



**AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN DE LOS INVERTEBRADOS FÓSILES DE LA  
SECCIÓN DE VILLA BETTY, MUNICIPIO DE MORROA (SUCRE)**

Juan Camilo Quintero Viloría

Pregrado de Geología  
Departamento de Física y Geociencias  
Barranquilla, Atlántico  
2024

**AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN DE LOS INVERTEBRADOS FÓSILES DE LA  
SECCIÓN DE VILLA BETTY, MUNICIPIO DE MORROA (SUCRE).**

Juan Camilo Quintero Viloría

Director

Ph. D. Aldo Fernando Rincón Burbano

Trabajo de grado para optar al título de: Geólogo

Pregrado de Geología

Departamento de Física y Geociencias

Barranquilla, Atlántico

2024

## **Agradecimientos**

*A mi familia por brindarme el apoyo, acompañamiento y motivación en todo mi proceso de formación.*

*A mis amigos y compañeros Elisabeth Bolívar, Laura Rodríguez, Carlos Rodríguez y el Besto Cuarto por el apoyo y trabajo juntos durante los años de formación y las experiencias vividas.*

*Al profesor Aldo Rincón por su guía y enseñanzas durante el transcurso de mi formación y en la realización de este trabajo. A Carlos Quintana por el acompañamiento y comentarios en este trabajo.*

*Al señor Erick por su guía y a todos los presentes en las campañas de campo en Villa Betty, Morroa.*

## **Resumen**

En el Caribe, formaciones con fósiles marinos registran los cambios bióticos asociados a la separación del océano Pacífico y el mar Caribe durante levantamiento final del Istmo de Panamá durante el Neógeno tardío. En el Caribe, estos afloramientos se extienden desde La Guajira hasta el Golfo de Urabá en Colombia, y rocas en Panamá, Costa Rica y Cuba. Análisis sedimentológicos y paleontológicos permiten avanzar en la reconstrucción paleobiogeográfica de esta zona del norte de los Andes. De esta manera, con la identificación de litofacies de las rocas del sur del Cinturón Plegado de San Jacinto, en la localidad de Villa Betty (Morroa, Sucre), estas corresponden a ambientes marinos poco profundos de la Formación El Cerrito (Mioceno). Las litofacies identificadas, así como los macrofósiles de invertebrados recolectados, sugieren un ambiente de lower-middle shoreface. La ocurrencia de géneros y especies de bivalvos, gasterópodos y cefalópodos, independiente de su valor como fósil guía, sugieren edades que varían desde el Mioceno medio (moluscos y ostrácodos) hasta una depositación más tardía durante el Plioceno teniendo en cuenta la ocurrencia de foraminíferos. Este análisis sugiere una correlación con otras unidades marinas someras en el Caribe, y limitan el levantamiento final del Istmo de Panamá ocurriendo en sedimentos continentales por encima de las rocas de la Formación El Cerrito, un fenómeno paleobiogeográfico marcado por la colisión de la parte noroccidental de Suramérica y el bloque Panamá, registrando eventos diacrónicos pobremente estudiados en el Caribe colombiano.

**Palabras clave:** fósiles marinos, ambiente sedimentario, shoreface, Mioceno, paleobiogeografía.

## **Abstract**

In the Caribbean, formations with marine fossils record the biotic changes associated with the separation of the Pacific Ocean and the Caribbean Sea during the final uplift of the Isthmus of Panama during the late Neogene. In the Caribbean, these outcrops extend from La Guajira to the Gulf of Urabá in Colombia, and rocks in Panama, Costa Rica, and Cuba. Sedimentological and paleontological analyses allow progress in the paleobiogeographic reconstruction of this area of the northern Andes. Thus, with the identification of lithofacies of the rocks of the south of the San Jacinto Folded Belt, in the locality of Villa Betty (Morroa, Sucre), these correspond to shallow marine environments of the El Cerrito Formation (Miocene). The identified lithofacies, as well as the macrofossils of invertebrates collected, suggest a lower-middle shoreface environment. The occurrence of genera and species of bivalves, gastropods and cephalopods, regardless of their value as a guide fossil, suggest ages ranging from the middle Miocene (molluscs and ostracods) to a later deposition during the Pliocene taking into account the occurrence of foraminifera. This analysis suggests a correlation with other shallow marine units in the Caribbean, and limits the final uplift of the Isthmus of Panama occurring in continental sediments above the rocks of the El Cerrito Formation, a paleobiogeographic phenomenon marked by the collision of the northwestern part of South America and the Panama block, recording poorly studied diachronic events in the Colombian Caribbean.

**Keywords:** marine fossils, sedimentary environment, shoreface, Miocene, paleobiogeography.

## Contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Planteamiento del problema .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Objetivo general .....</b>	<b>10</b>
<b>4. Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>5. Marco geológico .....</b>	<b>10</b>
<b>6. Zona de estudio .....</b>	<b>13</b>
<b>7. Metodología .....</b>	<b>14</b>
<b>8. Resultados .....</b>	<b>15</b>
8.1. Cartografía geológica .....	15
8.2. Columna estratigráfica .....	16
8.3. Contenido paleontológico.....	18
<b>9. Discusión .....</b>	<b>27</b>
9.1 Ambiente sedimentario.....	27
9.2 Edad.....	29
9.3 Relaciones en el caribe .....	32
<b>10. Conclusiones .....</b>	<b>34</b>
<b>11. Referencias.....</b>	<b>35</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1 a Principales fallas del norte de Colombia. b Edades de las rocas aflorantes de la parte sur del CPSJ .....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 2 Zona de estudio y ubicación de la sección levantada en Villa Betty y rutas recorridas. ....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 3 Mapa geológico de la zona de estudio.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4 Columna estratigráfica de la Formación El Cerrito, sector lago El Venado a escala 1:100.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 5 Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 1 Anadara sp., 2 Chionopsis tegulum, 3 Clementia dariena, 4 Psammacoma gatunensis, 5 Hexacorbula gatunensis, 6 Harvella elegans.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6 Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 7 Architectonica nobilis, 8 Bivetiella dariena, 9 Buccinidae sp., 10 Conus sp., 11 Euclia dinota, 12 Cymatophos turbacoensis. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 7 Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 13 Conus molis, 14 Olividae sp., 15 Polinices stanislasmeyunieri.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 8 Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 16 Polystira sp., 17 Strioterebrum wolfgangi, 18 Turritella gatunensis, 19 Turritella matarucana, 20 Turitella altilira. ....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 9 Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 21 Otolitos (Sciaenidae sp.), 22 Myliobatiformes sp., 23 Selachimorpha sp., 24 Aturia sp., 25 Dentalium sp., 26 Crocodylia sp., 27 Decapoda sp. ....</b>	<b>25</b>

<b>Figura 10</b> <i>Curva de rarefacción para la sección de Villa Betty.</i> .....	26
<b>Figura 11</b> <i>Diagrama de perfil de playa.</i> .....	27
<b>Figura 12</b> <i>Profundidad de habitat de especies infaunales y epifaunales en la Formación El Cerrito.</i> .....	28
<b>Figura 13</b> <i>Rango bioestratigráfico de distribución de los géneros (o especies) en este trabajo y otras unidades a lo largo del Caribe.</i> .....	31

### **Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Géneros y/o especies identificados en este trabajo.</i> .....	19
<b>Tabla 2</b> <i>Porcentaje de especímenes encontrados según hábitat e índices de biodiversidad</i> .....	20
<b>Tabla 3</b> <i>Lista de fósiles invertebrados reportados por De Porta (1962) y este trabajo y las ocurrencias en las formaciones Tubará, Jimol y Castilletes.</i> .....	33
<b>Tabla 4</b> <i>Número de los géneros y/o especies en común de la Fm. El Cerrito con las reportadas en las formaciones Tubará, Jimol y Castilletes.</i> .....	34

## 1. Introducción

La región norte de los Andes presenta una historia compleja debido a la acreción de arcos oceánicos al continente (Montes et al., 2019) y el levantamiento del Istmo de Panamá en el Mioceno medio (Coates & Stallard, 2013), todo esto desarrollado en un marco donde la subducción es de bajo ángulo entre la placa Caribe y la placa Suramericana (Mantilla-Pimiento et al., 2009). Esta interacción tectónica ha dado lugar a la formación de estructuras en un régimen compresivo a lo largo del límite entre la Placa Caribe (basaltos) y la Placa Sudamericana (granitoides), destacándose los Cinturones Plegados de Sinú (CPS) y San Jacinto (CPSJ) en el norte de Colombia (Ladd et al., 1984). Estas cuñas acrecentivas alcanzan espesores de hasta 12 kilómetros (Duque-Caro, 1979), mostrando la presencia de fallas inversas y pliegues asociados en la parte externa, así como fallas normales y diapirismo de lodo significativo (Rodríguez et al., 2021), que involucra estratos con edades que van desde el Cretácico Superior hasta el Neógeno (Case et al., 1990). Diversos estudios realizados en el Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) han permitido el entendimiento de la geología del norte de Colombia, la antigua configuración tectónica del delta del Río Cauca (Vargas et al., 2022) y del Río Magdalena (Bordine, 1974), al igual que intensos esfuerzos en la búsqueda de hidrocarburos como fuentes potenciales de ingresos para el país.

Las rocas depositadas durante el Mioceno y Plioceno en el CPSJ (Formación El Cerrito y Formación Tubará) presentan un contenido fosilífero muy similar (Werenfels, 1926; Anderson, 1929; Bürgl et al., 1955; De Porta, 1962). Algunos autores (e.g., Duque Caro, 1971 en Bermúdez, 2016) han interpretado ambientes batipelágicos para la Formación El Cerrito, mientras que otros han interpretado ambientes someros y de transición, como lo indican los trabajos de Werenfels (1926) en Sucre (sur del CPSJ) y Barrios (1960) en el Atlántico (en la parte norte del CPSJ). En

el caso de la sección de Arroyo Piedras, Tubará (Atlántico), se registra la transición de ambientes de prodelta a laguna durante el Mioceno tardío seguido de ambientes de playa durante el Plioceno temprano, según análisis micropaleontológicos y litofaciales (Molinares et al., 2012). La fuente de estos sedimentos es de corteza continental (Lopez et al., 2022).

Por otro lado, en la región sur del CPSJ se encuentran los sinclinales de Sincelejo y Tumba Toro, que exhiben rocas con edades que varían desde el Eoceno hasta el Plioceno, como de las formaciones Toluviejo, Carmen, El Cerrito y Sincelejo (Clavijo & Barrera, 2001), las cuales son depositadas sobre rocas de basamento oceánico (Lopez et al., 2022). De acuerdo con De Porta (1962), la Formación El Cerrito incluye sedimentos del Mioceno en un sentido más amplio teniendo en cuenta la fauna de moluscos, mientras que Duque-Caro (1968) sostiene que es del Plioceno inferior por correlación litológica con la sección Carmen-Zambrano. Aunque en su mayoría se considera que la Formación El Cerrito es de edad Mioceno (e.g., Bermúdez, 2016; Vargas et al., 2022), para definir con mayor precisión el ambiente de deposición y la edad, se requieren esfuerzos adicionales en cartografía y paleontología antes de cualquier tipo de datación absoluta.

El levantamiento de una columna estratigráfica en cercanías del lago El Venado, Villa Betty (Morroa, Sucre), además de permitir ordenar los eventos usando organismos en biocenosis, permite la identificación (género y especie) e interpretación un posible ambiente sedimentario y por lo tanto, realizar un aporte considerable a la bioestratigrafía del CPSJ y de la parte norte de Los Andes.

## **2. Planteamiento del problema**

Las rocas del Mioceno en el Caribe registran los cambios asociados con el inicio de la colisión entre Sudamérica y el Arco Centroamericano (Farris et al., 2011). Especialmente, las señales

isotópicas derivadas de rocas con composiciones diferentes permitirían aumentar la cantidad de datos geocronológicos, y de esta forma, establecer una organización coherente de las unidades litoestratigráficas neógenas, tanto marinas como continentales, involucradas en la deformación de la parte norte de los Andes. Sin embargo, estas unidades deben ser estudiadas sedimentológica y paleontológicamente, por lo tanto, considerando su ubicación en sur del CPSJ, surge la pregunta: ¿Cuál es el ambiente sedimentario para la secuencia depositada en el sector de Villa Betty y cuál sería la edad relativa para estos sedimentos marinos?

### **3. Objetivo general**

Identificar el ambiente sedimentario para la secuencia marina expuesta en Villa Betty usando el registro macro fósil ubicado en columnas litoestratigráficas.

### **4. Objetivos específicos**

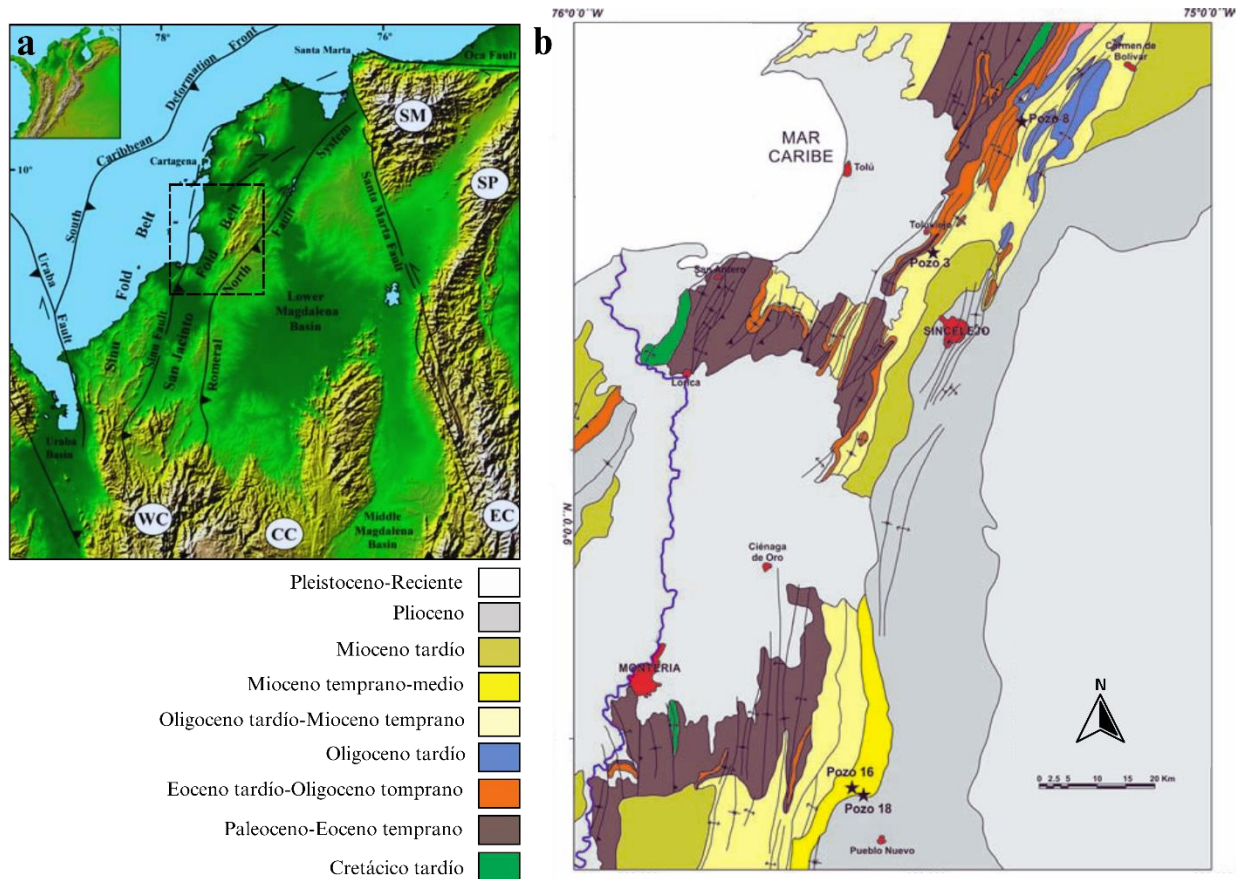
- Definir la posición estratigráfica de las rocas aflorantes en cercanías del Lago El Venado, Villa Betty usando cartografía básica a escala 1:25.000.
- Establecer el ambiente sedimentario de esta secuencia mediante la interpretación de las litofacies consignadas en columnas a escala 1:100.
- Identificar y relacionar los fósiles hallados en la secuencia sedimentaria de Villa Betty con otras formaciones en el Caribe.

### **5. Marco geológico**

El CPSJ está delimitado al oeste por la Falla del Sinú y al este por el Sistema de Fallas de Romeral (Duque-Caro, 1979; Mantilla-Pimiento et al., 2009) (Figura 1). En la actualidad se acepta que el CPSJ se originó como un prisma acrecentivo durante el Cretácico Tardío, el cual experimentando eventos de deformación durante ciclos transgresivos y regresivos durante su

colisión con la parte sur de Panamá (Duque-Caro, 1979; Duque-Caro, 1984; Bermúdez, 2016). El estilo estructural del CPSJ se caracteriza por anticlinales estrechos y alargados separados por sinclinales, con rumbo predominantemente N-NE, según lo descrito por Duque-Caro (1984).

**Figura 1 a** Principales fallas del norte de Colombia. **b** Edades de las rocas aflorantes de la parte sur del CPSJ.



*Nota.* WC: Cordillera Occidental, CC: Cordillera Central, EC: Cordillera Oriental, SM: Sierra Nevada de Santa Marta, SP: Serranía del Perijá. Tomado y adaptado de Rosero et al. (2014); Mantilla-Pimiento et al. (2009).

El basamento cristalino del sur del CPSJ corresponde a rocas basálticas asociadas a la Placa Caribe (Cediél et al., 2003). Sobre ellas descansan rocas marinas cretácicas, descritas como chert con intercalaciones de limolitas silíceas con intrusiones de sills basálticos (Guzmán et al., 2004).

Suprayaciendo, y de manera discordante, reposa la secuencia del Paleoceno al Eoceno tardío, con formaciones como Fm. San Cayetano y Fm. Chengue, registrando depósitos de abanicos aluviales hasta la zona de transición con aumento de material terrígeno relacionado a un orógeno el cual está siendo reciclado (Osorio-Granada et al., 2019). Desde el Eoceno medio hasta el Oligoceno, se registran secuencias de areniscas y conglomerados depositados en plataforma somera (Fm. Pendales) y depósitos de carbonatos con sedimentos siliciclásticos dispersos (Salazar-Ortiz et al., 2020). Para el Oligoceno medio hasta el Mioceno inferior, sobresalen depósitos de transición con presencia de lodolitas, arenitas, margas y lutitas (Fm. Cienaga de Oro) (Guzmán et al., 2004). Discordantemente, ocurre un nuevo episodio de transgresión, el cual incluye sedimentos con faunas del Mioceno tardío cubiertos por secuencias fluviales a transicionales progradantes (Dueñas & Duque, 1981; Vargas-González et al., 2022).

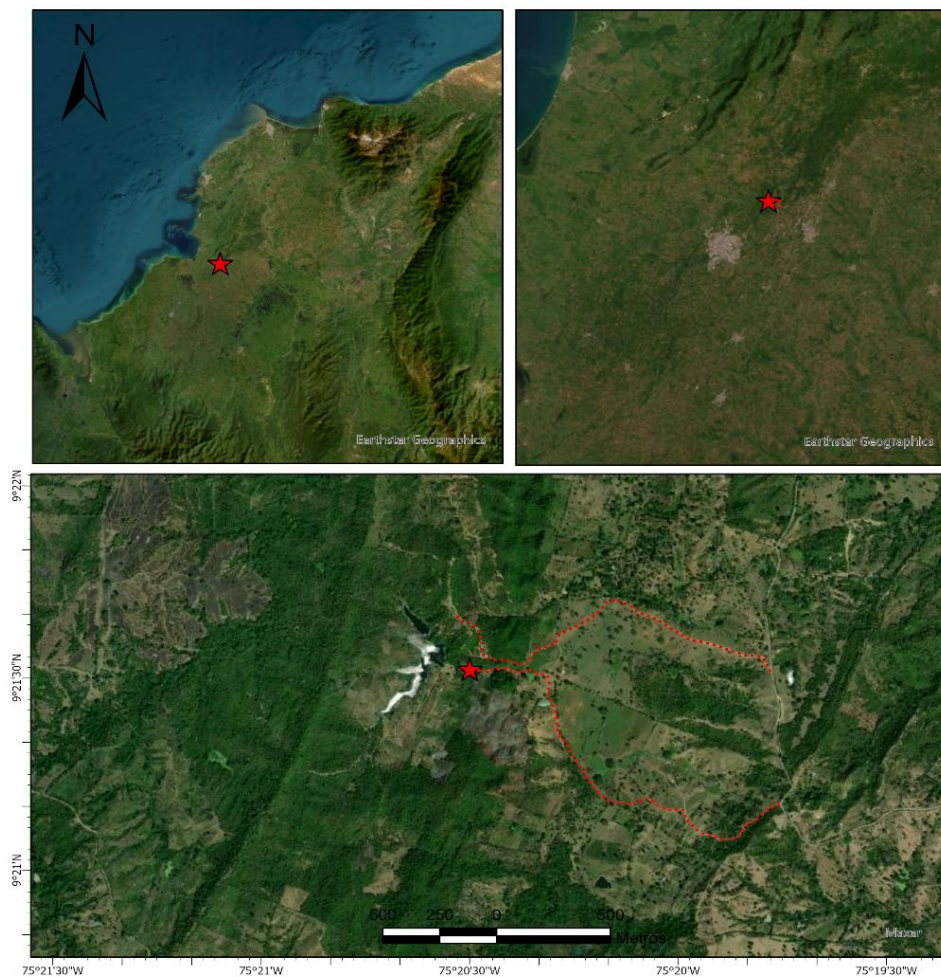
La geología en los alrededores de Sincelejo fue abordada por De Porta (1962), quien describió una secuencia que incluye una serie marina del Mioceno subyacente a una serie continental. La serie marina se caracteriza por un régimen de aguas someras y de poca profundidad, mientras que la serie continental se asocia con sistemas fluviales de alta energía con rocas depositadas en un río trezado (Villarroel & Clavijo, 2005).

La Formación El Cerrito, parte de la serie marina, es mencionada por primera vez en el trabajo de Werenfels (1926) realizado en los alrededores de Tolviejo (Sucre), teniéndose la secuencia completa expuesta entre las localidades de El Cerrito y Ovejas. Las rocas consisten en secuencias de areniscas con intercalaciones de calizas y shales de tonalidades grises a marrones, con diversidad de faunas de gasterópodos y bivalvos. Entre las capas, destaca hacia la base una arenisca calcárea con bivalvos del género *Ostrea*; mientras que *Pyramidella* y *Turritella* están presentes en varias capas y hacia el tope se registra madera silicificada.

## 6. Zona de estudio

La zona objeto de estudio se ubica en la jurisdicción del municipio de Morroa, Sucre, en la localidad de Villa Betty, a una distancia de 15.3 km por carretera desde Sincelejo (Figura 2). Este sitio pertenece a la subregión de la cadena montañosa de Los Montes de María y se caracteriza por cuevas entre valles amplios. Las rocas expuestas se extienden desde la entrada a Villa Betty hasta la pendiente que conduce hacia el lago El Venado ( $9^{\circ}21'31.25''\text{N } 75^{\circ}20'30.11''\text{O}$ ), donde fue levantada una columna litoestratigráfica. Las capas exhiben un buzamiento que oscila entre 30 y 50 grados en dirección al NE.

**Figura 2** Zona de estudio y ubicación de la columna litoestratigráfica en Villa Betty y rutas recorridas en rojo.



## 7. Metodología

Para cumplir con los objetivos del trabajo, se dividió el proceso en tres etapas. En la primera fase, se llevó a cabo una revisión bibliográfica centrada en trabajos que cubrían la zona de estudio y las formaciones geológicas reportadas allí reportadas. Estos trabajos, entre ellos los realizados por Beck (1921), Werenfels (1926), De Porta (1962), Dueñas & Duque (1981), Clavijo et al. (1998), Guzmán et al. (2004), Salazar-Ortiz et al. (2020), y Vargas et al. (2022), permitieron contextualizar la geología regional e identificar faltantes en términos cronoestratigráficos y definir la relevancia de aquellos estudios previos enfocados en la comprensión de la geología regional en el norte de los Andes.

Posteriormente, la segunda etapa consistió en campañas de campo (octubre de 2022, noviembre de 2023 y marzo de 2024). Durante las expediciones, se realizaron observaciones detalladas de la roca a escala 1:100, la toma de datos estructurales en el trayecto hacia el afloramiento de interés en la localidad el Venado (Figura 2). Para esto se implementó la técnica del Bastón de Jacob para medir espesores de estratos, utilizando herramientas como una brújula Brunton, una vara o ballestilla de 1.5 metros y una cinta métrica. Las rocas fueron clasificadas según siliciclásticas (Dott, 1964) y rocas bioquímicas (Embry & Klovan, 1971; Folk, 1959). Mientras que para la recolección de muestras de roca se emplearon sacos marcados sistemáticamente con letras y números claramente identificados en la columna estratigráfica.

En la tercera etapa, correspondiente al trabajo de laboratorio, se tamizaron las muestras recolectadas para la separación de acuerdo a los tamaños de grano, facilitando la extracción del contenido paleontológico y micropaleontológico usando tamices con diámetros de 2 cm, 2 mm y 0.085 mm. El material tamizado fue analizado con lupas de mano y estereoscópicas, separando el contenido paleontológico (cuerpos fósiles intactos y en biocenosis) y ubicándolo en una columna

estratigráfica utilizando el paquete de programación S-dar (Ortiz & Jaramillo, 2018) en el software R Studio.

Los datos estructurales y observaciones directas en campo fueron combinados con métodos de cartografía litológica (Mustard & Sunshine, 1999), usando imágenes satelitales del programa espacial Copernicus con combinaciones de bandas útiles para identificar atributos geológicos (False Color, SWRI, *Geology* 8, 11, 12). Por su parte, el ambiente sedimentario para la sección se basó en las propiedades descritas para cada roca, e.g. las litofacies de cada roca, además de tener en cuenta la profundidad en la que habitaban los fósiles reconocidos encontrados en las muestras tomadas, usando como guía la guía plantilla y recursos a disposición por el Florida Museum of Natural History (2013) y la literatura disponible para la zona. De igual manera, se llevó a cabo análisis de biodiversidad mediante el software PAST y para la edad relativa de roca sugerida por los fósiles encontrados se tuvo en cuenta los rangos de aparición temporal reportados en la página web de Paleobiology Database (McClennen et al., 2024).

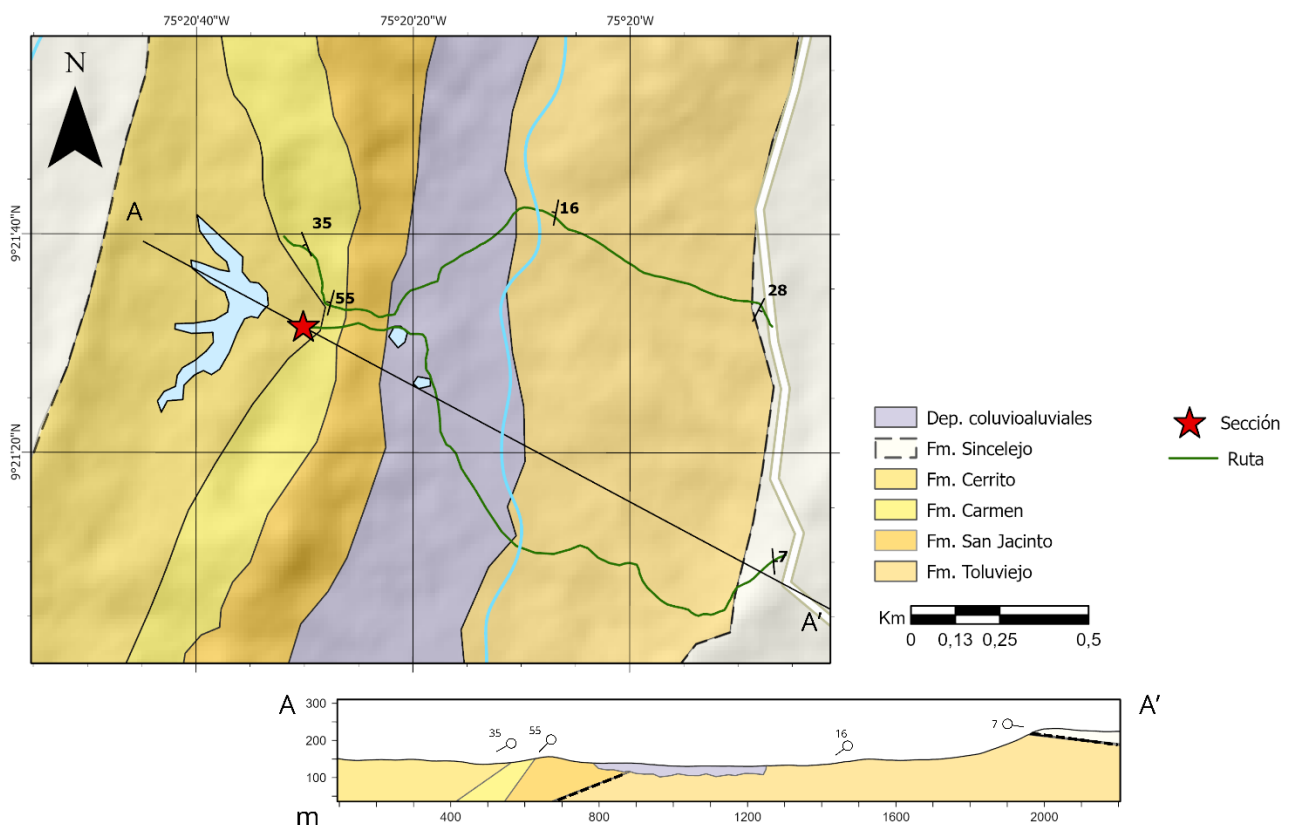
## **8. Resultados**

### 8.1. Cartografía geológica

En los trayectos recorridos en las campañas de campo (Figura 2), inicialmente se observaron buzando hacia el NW capas centimétricas de arenas con carbonato y presencia de macroforaminíferos. Sobre estas, capas métricas de areniscas líticas de grano medio-grueso y angulares en una matriz calcárea; dando paso a areniscas finas-medias intercaladas con arcillolitas calcáreas. Seguido, areniscas intercaladas con calizas y abundante contenido fósil marino en con geometrías tabulares, sobre las cuales se llevó a cabo este trabajo, buzando 298/37. Con dirección de buzamiento contrario a las rocas infrayacentes (118/28, 111/07), se observaron

afloramientos de arenisca con capas lenticulares de conglomerados y estratificación cruzada. De igual manera se observaron depósitos coluvioaluviales en la mitad de los trayectos realizados. Por lo tanto, acorde a las observaciones se identifican las Formación Toluvejo (Werenfels, 1926) de edad Eoceno medio, la Formación San Jacinto del Eoceno tardío-Oligoceno (Clavijo & Barrera, 2001), la Formación El Carmen (Notestein & Aitken, 1929) del Oligoceno tardío-Mioceno temprano, la Formación El Cerrito (Werenfels, 1926) del Mioceno medio, la Formación Sincelejo (Kassem et al., 1967) del Plioceno y, siendo lo más reciente (Cuaternario), aquellos depósitos coluvioaluviales presentes en el área (Figura 3).

**Figura 3** Mapa geológico de la zona de estudio.

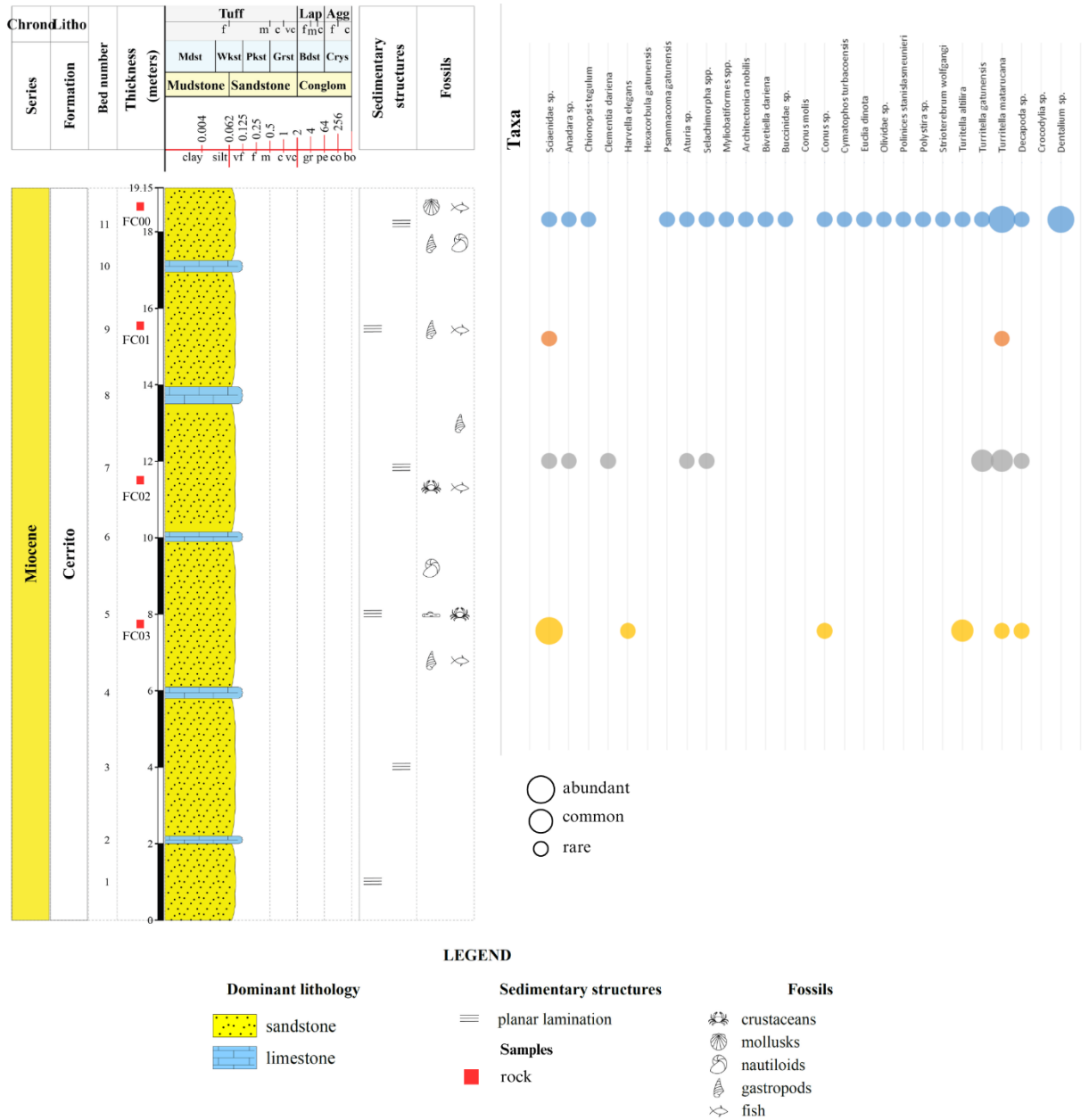


## 8.2. Columna estratigráfica

Hacia la cuesta para el lago El Venado fueron medidos 19,15 metros de roca (Figura 3), constituidos de estratos centimétricos de calizas fosilíferas de color gris oscuro y tabulares, con

un armazón principalmente constituido por fósiles, en su mayoría desarticulados, de bivalvos y gasterópodos y granos tamaño arena unidos por cemento calcáreo. Esta composición confiere a la roca una alta dureza y se clasifica como floatstone bioclástico, siguiendo la clasificación de Embry & Klovan (1971), modificada de Dunham (1962), y como bioesparita según Folk (1959). Intercalado con capas métricas de areniscas lodosas de color marrón claro, con moderada selección y competencia baja, masivas en vista de afloramiento y estructura interna plano paralela laminada. Éstas están compuestas principalmente por matriz calcárea (30-40%) con contenido fosilífero bien preservado y fragmentos de cuarzos y líticos gruesos. Acorde a Dott (1964) se puede clasificar como wacka lítica-cuarzosa fosilífera (Figura 4). Esta secuencia corresponde a la Formación El Cerrito del Mioceno medio con dirección de buzamiento y buzamiento de 298/37 (290/42, 295/34, 310/37), dato crucial para la aplicación de la técnica del Bastón de Jacob. El muestreo realizado incluye muestras correspondientes a las capas de areniscas fosilífera observadas (Figura 4). La baja competencia de estas permite separar las rocas en los tres componentes principales: matriz, armazón y cemento. No obstante, parece ser necesario la recolección de rocas más competentes indicando rocas con mayor contenido de cemento calcáreo.

**Figura 4** Columna estratigráfica de la Formación El Cerrito, sector lago El Venado a escala 1:100.



### 8.3. Contenido paleontológico

Del tamizaje realizado se extrajo el contenido paleontológico con características distinguibles a simple vista (Figura 5-9), el cual fue separado para identificar géneros y/o especies (Tabla 1),

aunque en algunos casos solo fue posible reconocer hasta orden (Selachimorpha, Myliobatiformes, Decapoda, Crocodylia) o familia (Sciaenidae, Buccinidae, Olividae), haciendo uso de la plantilla creada por el Museo de Historia Natural de Florida (2013). La abundancia relativa de estos especímenes varía acorde al estrato de roca (Figura 4).

**Tabla 1** Géneros y/o especies identificados en las secciones medidas durante este trabajo.

<b>Fósiles identificados</b>	
<b>Actinopteri</b>	<i>Conus molis</i>
Sciaenidae sp.	<i>Conus</i> sp.
<b>Bivalvia</b>	<i>Cymatophos turbacoensis</i>
<i>Anadara</i> sp.	<i>Euclia dinota</i>
<i>Chionopsis tegulum</i>	Olividae sp.
<i>Clementia dariena</i>	<i>Polinices stanislasmeyneri</i>
<i>Harvella elegans</i>	<i>Polystira</i> sp.
<i>Hexacorbula gatunensis</i>	<i>Strioterebrum wolfgangi</i>
<i>Psammacoma gatunensis</i>	<i>Turritella altilira</i>
<b>Cephalopoda</b>	<i>Turritella gatunensis</i>
<i>Aturia</i> sp.	<i>Turritella matarucana</i>
<b>Chondrichthyes</b>	<b>Malacostraca</b>
Selachimorpha spp.	Decapoda sp.
Myliobatiformes spp.	<b>Reptilia</b>
<b>Gastropoda</b>	Crocodylia sp.
<i>Architectonica nobilis</i>	<b>Scaphopoda</b>
<i>Bivetiella dariena</i>	Dentalium sp.
Buccinidae sp.	

Entre los fósiles encontrados destaca la abundancia de la clase Gastropoda, en especial el género *Turritella*. Adicionalmente, se encontraron abundancia de otolitos sagitta, probablemente pertenecientes al orden Peciformes y familia Sciaenidae (Haimovici et al., 2023), así como partes

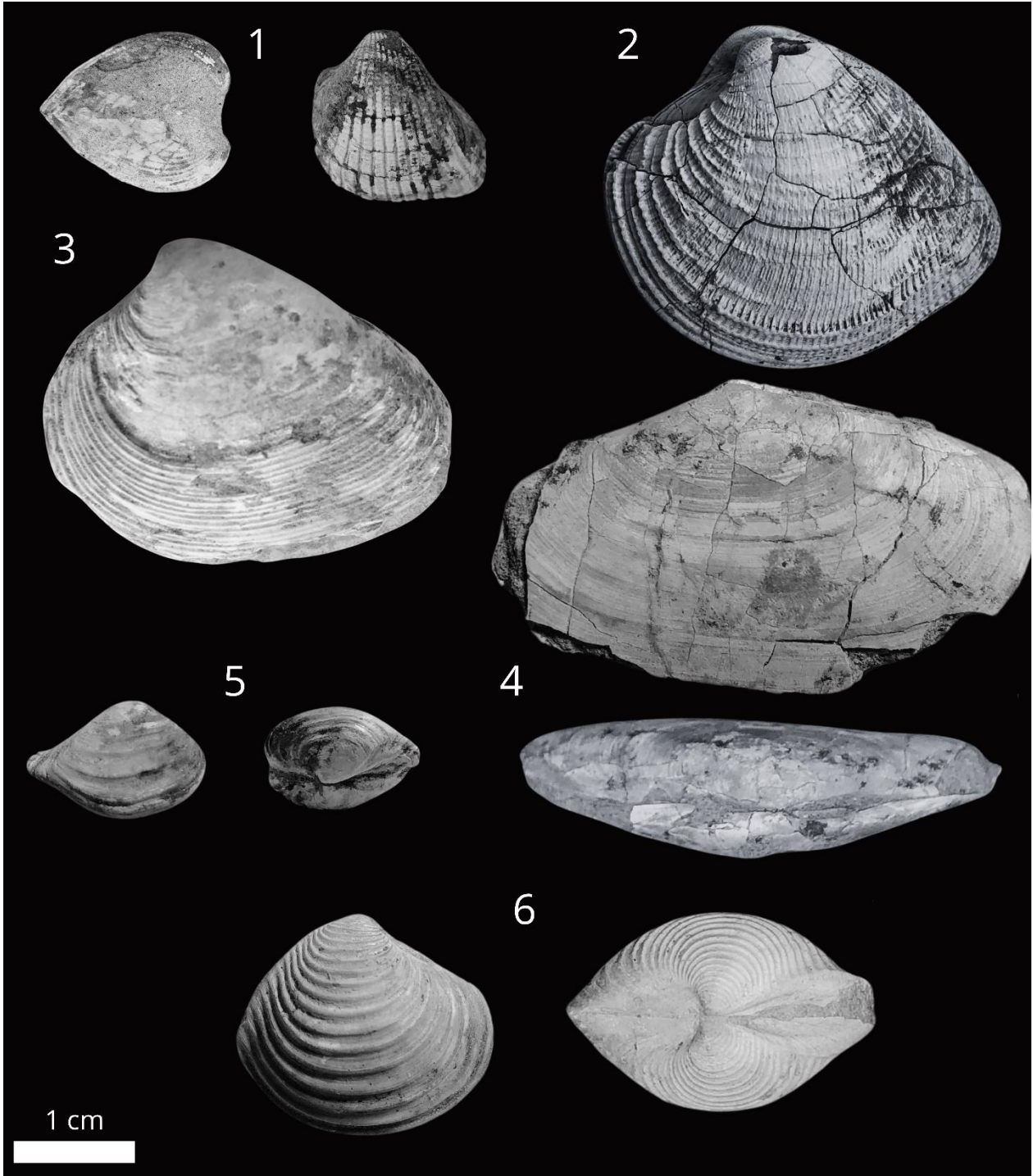
de crustáceos. En algunas capas, se encontraron nautiloideos del género *Aturia*. De igual manera destaca la aparición de restos de madera (xilópalos) en distintas capas.

La mayor cantidad de fósiles identificados vivían sobre el sedimento marino blando poco consolidado (epifaunal) (Tabla 2), seguido por los que viven parcialmente enterrados sobre el sustrato del lecho marino (semi-epifaunal), y los que viven completamente enterrados (infaunal). En menor cantidad los organismos que se mueven en la columna de agua (nectónicos) y que también pasan parte del tiempo sobre el lecho (nectobentónico). Acorde a los índices de biodiversidad, el número de dominancia es cercano a cero, indicando la baja probabilidad de dos individuos recolectados sean de la misma especie (Simpson, 1949), es decir, las especies están distribuidas de manera equitativa. Así, el índice de Simpson (1-D), es cercano a uno, por lo cual la comunidad de especies tiene alta diversidad. Por su parte, el índice de Shannon (H), de cero a 3.295 en este caso, es cercano al valor máximo, por lo cual la comunidad de especies no es homogénea, es decir, no hay especies predominante (Shannon & Weaver, 1963).

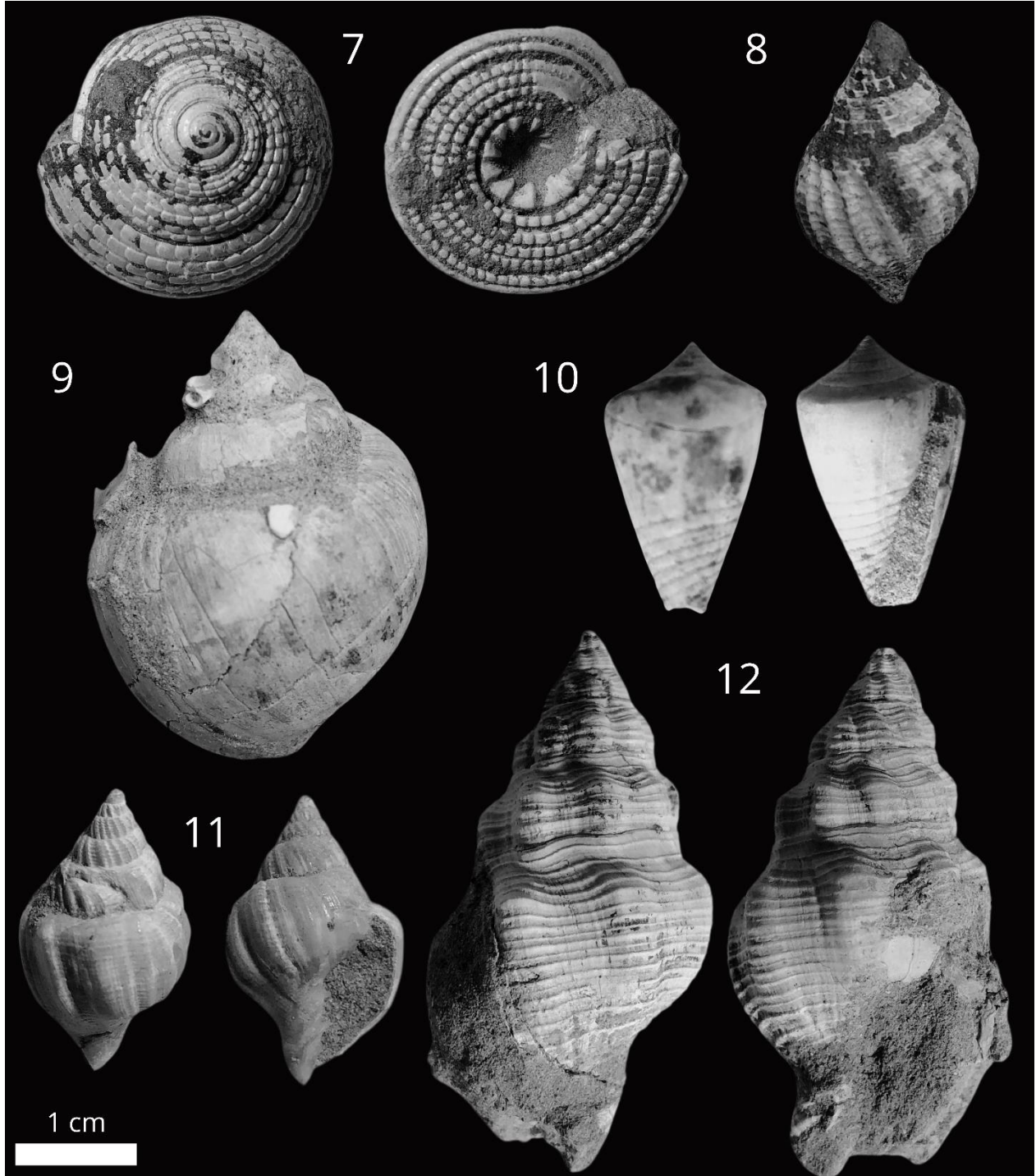
**Tabla 2** *Porcentaje de especímenes encontrados según hábitat e índices de biodiversidad*

Habitat					Dominancia (D)	Simpson (1-D)	Shannon (H)
Infaunal	Semi-infaunal	Epifaunal	Nectobentónico	Nectónico			
19,23%	23,08%	42,31%	7,69%	7,69%	0,07184	0,9282	2,93

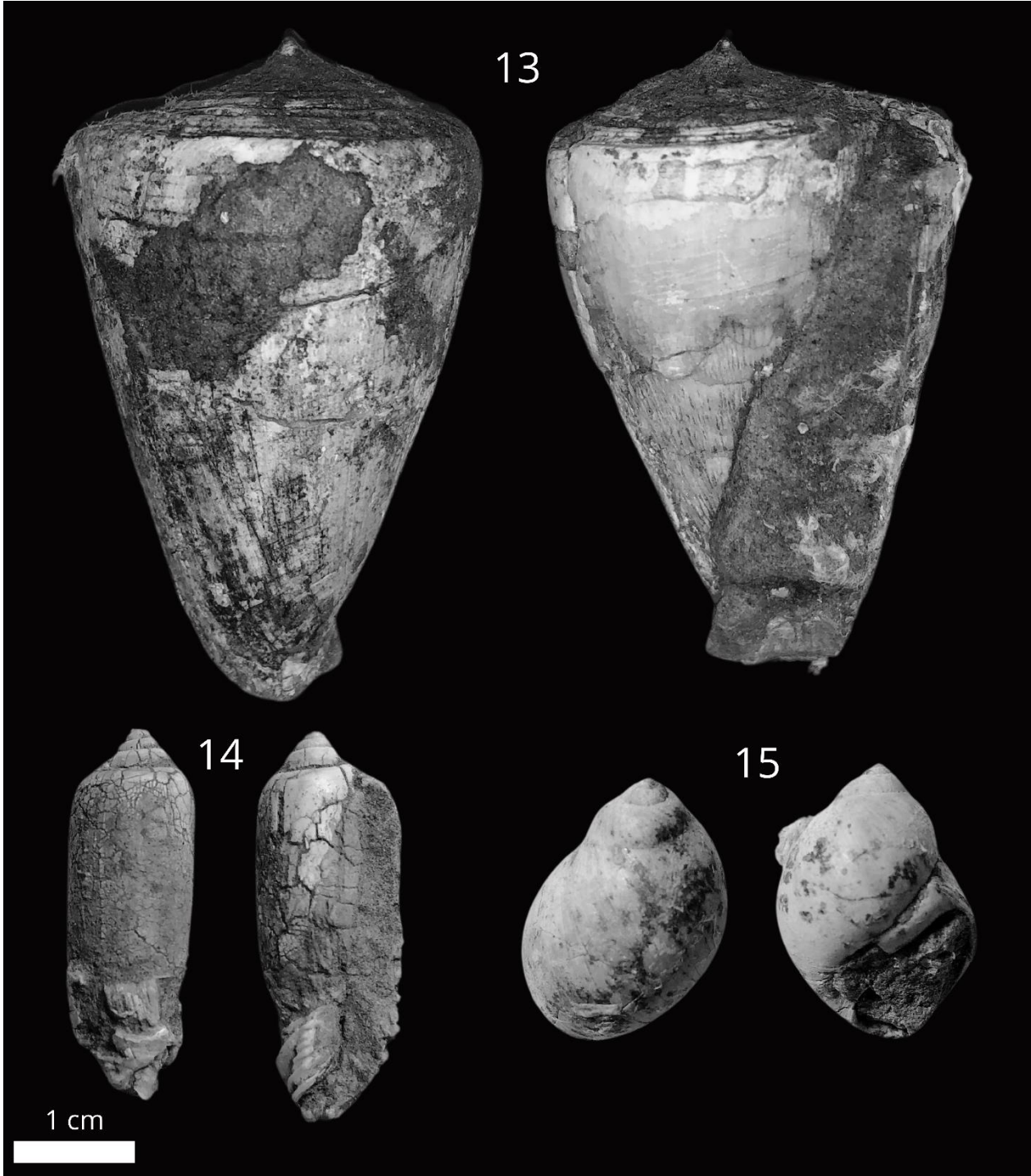
**Figura 5** Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. 1 *Anadara* sp., 2 *Chionopsis tegulum*, 3 *Clementia dariena*, 4 *Psammacoma gatunensis*, 5 *Hexacorbula gatunensis*, 6 *Harvella elegans*.



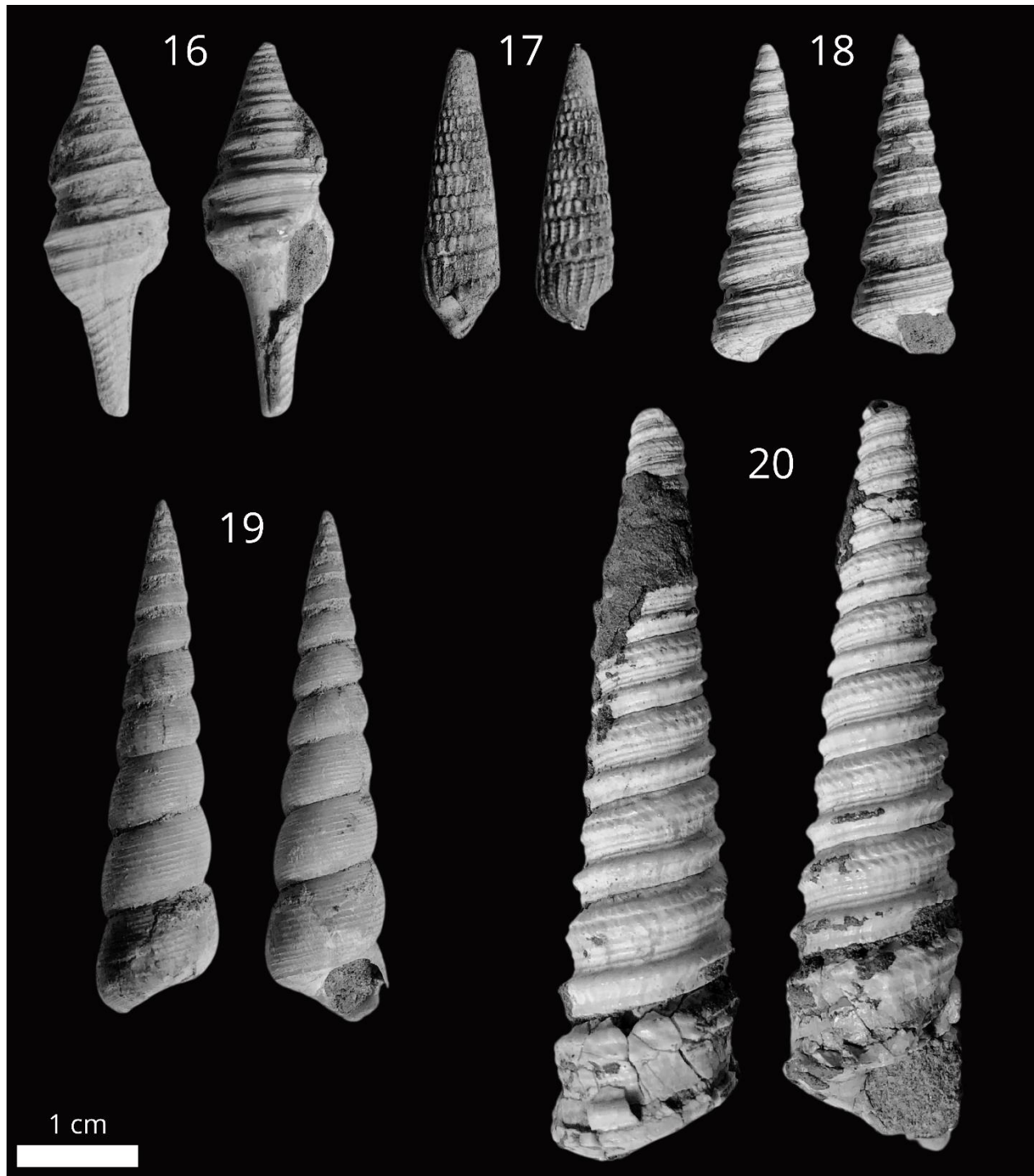
**Figura 6** Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. **7** *Architectonica nobilis*, **8** *Bivetiella dariena*, **9** *Buccinidae* sp., **10** *Conus* sp., **11** *Euclia dinota*, **12** *Cymatophos turbacoensis*.



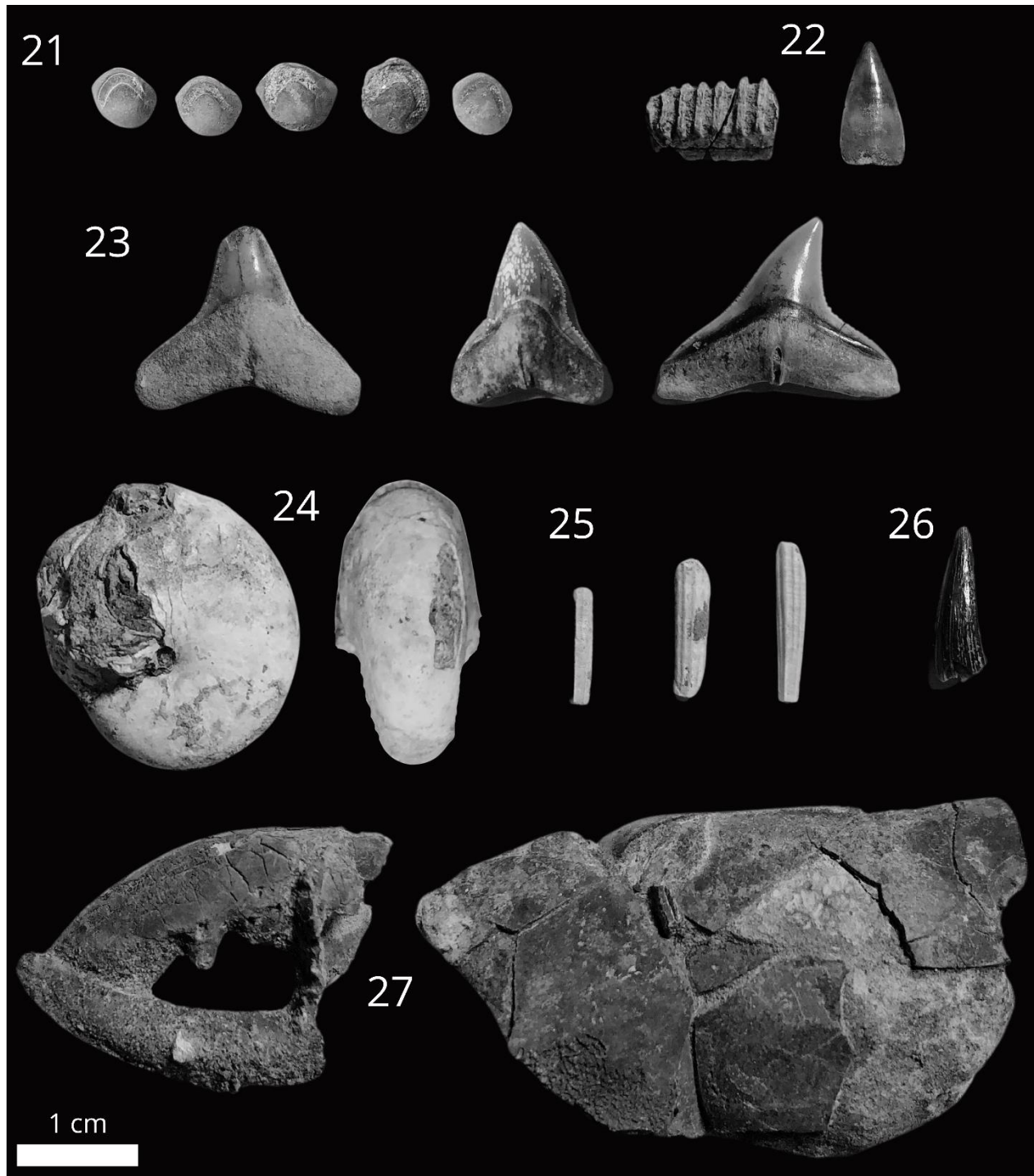
**Figura 7** Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. **13** *Conus molis*, **14** *Olividae* sp., **15** *Polinices stanislasmeunieri*.



**Figura 8** Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. **16** *Polystira* sp., **17** *Strioterebrum wolfgangi*, **18** *Turritella gatunensis*, **19** *Turritella matarucana*, **20** *Turritella altilira*.

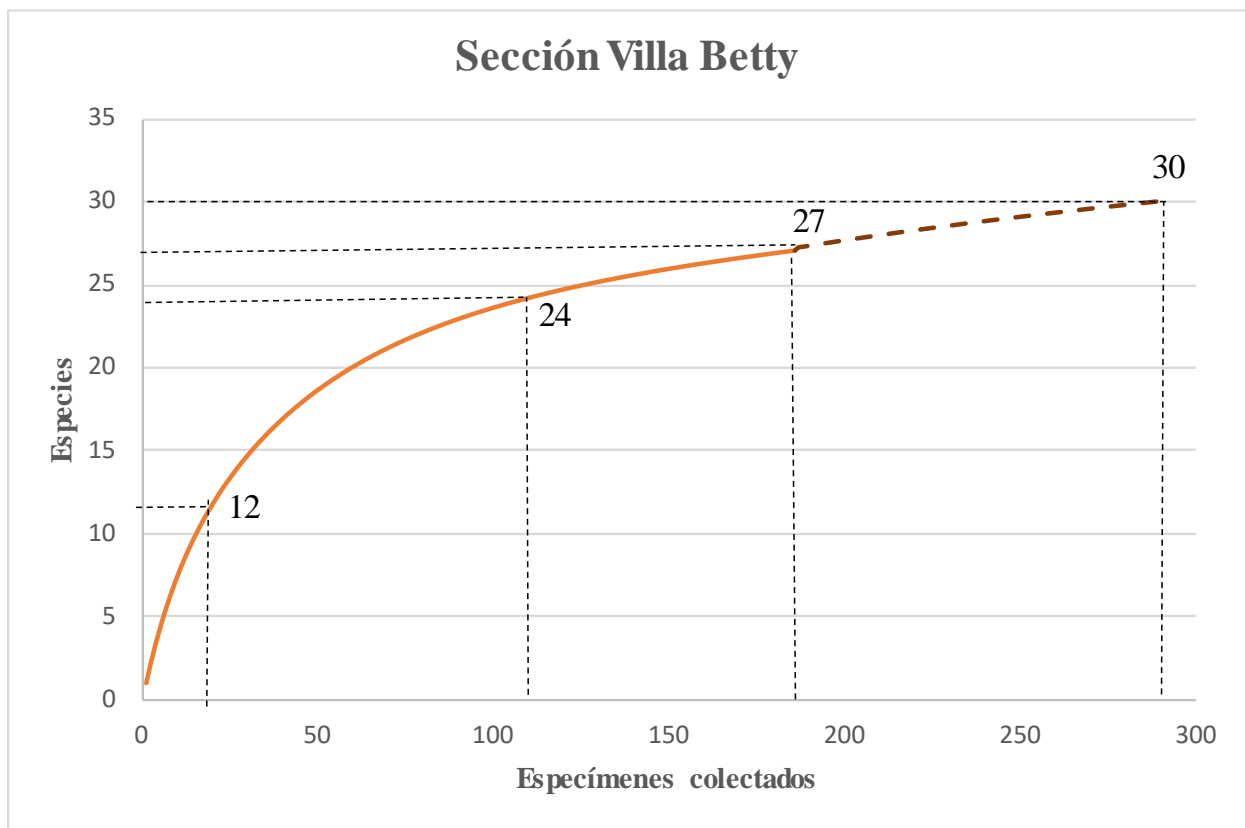


**Figura 9** Géneros y/o especies recolectados en este trabajo. **21** Otolitos (*Sciaenidae* sp.), **22** *Myliobatiformes* sp., **23** *Selachimorpha* sp., **24** *Aturia* sp., **25** *Dentalium* sp., **26** *Crocodylia* sp., **27** *Decapoda* sp.



En el muestreo realizado se recolectaron 186 especímenes correspondientes a 27 órdenes, géneros o especies. Así, la curva de rarefacción (Figura 10) para las especies colectadas indica que en un muestreo de 20 individuos se esperarían 12 especies, mientras que, en un muestreo de 100 individuos, 24 especies. Sin embargo, la curva no se mantiene horizontal, lo que significa que, si se recogieran más especímenes, se podría esperar encontrar géneros y/o especies que son poco comunes en el área estudiada. Aunque para detectar tres géneros o especies poco comunes, sería necesario recolectar cercano a 290 fósiles, como se evidencia por la tendencia de la curva.

**Figura 10** Curva de rarefacción para la sección de Villa Betty.

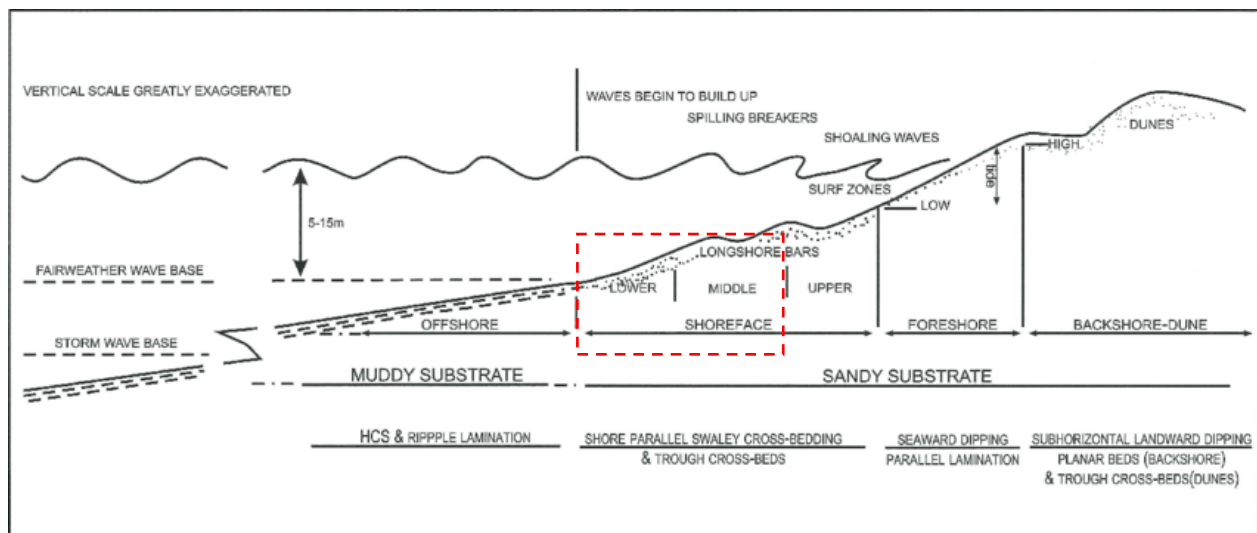


## 9. Discusión

### 9.1 Ambiente sedimentario

Las observaciones de campo en la sección en Villa Betty sugieren que las rocas fueron depositadas en un ambiente marino somero. En zona de lower-middle shoreface (Figura 11) afectado por oleaje en condiciones climáticas tanto favorables como de tormenta (Pemberton et al., 2012). En ciertos momentos, la influencia de tormentas mezcla el material biogénico, eliminando material fino y dando lugar a procesos de deposición (Colquhoun, 1995), originándose las bioesparitas con mayor competencia y menor espesor (Figura 4); mientras que condiciones de oleaje favorable, era posible la depositación de material fino, resultando en la formación de las wackas líticas-cuarzosas, de menor competencia, con material fósil preservado. La presencia de madera en las capas de wackas se debe a la flotabilidad de esta, para ser transportadas por corrientes en el shoreface. Esta interpretación es similar para la Formación El Cerrito en otros trabajos (Guzmán & Pedraza, 2018; Clavijo & Barrera, 2001), destacándose la acción de las olas en el transporte y mezcla de material bioclástico.

**Figura 11** Diagrama de perfil de playa.

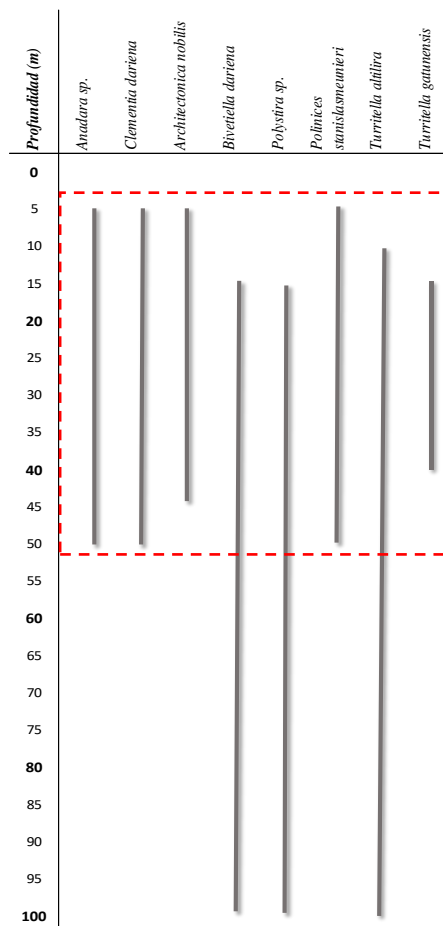


*Nota.* Extraído de Riordan et al. (2004).

Por su parte, las especies infaunales o epifaunales reconocidas en este trabajo indican hábitat y profundidad entre 5 a 50 metros (Figura 12) (Florida Museum of Natural History, 2013; Rosenberg, 2009). Mientras que la abundancia de bivalvos y gasterópodos supone un sustrato lodo-arenoso (Abbott, 1974). Ssi bien la profundidad del hábitat de *Aturia* sp., una especie nectobentónica, ha sido argumentada siendo de 240-330 metros (Schlögl et al., 2011), su aparición en otras profundidades puede deberse a transporte post-mortem (Chirat, 2000).

Así, por las observaciones de campo la sección del lago El Venado (Villa Betty) se considera parte del tramo bajo-medio reportado para la Formación El Cerrito (Geotec, 1997; Clavijo & Barrera, 2001).

**Figura 12** Profundidad de habitat de especies infaunales y epifaunales en la Formación El Cerrito.



## 9.2 Edad

La sección del hacia el lago El Venado se encuentra con mayor basculamiento que areniscas con lentes tabulares reconocidos camino a Villa Betty, correspondientes a la Fm. Sincelejo (Plioceno) (Figura 3). Este carácter discordante representa el hiato regional durante el Mioceno tardío o Plioceno.

Para la Formación El Cerrito, De Porta (1962) señala que debido al contenido muy alterado en superficie no es posible la extracción de foraminíferos, sin embargo, en ese mismo trabajo se identifican moluscos, los cuales se asocian a las biozonas de foraminíferos descritas en la sección Carmen-Zambrano por Petters & Sarmiento (1956), *Bulimina carmenensis*, *Uvigerina subperegrina* y zónula de *Rotalia beccarii*, sobresaliendo la última, por lo cual la edad de depositación correspondería al Mioceno medio (Duque-Caro, 1968). Posteriormente, Duque-Caro (1971) por asociación de facies de la Fm. El Cerrito con la misma sección descrita por Petters & Sarmiento (1956), señala que en la zona *Bulimina carmenensis* (Mioceno temprano) hay ocurrencia de *Globorotalia mernardii* y *Globorotalia acostaensis*, por lo que, en comparación con otros ensambles en el Caribe, esta zona no debería ser más antigua que el Mioceno tardío, sin embargo, reconoce que la fauna de foraminíferos plantónicos y el ensamble de moluscos siguieren edades diferentes, y que alguno de los dos debió ser transportado. Posteriormente, Dueñas & Duque (1981) reconocen la base y el tope de la formación entre Planeta Rica y Loma Azul (kilómetro 6 Planeta Rica-Montería) y la aparición de las zonas de foraminíferos descritas por Petters & Sarmiento (1956), predominando *Rotalia beccarii*, asignándole edades desde el Mioceno tardío hasta Plioceno-Pleistoceno.

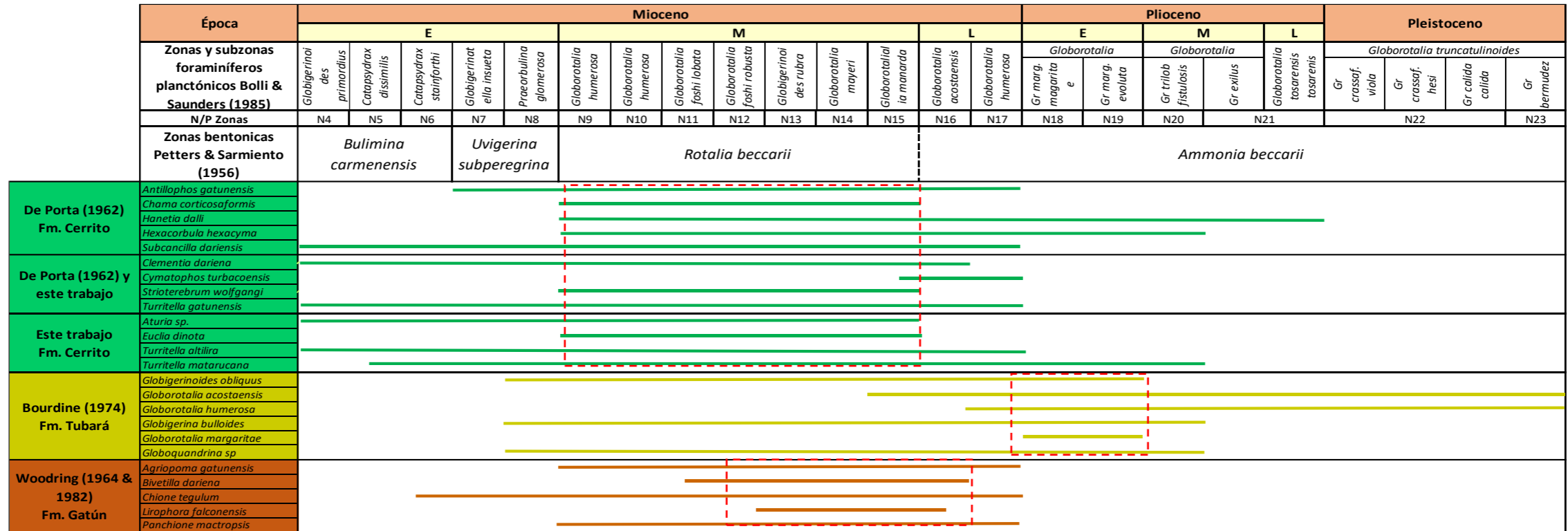
Entre las especies de gasterópodos identificadas en la sección de Villa Betty *Clementia dariena*, *Cymatophos turbacoensis*, *Turritella gatunensis* y *Strioterebrum wolfgangi* coinciden con las

observadas por De Porta (1962) en la sección marina en los alrededores de Sincelejo. Por lo tanto, teniendo en cuenta algunos de los fósiles encontrados en este trabajo y los reportados en la literatura de la zona, la edad de depositación de la Formación El Cerrito correspondería al Mioceno medio (Figura 13), resaltando la ocurrencia de *Aturia* sp. (Jung, 1966; Laurito & Mora, 2018). Aunque edades U/Pb en zircones detríticos en esta formación, apoyarían una edad de depositación posterior al Mioceno tardío (Vargas et al., 2022).

La Formación Tubará y la Formación El Cerrito tienen litología y moluscos similares (Werenfels, 1926; Duque-Caro, 1971). Aunque según foraminíferos plantónicos recolectados por Bordine (1974) la edad de la Fm. Tubará está entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano, discrepando de la edad discutida con moluscos para la Fm. El Cerrito. Esta diferencia puede deberse al uso de fósiles para asignar la edad. Para asignar una edad más precisa el estudio de foraminíferos es más certero; mientras que, para inferir un ambiente sedimentario, los macrofósiles detallan mayor información y tienden a presentar biozonas más precisas. Por lo cual, estudios sistemáticos de foraminíferos plantónicos y bentónicos (e.g. Delgado, 2015) en la Fm. El Cerrito son indispensables para asignar una edad más precisa a esta.

De manera análoga la Fm. Gatún en Panamá tiene fósiles que detallan el ambiente sedimentario (Alberti & Reich, 2018) y aunque se puede lograr una estimación aproximada de la edad usando macrofósiles de invertebrados, su rango temporal es más amplio que aquel identificado para los foraminíferos.

**Figura 13** Rango bioestratigráfico de distribución de los géneros (o especies) en este trabajo y otras unidades a lo largo del Caribe.



### 9.3 Relaciones en el caribe

Diversos autores han correlacionado la textura de la Formación El Cerrito con diversas litologías a lo largo de la costa caribe colombiana, como la Formación Tubará y la Formación Zambrano (Duque Caro, 1971; Dueñas & Duque, 1981; Clavijo & Barrera, 2001) e inclusive con rocas que afloran más al norte en la península de la Guajira.

El contenido fósil encontrado en este trabajo y el reportado para la Formación El Cerrito (De Porta, 1962) es similar al encontrado en formaciones en el Caribe (Tabla 3). Teniendo en cuenta las ocurrencias reportadas por Anderson (1929) y Barrios (1960) para la Fm. Tubará, hay 36 especies en común con la Fm. El Cerrito (Tabla 4). Mientras que, en la Guajira, cuenca de Cocinetas, las formaciones Jimol (Mioceno temprano) y Castilletes (Mioceno medio) cuentan con 17 especies en común, reportadas por Hendy et al. (2015), con la Fm. El Cerrito. A su vez, las formaciones Jimol y Castilletes han sido comparadas con otras formaciones en el Caribe, entre esas la Fm. Gatún, Panamá, del Mioceno medio-tardío teniendo 24 y 30 especies en común, respectivamente (Hendy et al., 2015).

**Tabla 3** Lista de fósiles invertebrados reportados por De Porta (1962) y este trabajo y las ocurrencias en las formaciones Tubará, Jimol y Castilletes.

<b>Especies Fm. El Cerrito</b> De Porta (1962) y este trabajo	<b>Fm. Tubará</b> Anderson (1929) y Barrios (1960)	<b>Fm. Jimol</b> Hendy et al. (2015)	<b>Fm. Castilletes</b> Hendy et al. (2015)
<b>Bivalvia</b>			
<i>Anadara sp.</i>	•	•	•
<i>Anadara dariensis</i>	•		
<i>Anadara lloydi</i>	•		
<i>Arca occidentalis</i>	•		
<i>Chama corticosaformis</i>	•		
<i>Chionopsis tegulum</i>		•	•
<i>Clementia dariena</i>	•	•	•
<i>Dosinia tintan</i>			
<i>Harvella elegans</i>	•		•
<i>Hexacorbula gatunensis</i>	•		
<i>Hexacorbula hexacyma</i>	•	•	
<i>Mytilus sp.</i>		•	•
<i>Ostrea puelchana</i>			
<i>Ostrea sp.</i>	•		
<i>Pitaria sp.</i>			
<i>Psammacoma gatunensis</i>	•	•	•
<b>Cephalopoda</b>			
<i>Aturia sp.</i>			
<b>Gastropoda</b>			
<i>Ampulla americana</i>			
<i>Antillophos gatunensis</i>	•	•	•
<i>Architectonica nobilis</i>	•	•	•
<i>Architectonica granulata</i>	•		
<i>Bivetiella dariena</i>	•		
<i>Cancellaria acheibei</i>			
<i>Cancellaria sp.</i>	•		
<i>Conus burckhardti</i>	•		
<i>Conus molis</i>	•	•	•
<i>Conus sp.</i>			
<i>Conus veatchi</i>	•		
<i>Cymatophos turbacoensis</i>	•		
<i>Dolium (Malea) aff. elliptica</i>			
<i>Drillia aff. gatunensis</i>	•		
<i>Drillia henekeni</i>	•	•	•
<i>Euclia dinota</i>			•
<i>Hanetia dalli</i>	•		
<i>Melongena consors</i>	•	•	•
<i>Mitra dariensis</i>	•		
<i>Mitra longa</i>	•		
<i>Natica canrena</i>	•	•	
<i>Oliva brevispira</i>	•		
<i>Polinices stanislasmeyneri</i>	•		
<i>Polystira albida</i>	•		
<i>Polystira sp.</i>	•	•	•
<i>Sinum sp.</i>	•	•	•
<i>Strioterebrum gatunensis</i>	•		
<i>Strioterebrum wolfgangi</i>	•		
<i>Terebra sulcifera</i>	•	•	•
<i>Turritella aff. planigrata</i>			
<i>Turritella altilira</i>	•	•	•
<i>Turritella gatunensis</i>	•	•	•
<i>Turritella matarucana</i>		•	•
<b>Scaphopoda</b>			
<i>Dentalium sp.</i>	•	•	•

**Tabla 4** Número de los géneros y/o especies en común de la Formación El Cerrito con las reportadas en las formaciones Tubará, Jimol y Castilletes.

<b>Formación</b>	<b>Corteza</b>	<b>Especies en común</b>
Fm. Tubará	Continental	38
Fm. Jimol	Oceánica	19
Fm. Castilletes	Oceánica	19

Así, la depositación de rocas del Mioceno en ambientes de plataforma somera sobre corteza oceánica (Fm. Jimol, Fm. Castilletes y Fm. El Cerrito) y sobre corteza continental (Fm. Tubará) (Lopez et al., 2022) representaría la sedimentación sincrónica marina durante el levantamiento del Istmo de Panamá.

## **10. Conclusiones**

Las rocas marinas expuestas en Villa Betty consisten en areniscas con alto contenido de matriz, abundante contenido de fósiles marinos y clastos líticos y de cuarzo, depositada de manera plano paralela; intercaladas con rocas de mayor dureza compuestas de bioclastos en su mayoría desarticulados unidos por fracción de arena y cemento calcáreo. Estas litofacies sugieren un ambiente de depositación marino somero, posiblemente lower-middle shoreface, donde los efectos de las condiciones de oleaje y el clima tienen influencia en el sedimento, así como el oleaje de tormenta.

Considerando el rango de aparición de los invertebrados fósiles recolectados en este trabajo y reportados previamente, la Formación El Cerrito se habría depositado en el Mioceno medio, corroborada por la presencia de especímenes del género *Aturia*; no obstante, el uso de foraminíferos en la Fm. Tubará, correlacionada con la Fm. El Cerrito, indica edad de Mioceno tardío-Plioceno. Así, usando las comparaciones bioestratigráficas, tiene más sentido referirse a

un cuerpo de roca que se depositó de una forma sincrónica durante el Mioceno más tardío durante el levantamiento del Istmo de Panamá.

Las correlaciones de la Formación El Cerrito con otras unidades sobre distintos tipos de basamento a lo largo del Caribe tendrían un significado en la tectónica regional, indicando que, durante el momento de la deposición de estas rocas, se estaba produciendo la colisión entre el Arco de Panamá y la placa Sudamericana, lo cual aportaría a paleoreconstrucciones. Además de permitir la comparación las señales isotópicas registradas en los organismos (e.g. otolitos) depositados en diferentes afinidades tectónicas y aportar a la paleobiogeografía, acompañado de nuevas dataciones absolutas y análisis de proveniencia en las unidades litoestratigráficas neógenas en el Caribe.

## 11. Referencias

- Abbott, R. T. (1974). American seashells. The marine Mollusca of the Atlantic and Pacific coast of North America. ed. 2. *Van Nostrand Reinhold, New York*, 63.  
<https://www.molluscabase.org/aphia.php?p=sourcedetails&id=39096>
- Alberti, M., & Reich, S. (2018). A palaeoecological review of the lower Gatun Formation (Miocene) of Panama with special emphasis on trophic relationships. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 98. <https://doi.org/10.1007/s12549-018-0326-3>
- Anderson, F. (1929). Marine Miocene and related deposits of north Colombia. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, (4)18.
- Barrios, M. (1960). Algunos moluscos del Terciario medio de Colombia. *República de Colombia, Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico*, 6, 213–306.
- Beck, E. (1921). Geology and oil resources of Colombia; the coastal plain. *Economic Geology*, 16(7), 457–473. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.16.7.457>
- Bermúdez, H. (2016). *Esquema estratigráfico de secuencias del registro sedimentario del Cinturón Plegado de San Jacinto, Caribe colombiano*.
- Bordine, B. (1974). *Neogene Biostratigraphy and Palaeoenvironments, Lower Magdalena Basin, Colombia*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College.

- Bürgl, H., Barrios, M., & Röström, A. (1955). Micropaleontología y estratigrafía de la sección Arroyo Saco, Depto. del Atlántico. *Boletín Geológico*, 3(1), 1–114. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol3.1.1955.456>
- Case, J., Shagam, R., & Giegengack, R. (1990). Geology of the Northern Andes: An overview, The Caribbean Region: Boulder, Colorado, Geological Society of America. *The Geology of North America*, 177–200.
- Cediel, F., Shaw, R. P., & Cceres, C. (2003). *Tectonic assembly of the northern Andean block*.
- Chirat, R. (2000). The so-called ‘cosmopolitan palaeobiogeographic distribution’ of Tertiary Nautilida of the genus *Aturia* Bronn 1838: the result of post-mortem transport by oceanic palaeocurrents. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157(1–2), 59–77. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(99\)00150-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00150-9)
- Clavijo, J., & Barrera, R. (2001). Geología de las planchas 44 Sincelejo y 52 Sahagún escala 1: 100.000. *Memoria explicativa. Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, INGEOMINAS. República de Colombia, Bogotá*, 63.
- Clavijo, J., Barrera, R., Guzmán, G., Kassem, T., Cáceres, C., & Cucalón, I. (1998). *Geología de la Plancha 44 Sincelejo*. INGEOMINAS.
- Coates, A., & Stallard, R. (2013). How old is the Isthmus of Panama? *Bulletin of Marine Science*, 89(4), 801–813. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1076>
- Colquhoun, G. (1995). Siliciclastic sedimentation on a storm- and tide-influenced shelf and shoreline: the Early Devonian Roxburgh Formation, NE Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Sedimentary Geology*, 97(1–2), 69–98. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)00142-H](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)00142-H)
- De Porta, J. (1962). *Terciario superior en los alrededores de Sincelejo* (S. G. N. (SGNC), Ed.). Servicio Geológico Nacional (SGNC). <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=Terciario%20superior%20en%20los%20alrededores%20de%20Sincelejo>
- Delgado, D. (2015). *Foraminíferos de las formaciones Jimol y Castilletes (Cuenca de Cocinetas, Alta Guajira): taxonomía y significado paleoambiental* [Master dissertation]. Universidad EAFIT.
- Dott, R. (1964). Wacke, graywacke and matrix; what approach to immature sandstone classification? *Journal of Sedimentary Research*, 34(3), 625–632.
- Dueñas, H., & Duque, H. (1981). Geología del cuadrángulo F-8, Planeta Rica. *Boletín Geológico*, 24(1), 1–36. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol24.1.1981.264>
- Dunham, R. J. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional textures*.

- Duque-Caro, H. (1968). Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. *Boletín de Geología*, 0(24), 71–87.  
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/6575>
- Duque-Caro, H. (1971). Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. *Boletín Geológico*, 19(3), 1–23.  
<https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol19.3.1971.401>
- Duque-Caro, H. (1979). *Major Structural Elements and Evolution of Northwestern Colombia: Small Basin Margins*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129199705>
- Duque-Caro, H. (1984). Structural style, diapirism, and accretionary episodes of the Sinú-San Jacinto terrane, southwestern Caribbean borderland. En W. E. Bonini, R. B. Hargraves, & R. Shagam (Eds.), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics* (Vol. 162, p. 0). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM162-p303>
- Embry, A. F., & Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, N.W.T. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19, 730–781.  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:222386683>
- Farris, D. W., Jaramillo, C., Bayona, G., Restrepo-Moreno, S., Montes, C., Cardona, A., Mora, A., Speakman, R., Glascock, M., & Valencia, V. (2011). Fracturing of the Panamanian Isthmus during initial collision with South America. *Geology*, 39(11), 1007–1010.
- Florida Museum of Natural History. (2013). Fossils of Panama is an initiative of the Florida Museum of Natural History Fossils in the Cloud Project – an effort to digitize the museum’s paleontological collections. En <https://www.floridamuseum.ufl.edu/panama-pire/fossils/>.
- Folk, R. (1959). Practical petrographic classification of limestones. *AAPG bulletin*, 43(1), 1–38.
- Geotec, S. A. (1997). Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto. *INGEOMINAS*.
- Guzmán, G., Gómez, E., & Serrano, B. (2004). Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena-Caribe Colombiano. *Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá*.
- Haimovici, M., Rodrigues, L., Lucato, S., Freire, M., Gomes Fischer, L., & Cardoso, L. (2023). Otolith atlas for marine fishes of the southwestern Atlantic occurring along southern Brazil (28° S–34° S). *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 37.  
<https://doi.org/10.47193/mafis.3712024010101>
- Hendy, A., Jones, D., Moreno, F., Zapata, V., & Jaramillo, C. (2015). Neogene molluscs, shallow marine paleoenvironments, and chronostratigraphy of the Guajira Peninsula, Colombia. *Swiss Journal of Palaeontology*, 134, 45–75.
- Jung, P. (1966). Zwei miocaene arten von *Aturia* (nautilaceae). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 59(1), 485–493.

- Kassem, T., Cáceres, C., & Cucalon, I. (1967). Geología del Cuadrángulo E-8 Sincelejo. *Informe inédito. Servicio Geológico Nacional. Bogotá.*
- Ladd, J., Truchan, M., Talwani, M., Stoffa, P., Buhl, P., Houtz, R., Maufiret, A., & Westbrook, G. (1984). Seismic reflection profiles across the southern margin of the Caribbean. En W. E. Bonini, R. B. Hargraves, & R. Shagam (Eds.), *The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics* (Vol. 162, p. 0). Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/MEM162-p153>
- Laurito, C. A., & Mora, M. J. (2018). A new fossil record of *aturia cubaensis* (lea, 1841)[cephalopoda, nautilidae] from the lower-middle miocene of Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 58, 171–178.
- Lopez, E., Gonzalez, F., Rincón, D., & Moreno, N. (2022). Detachment levels of Colombian caribbean mud volcanoes. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 12(2), 49–77.
- Mantilla-Pimiento, A., Jentzsch, G., Kley, J., & Alfonso-Pava, C. (2009). Configuration of the Colombian Caribbean Margin: Constraints from 2D Seismic Reflection data and Potential Fields Interpretation. En S. Lallemand & F. Funiciello (Eds.), *Subduction Zone Geodynamics* (pp. 247–272). Springer Berlin Heidelberg.
- McClennen, M., Jenkins, J., & Uhen, M. (2024). *ThePaleobiology Database*. <https://paleobiodb.org/#/>
- Molinares, C., Martinez, J., Fiorini, F., Escobar, J., & Jaramillo, C. (2012). Paleoenvironmental reconstruction for the lower Pliocene Arroyo Piedras section (Tubará–Colombia): Implications for the Magdalena River–paleodelta’s dynamic. *Journal of South American Earth Sciences*, 39, 170–183.
- Montes, C., Rodriguez-Corcho, A. F., Bayona, G., Hoyos, N., Zapata, S., & Cardona, A. (2019). Continental margin response to multiple arc-continent collisions: The northern Andes-Caribbean margin. *Earth-Science Reviews*, 198, 102903. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2019.102903>
- Mustard, J., & Sunshine, J. (1999). Spectral analysis for earth science: investigations using remote sensing data. *Remote sensing for the earth sciences: Manual of remote sensing*, 3, 251–307.
- Notestein, F., & Aitken, W. (1929). Report on Tertiary section near Carmen, Department of Bolivar, Colombia. *Texas Petroleum Company Internal Geol. Report*.
- Ortiz, J., & Jaramillo, C. (2018). *SDAR: A Toolkit for Stratigraphic Data Analysis in R*. Smithsonian Research Online. <https://doi.org/https://doi.org/10.25570/stri/10088/35917>
- Osorio-Granada, E., Pardo-Trujillo, A., Restrepo-Moreno, S., Gallego, F., Muñoz, J., Plata, A., Trejos-Tamayo, R., Vallejo, F., Barbosa-Espitia, A., Cardona-Sánchez, F., Foster, D., & Kamenov, G. (2019). Provenance of Eocene–Oligocene sediments in the San Jacinto Fold

- Belt: Paleogeographic and geodynamic implications for the northern Andes and the southern Caribbean. *Geosphere*, 16(1), 210–228. <https://doi.org/10.1130/GES02059.1>
- Pemberton, G., MacEachern, J., Dashtgard, S., Bann, K., Gingras, M., & Zonneveld, J.-P. (2012). Shorefaces. En *Developments in Sedimentology* (Vol. 64, pp. 563–603). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00019-8>
- Petters, V., & Sarmiento, R. (1956). Oligocene and lower Miocene biostratigraphy of the Carmen-Zambrano area, Colombia. *Micropaleontology*, 2, 7–34. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130762609>
- Riordan, S., Lang, S., & Payenberg, T. (2004). *Sequence stratigraphy of the intra-Latrobe Group, Flounder Field, Gippsland Basin. Implications for the building and upscaling of 3D geological models.*
- Rodríguez, I., Bulnes, M., Poblet, J., Masini, M., & Flinch, J. (2021). Structural style and evolution of the offshore portion of the Sinu Fold Belt (South Caribbean Deformed Belt) and adjacent part of the Colombian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 125, 104862. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104862>
- Roncancio, J., & Pedraza, P. (2018). *Corredor vial Sincelejo - Tolviejo con levantamiento estratigráfico de las Formaciones San Cayetano y El Cerrito* (S. G. C. (SGC), Ed.). Servicio Geológico Colombiano (SGC). <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=340120101031229361000000001>
- Rosenberg, G. (2009, octubre 20). *Malacolog 4.1.1: a database of Western Atlantic Marine Mollusca*. [http:// www.malacolog.org](http://www.malacolog.org)
- Rosero, S., Silva, J., Sial, A., Borrero, C., & Pardo, A. (2014). Quimioestratigrafía de isótopos de estroncio de algunas sucesiones del Eoceno-Mioceno del Cinturón de San Jacinto y el Valle Inferior del Magdalena. *Boletín de Geología*, 36, 15–27. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-02832014000100001&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832014000100001&nrm=iso)
- Salazar-Ortiz, E., Rincón, D., Páez, L., Restrepo, S., & Barragán, S. (2020). Middle Eocene mixed carbonate-siliciclastic systems in the southern Caribbean (NW colombian margin). *Journal of South American Earth Sciences*, 99, 102507. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102507>
- Schlögl, J., Chirat, R., Balter, V., Joachimski, M., Hudáčeková, N., & Quillévére, F. (2011). Aturia from the Miocene Paratethys: An exceptional window on nautilid habitat and lifestyle. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 308(3–4), 330–338.
- Shannon, C., & Weaver, W. (1963). *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press.
- Simpson, E. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688.

- Vargas, V., Pardo, A., Gallego, N., Restrepo, S., & Muñoz, J. (2022). Procedencia de la Formación El Cerrito en el Cinturón Plegado de San Jacinto: implicaciones paleogeográficas para el Caribe colombiano. *Boletín de Geología*, 44(3), 39–63.
- Villarroel, C., & Clavijo, J. (2005). Los mamíferos fósiles y las edades de las sedimentitas continentales del Neógeno de la Costa Caribe Colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 29, 345–356.  
[https://doi.org/10.18257/raccefyn.29\(112\).2005.2169](https://doi.org/10.18257/raccefyn.29(112).2005.2169)
- Werenfels, A. (1926). *A stratigraphical section through the Tertiary of Toluviejo, Columbia*. E. Birkhäuser & Cie. <https://doi.org/https://doi.org/10.5169/seals-158599>