel fósilífero.

Figura 5. Perfiles geológicos A-A' ; B-B' y C-C'.

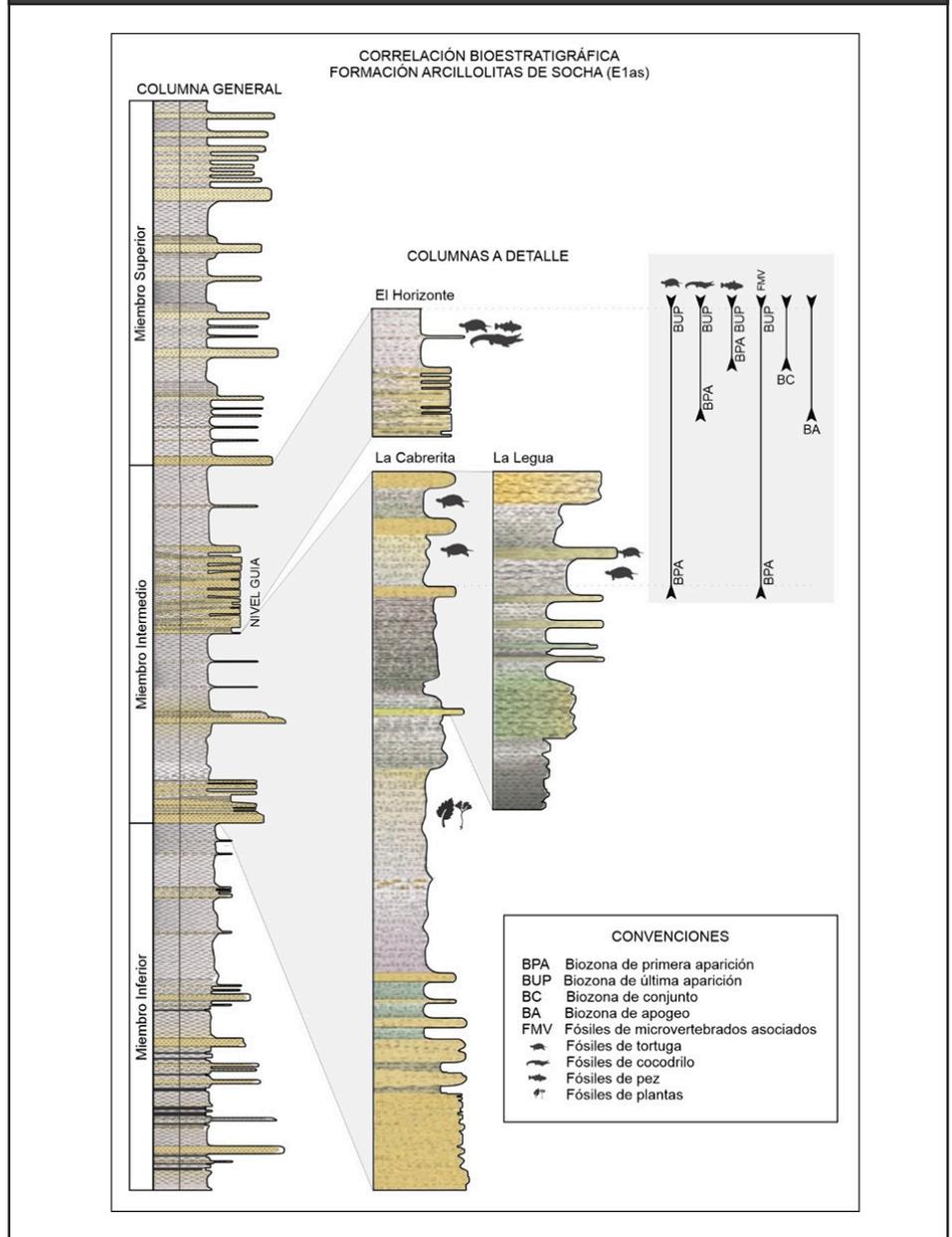


Nota: Se subdivide la Formación Arcillolitas de Socha en tres subniveles: inferior, medio y superior, y se ubican los dos niveles fosilíferos (en línea verde) identificados de acuerdo a los puntos de concentración o se ubican como niveles inferidos en línea punteada.

La columna estratigráfica del sector La Cabrerita mide 21,5 m (Figura 7), se encuentra infra yaciendo la arenisca nivel guía con grano fino con estructura sedimentaria estratificación cruzada en artesa, color pardo amarillento, rojizo por meteorización, con cuarzo hialino y moscovita, líticos negros y matriz arcillosa. Hacia la parte intermedia de la Formación se encuentran concreciones rellenas de calcedonia y a veces yeso, láminas de yeso selenita son comunes a lo largo de la columna, sin embargo, abundan hacia la parte intermedia. Los fósiles de tortuga, caparazón y plastrón, se encuentran hacia la parte superior de la columna, inmersos tanto en matriz arcillosa como en matriz arenosa, los sedimentos arcillosos son de color gris claro a medio y las areniscas de color pardo amarillento.

La Columna estratigráfica de La Legua (Figura 7), consiste en 8,43 m de sedimentos muy similares a los registrados en La Cabrerita, en especial en la forma y matriz en que fueron encontrados los fósiles, lo que indicaría una relación implícita entre estos yacimientos. La parte basal de la columna se encuentra compuesta por materiales finos, limolíticos y arcillolíticos varicoloreados, en tonos gris verde claro y morado. En la parte intermedia se registran intercalaciones de arenisca de grano muy fino, bien seleccionadas, color pardo amarillento, compuestas por cuarzo hialino, moscovita, líticos negros y matriz arcillosa. Hacia la parte superior se registra la presencia de fósiles de caparazón y plastrón de tortuga inmersas en matriz arcillosa y matriz arenosa bien conservados y fracturados.

Figura 7. Correlación bioestratigráfica entre la columna general de la Formación Arcillolitas de Socha, y las columnas a detalle levantadas en tres de los puntos de concentración fósiles



4.4. Ambientes sedimentarios

Con el fin de facilitar el estudio de litofacies y ambientes sedimentarios, se ha subdividido la formación en tres miembros: miembro inferior, miembro intermedio y miembro superior.

De acuerdo con la Tabla 1 y las facies resumidas en la Figura 6, el miembro inferior se depositó en un ambiente lacustre de

clima húmedo y abundante vegetación, con llanuras de inundación costero deltaica; el miembro intermedio constituye un ambiente de pantano, paludal, representado por las arcillolitas y limolitas varicoloreadas, las cuales indican cambios de niveles en los pantanos, en un clima cálido y seco, también se encuentran niveles arenosos o “areniscas guías” que representan canales deltaicos; y el miembro superior se depositó en un ambiente de llanuras aluviales y márgenes de valles fluviales.

Tabla 1. Litofacies, sub ambientes y sistemas deposicionales

| | Litofacies | Subambiente | Sist. Deposicional |
|----------------------|--|--|---|
| Facies arenosas | Arenisca Arcósica y Subarcósica con laminación Planar No paralela-Ak pnp | Acumulación de sedimentos en sistemas anastomosados | Depósitos de canal, rellenos de canales deltaicos |
| | Arenisca Arcósica y Subarcósica con laminación Ondulosa No Paralela-Ak onp | Acumulación de sedimentos en sistemas anastomosados | |
| | Arenisca Arcósica y Subarcósica con laminación Ondulosa Planar continua y discontinua-Ak op | Acumulación de sedimentos en sistemas anastomosados | |
| | Arenisca cuarzosa con laminación Ondulosa No Paralela-A onp | Point bar. Acumulación de sedimentos en curvas aluviales | Llanura de inundación aluvial |
| | Arenisca cuarzosa con laminación Planar Paralela continua y discontinua-A pp | Acumulación de sedimentos en sistemas anastomosados | Depósitos de canal, rellenos de canales deltaicos |
| Facies finas | Limolita con laminación Ondulosa Paralela continua y discontinua-Li op | Llanura de inundación costero deltaica | Lagunar de clima cálido y seco |
| | Limolita con laminación Ondulosa No Paralela continua y discontinua-Li onp | Pantanos y lagunas de clima húmedo y alta vegetación | Llanura de inundación costero deltaica |
| | Arcillolita con laminación Ondulosa Paralela continua y discontinua-Ar op | Pantanos y lagunas de clima seco y árido | Lagunar de clima cálido y seco |
| Facies heterolíticas | Intercalación Arenisca Arcósica-Subarcósica con laminación Planar No Paralela continua y discontinua-IAkAr pnp | Crevasse splay. Ruptura de siques naturales | Llanura de inundación aluvial |

| | Litofacies | Subambiente | Sist. Depositional |
|----------------------|--|--|---|
| Facies heterolíticas | Intercalaciones Limolita-Carbones con laminación planar no paralela-ILi-Car onp | Pantanos y lagunas de clima húmedo y alta vegetación | Llanura de inundación costero deltaica |
| | Intercalaciones Limolita-Arcillolita con laminación ondulosa no paralela-ILi-Ar onp | Depósitos en cuencas de inundación | Llanura de inundación aluvial |
| | Intercalaciones Limolita-Arenisca con laminación planar no paralela continua y discontinua-ILi-A pnp | Crevasse splay. Ruptura de siques naturales | Depósitos de canal, rellenos de canales deltaicos |
| | Intercalaciones Limolita-Arenisca con la aminación planar continua y discontinua-ILi-A pp | Canales distribuidores | Lagunar de clima cálido y seco |
| | Intercalaciones Limolita Arenisca con laminación ondulosa paralela continua y discontinua-ILi-A op | Canales distribuidores | |
| | Intercalaciones Arcillolita-Arenisca cuarzosa con laminación inclinada de bajo ángulo-IAR-A ia | Canales distribuidores | Llanura de inundación costero deltaica |
| | Intercalaciones Arcillolita-Limolita con laminación ondulosa paralela continua y discontinua-IAR-Li op | Pantanos y lagunas de clima seco y árido | |

La Formación Arcillolitas de Socha (E1as) se depositó en un ambiente netamente continental, confirmado por la presencia de fósiles de cocodrilos, serpientes, y minerales como carbón y algunas evidencias de yeso (Carreño y Delgado, 1991; Fabre, 1983; Jaramillo y Dilcher, 2001; Romero y Silva, 1992).

4.5. Correlación Bioestratigráfica

Si se correlacionan las columnas a detalle junto a la columna general de la Formación Arcillolitas de Socha (E1as), con énfasis en los miembros donde se reportaron hallazgos fósiles, se determinan las diferentes unidades bioestratigráficas presentes en las biozonas existentes (Figura 7). Fueron identificadas las siguientes unidades bioestratigráficas: Biohorizonte de última Presencia (BUP) y Biohorizonte de Primera Presencia (BPA); así como Biozona de Conjunto (BC) y Biozona de Apogeo (BA) (Figura 7).

5. Discusión

De acuerdo con el trabajo de campo y los resultados obtenidos, se define una subdivisión de la Formación Arcillolitas de Socha desde el punto de vista estratigráfico, en tres miembros: Miembro inferior, Miembro intermedio y Miembro superior, con el propósito de facilitar el estudio y ubicación de puntos de interés paleontológicos. Los niveles fosilíferos para todos los puntos se encuentran ubicados en el nivel intermedio, muy próximos al miembro arenoso intermedio que en este artículo fue denominado arenisca guía, la cual sirve de referencia para la búsqueda posterior de vertebrados que se disponen infrayaciendo y suprayaciendo dichas capas.

De la misma forma, fue definida una estrecha relación entre la litoestratigrafía de los puntos La Cabrerita y La Legua, así como la semejanza entre sus fósiles y biohorizontes y su ubicación común en la columna estratigráfica (Figura 7), lo que permite inferir cierta analogía entre estos dos puntos. Se define entonces que el nivel de La Cabrerita y el nivel de La Legua son equivalentes, y corresponden al mismo nivel estratigráfico per se y por ende comparten la misma historia geológica.

Los fósiles que permitieron dar esta equivalencia en las localidades La Legua y La Cabrerita, pertenecen al taxón Testudines comúnmente conocido como tortugas, ubicados en arcillolitas grises claras y en capas delgadas de areniscas de grano muy fino, éstos fósiles se encontraron completos o casi completos y bien conservados, a pesar de estar muy fracturados; mientras en las localidades Carbonorte y El Horizonte, se encontró mayor variedad de taxones de vertebrados y microvertebrados, incluyendo fósiles de peces y cocodrilos.

Los fósiles de tortugas y cocodrilos identificados en la Formación Arcillolitas de Socha podrían estar relacionados con los megafósiles reportados en la Formación Cerrejón en la Guajira, dado que las dos formaciones son coetáneas y con paleoambientes similares. El gigantismo de los megafósiles de Socha y Cerrejón sería un indicador más del calentamiento global que se presentó a comienzos del Terciario conocido como Paleoceno-Eoceno Thermal Maximum (PETM), los ambientes cálidos y secos estarían soportados por la presencia de yeso y arcillolitas varicoloredas y que presenta similitudes con el calentamiento que experimentamos en la actualidad debido al aumento de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera (Cadena, Bloch y Jaramillo, 2010; Cadena, Ksepka y Jaramillo, 2012). Dichos fósiles se pueden apreciar mejor en el museo de los Andes en Socha (Boyacá) (Figuras 8 y 9).

Figura 8. Caparazones de tortuga y vertebras de serpiente. Exposición de fósiles Museo de Los Andes en Socha, Boyacá (Cortesía Fundación Benítez).

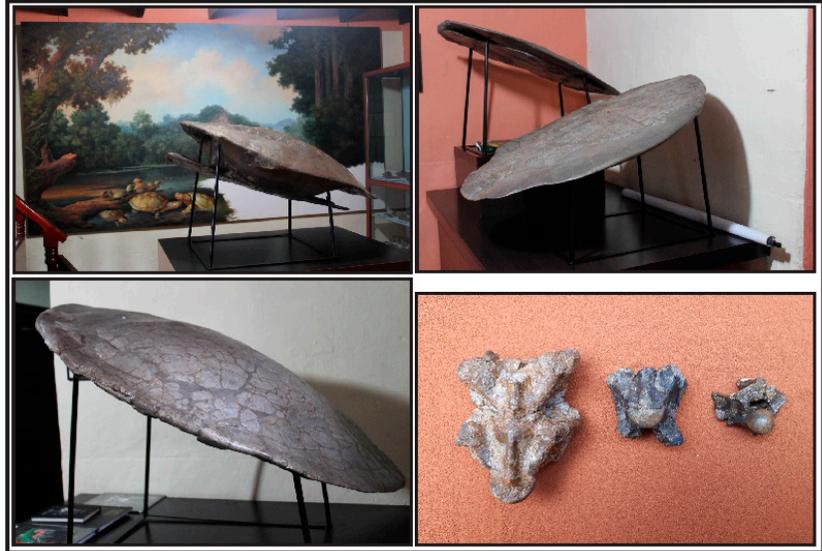
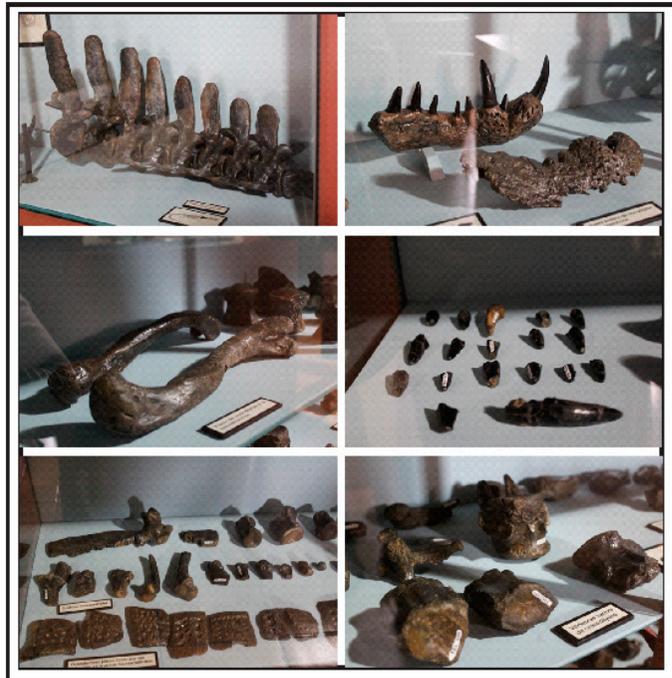


Figura 9. Vertebras y mandíbulas en la parte superior. En el medio huesos y colección de dientes de cocodrilo. En la parte inferior osteodermos y vertebras de cocodrilo. Exposición de fósiles en el Museo de Los Andes en Socha, Boyacá (Cortesía Fundación Benítez).



6. Conclusiones

En el municipio de Socha (Boyacá), en la Formación Arcillolitas de Socha (E1as) se encuentran fósiles de microvertebrados, peces, vertebras, dientes y restos óseos de cocodrilos y fragmentos de caparazón y plastrón de tortugas, además de rizomas y coprolitos bien conservados.

La formación se depositó en un ambiente continental cálido y seco de llanuras aluviales y costeras, valles fluviales, canales deltaicos y lagunas; confirmado por la presencia de fósiles de cocodrilos y serpientes, así como arcillolitas varicoloreadas, yeso y carbón.

Los niveles fosilíferos se encuentran suprayaciendo e infrayaciendo el conjunto de areniscas dispuestas en capas gruesas y muy gruesas presentes en el miembro intermedio, las cuales para efectos de este estudio se han denominado “Areniscas guía”, las cuales servirán para la eventual ubicación de fósiles en prospección y exploración en investigaciones posteriores.

Los fósiles de tortugas y cocodrilos encontrados en las arcillolitas de Socha podrían estar relacionados con los megafósiles reportados en la formación Cerrejón en la Guajira porque las dos formaciones fueron depositadas en el Paleoceno con ambientes de depósito similares.

Las columnas estratigráficas levantadas en cada yacimiento La Legua y La Cabrerita, han sido desarrolladas a una escala de alta resolución y detalle, sin embargo, no fue posible realizar un levantamiento similar en los yacimientos de El Horizonte y Carbonorte, sitios de gran interés paleontológico, a causa de que su área es restringida y se encuentran potencialmente amenazados con posibilidades de desaparecer; lo anterior, demuestra la necesidad imperante de fortalecer las leyes locales a favor de la protección y preservación de estos yacimientos paleontológicos en la región o el desarrollo de un plan de manejo y protección de principales sitios de interés patrimonial paleontológico para rescatar los fósiles y la información geológica contenida en ellos.

Esta investigación sirve como soporte técnico para realizar estudios posteriores asociados a la reivindicación del patrimonio geológico y paleontológico de Socha y del Departamento de Boyacá. El presente trabajo deja precedentes de estudios que permiten profundizar en el desarrollo de proyectos que impulsan y promueven la protección y preservación de yacimientos paleontológicos, así como geológicos.

La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia como universidad líder en la región puede iniciar proyectos específicos de investigación en Socha, encaminados a la investigación y excavación sistemática de sus fósiles mediante una alianza estratégica entre el Museo Universitario de Ingeniería Geológica MUIG, la escuela de Ingeniería Geológica, la escuela de Biología y el Museo de los Andes de Socha en conjunto con la Fundación Benítez liderada por Byron Benítez.

El gigantismo de los fósiles de Socha y Cerrejón confirmaría la hipótesis de un calentamiento global que se presentó a comienzos del Terciario (PETM).

7. Agradecimientos

Los autores de esta investigación agradecen a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, al Museo de Los Andes de Socha (MAS) y a la Fundación Benítez, quienes han motivado y fortalecido el desarrollo de este proyecto, y a Byron de Jesús Benítez, quien nos ha guiado y acompañado a lo largo del proyecto y está muy familiarizado con la importancia paleontológica, ubicación y morfología original de los fósiles.

8. Referencias

- Alvarado, B.; Sarmiento, R. (1944). *Informe geológico general sobre los yacimientos de hierro, carbón y caliza de la región de Paz de Río, departamento de Boyacá*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Nacional.
- Boggs, S.Jr. (1967). *Principles of sedimentology and stratigraphy*, Cuarta Edición, New Jersey, E.E.U.U., University of Oregon. Pearson Prentice Hall.
- Cadena, E.A.; Bloch, J.J.; Jaramillo, C.A. (2010). New podocnemidid turtle (Testudines: Pleurodira) from the middle–upper Paleocene of South America. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(2), pp. 367-382. <https://doi.org/10.1080/02724631003621946>.
- Cadena, E.A.; Ksepka, D.T.; Jaramillo, C.A. (2012). New pelomedusoid turtles from the late Palaeocene Cerrejón Formation of Colombia and their implications for phylogeny and body size evolution. *Journal of Systematic Palaeontology*, 10(2), pp. 313-331. <https://doi.org/10.1080/14772019.2011.569031>.
- Carreño, M.F.; Delgado, J.G. (1991). *Evaluación Geológica de los carbones en el área comprendida entre Socha y Socotá*. Sogamoso, Colombia, Carbones de Colombia S.A.
- Fabre, A. (1983). La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior, primera parte: Estudio cuantitativo de la Subsidencia. *Geología Norandina*, 8, pp. 21-27.
- Geoestudios Ltda. (2006). *Cartografía Geológica Cuenca Cordillera Oriental Sector Soapaga*, Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Hidrocarburos. https://www.anh.gov.co/documents/2718/CARTOGRAFIA_GEOLOGICA_SOAPAGA-C.ORIENTAL_2005.pdf.
- Giraud, M.J. (2011). Informe técnico de comisión. Bogotá, Colombia: Museo Geológico Nacional “José Royo y Gómez” Ingeominas.

- Jaramillo, C.; Dilcher, D.L. (2001). Middle Paleogene palynology of Central Colombia, South America: A study of pollen and spores from tropical latitudes. *Paleontographica Abteilung B*, 285, pp. 87-213. <https://doi.org/10.1127/palb/258/2001/87>.
- Krumbein, W.C.; Sloss, L.L. (1958). *Stratigraphy and sedimentology*, California, E.E.U.U.: W.H. Freeman and Company.
- Pardo, T.A. (2005). Palinoestratigrafía del Paleoceno-Eoceno en el sector de Sogamoso-Paz de Río (Cordillera Oriental, Colombia). Bogotá, Colombia: X Congreso Colombiano de Geología, Sociedad Colombiana de Geología.
- Reyes, I. (1984). *Geología de la Región de Duitama – Sogamoso – Paz de Río Departamento de Boyacá*. Sogamoso, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Romero, S.H.G.; Silva, B.C. (1992). Análisis Paleambiental de la Formación Socha Inferior en un área al Noreste de Sogamoso, Departamento de Boyacá (Tesis de pregrado), Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias.
- Sachs, H. (1978). *Concepts and methods of biostratigraphy*. Editado por Kaufman, E. G.; Hazel J.H. *Quaternary Research*, 10(1), pp. 139. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(78\)90023-6](https://doi.org/10.1016/0033-5894(78)90023-6).
- Ulloa, C., Rodríguez, E. (2003). *Memoria de la plancha 172 Paz de Río*, Bogotá, Colombia, INGEOMINAS. <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblion>
- Van Der Hammen, T. (1957). *Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá, Cordillera Oriental de Colombia*. Bogotá, Colombia, Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional.
- Velandia, O. (2021). Estratigrafía de los niveles fosilíferos de la Formación Arcillolitas de Socha en el sector El Alto y Sagra Abajo en Socha, Boyacá (Tesis de pregrado), Sogamoso, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Ingeniería Geológica.