

**BIOESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES PALEOECOLÓGICAS  
DEL GRUPO VILLETA EN LA VÍA SAN FRANCISCO-MOCHA  
(PUTUMAYO), POR MEDIO DE MICROFÓSILES CALCÁREOS  
(FORAMINÍFEROS, NANOFÓSILES CALCÁREOS Y OSTRÁCODOS).**

**RICARDO ANDRÉS BASTIDAS OBANDO  
PAOLA CRISTINA BERNAL LUNA**



**UNIVERSIDAD DE CALDAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS GEOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE GEOLOGÍA**



**BIOESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES PALEOECOLÓGICAS DEL GRUPO  
VILLET A EN LA VÍA SAN FRANCISCO – MOCOA (PUTUMAYO), POR MEDIO  
DE MICROFÓSILES CALCÁREOS (FORAMINÍFEROS, NANOFÓSILES  
CALCÁREOS Y OSTRÁCODOS).**

**RICARDO ANDRÉS BASTIDAS OBANDO**

**PAOLA CRISTINA BERNAL LUNA.**

**MANIZALES**

**2020**

**BIOESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES PALEOECOLÓGICAS DEL GRUPO  
VILLET A EN LA VÍA SAN FRANCISCO – MOCO A (PUTUMAYO), POR MEDIO  
DE MICROFÓSILES CALCÁREOS (FORAMINÍFEROS, NANOFÓSILES  
CALCÁREOS Y OSTRÁCODOS).**

**RICARDO ANDRÉS BASTIDAS OBANDO**

**PAOLA CRISTINA BERNAL LUNA.**

**Universidad de Caldas**

**Facultad de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Ciencias Geológicas**

**Programa de Geología**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Geólogo – Geóloga.**

Director:

**M.Sc. RAÚL TREJOS TAMAYO**

Codirectores:

**M.Sc. ANDRÉS SALAZAR RÍOS**

**B.Sc. ESTEFANIA ANGULO PARDO**

**MANIZALES**

**2020**

**M.Sc. RAÚL TREJOS TAMAYO, M.Sc. ANDRÉS SALAZAR RÍOS y B.Sc. ESTEFANÍA ANGULO PARDO** investigadores del área de microfósiles calcáreos del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) de la Universidad de Caldas.

CERTIFICAN QUE:

**RICARDO ANDRÉS BASTIDAS OBANDO y PAOLA CRISTINA BERNAL LUNA**, han realizado en el Departamento de Ciencias Geológicas, adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Caldas, el trabajo denominado:

**BIOESTRATIGRAFÍA Y CONDICIONES PALEOECOLÓGICAS DEL GRUPO VILLET A EN LA VÍA SAN FRANCISCO – MOCOA (PUTUMAYO), POR MEDIO DE MICROFÓSILES CALCÁREOS (FORAMINÍFEROS, NANOFÓSILES CALCÁREOS Y OSTRÁCODOS).**

Y para que conste, firmamos el presente certificado en Manizales, en el mes de febrero de 2020.


El director:



---

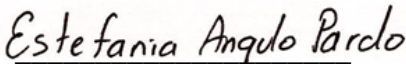
M.Sc. Raúl Trejos Tamayo

Los codirectores:



---

M.Sc. Andrés Salazar Ríos



---

B.Sc. Estefanía Angulo

Los estudiantes:



---

Ricardo Andrés Bastidas Obando.



---

Paola Cristina Bernal Luna.

## **DEDICATORIA.**

Este trabajo es dedicado a:

*A Dora Obando, mi madre, por enseñarme tanto en la vida, desde aprender a leer y a escribir, como a tomar decisiones sin importar las circunstancias, a concentrarme, para no dejar pasar detalle alguno y a salir adelante sin importar los tropiezos.*

*A Richard Bastidas, mi padre, por enseñarme a darle frente y luchar a cada uno de esos obstáculos e impedimentos que se me presenten en el día a día, por inculcarme a vivir la vida con la irreverencia necesaria para defender mis posturas y mis principios, cualidad que he llevado hasta la academia, además a él, le debo mi entrega al trabajo, porque tanto él como a mi madre, los considero trabajadores excepcionales.*

*Por último, este trabajo se lo quiero dedicar a mi hermano, Carlos Mario, dejándote en este escrito dos frases/enseñanzas que espero te sean útiles en algún momento de tú vida. “El mundo tiene muchos colores y hay que aprender a verlos todos” y “El talento sin disciplina no sirve para nada”.*

*Escritos en Manizales, un primero de Marzo con fondo un atardecer.*

*Andrés Bastidas Obando.*

*A mis padres, por su apoyo en cada instante de mi vida, por ser mis compañeros durante todo este trayecto y ser mis maestros en cada paso, por guiarme y tener plena confianza en mis decisiones.*

*A Sofí por llenarme de amor en cada instante, porque a pesar de ser mí hermana menor me ha ensañado a tener valor y a luchar por mis sueños, por ser el ruido que siempre le faltó a mi vida y convertirlo en música con toda su nobleza y alegría.*

*A mi familia por su compañía, apoyo y amor sincero.*

*A mis amigos Sergio, Carlitos, Lui, Nata, Andrés, Vane por su cariño y apoyo incondicional*

*Paola Cristina Bernal Luna*

## AGRADECIMIENTOS.

Al **profe Raúl**, por la **paciencia** durante todo el desarrollo de este trabajo, por su voluntad e interés en acompañarnos desde la primera salida de campo en San Francisco hasta el día de la sustentación; por animarnos cuando queríamos tirar la toalla, por ser nuestro profesor y a término personal nuestro **mentor**, por dejarnos una huella con su pasión por la micropaleontología y al mismo tiempo seguir dando la lucha para obtener y cumplir cada profundo anhelo sin importar las dificultades. En pocas palabras gracias por hacernos amar la complejidad.

Al **profe Andrés**, por su pedagogía, por siempre encontrar la manera de enseñar, cada uno de esos temas que en su momento fueron desconocidos de la manera más práctica y sencilla, por su amor y entrega a la ciencia, por su disposición ante nuestro mar de dudas.

A **Estefanía**, por guiarnos en este complicado proceso, por enseñarnos este mundo tan grande a partir de cosas tan pequeñas como los nanofósiles; Su conocimiento, su generosidad y el tener siempre la disposición de aprender.

A los tres GRACIAS TOTALES!!!!

A Ph.D. Lizette León-Rodríguez por su ayuda con la información sobre los foraminíferos del Cretácico, por su disposición a ayudarnos, y por su ánimo desinteresado.

A Ph.D. Jorge Carrillo Briceño por su ayuda con los dientes y la información para este trabajo.

Al grupo de foraminíferos del IIES, Chigui, Darwin, Gis, Conny, Moni, Quiroz, Caro, Susana y Nata por contarnos sus experiencias, motivarnos y ampliar nuestros conocimientos en foraminíferos.

A Darwin, por su amistad y por estar pendiente de todo el proceso. Gracias Muchacho!

A Mauricio Reyes por toda la paciencia en la elaboración y reelaboración de las placas micropaleontológicas, por acompañarnos y estar con nosotros en ese paso a paso. A Don David por siempre encontrar la solución a nuestros problemas técnicos, A Rubén por estar dispuesto a explicarnos y pasarnos los programas necesarios de edición (una y otra vez). A Don Gustavo por colaborarnos con la adquisición de fotografías MEB.

A todo el equipo del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) por brindarnos su apoyo y tener la disposición de colaborarnos.

A los profesores del Departamento de Ciencias Geológicas por su conocimiento en todos estos años de carrera.

A todos nuestros compañeros de carrera, amigos, que nos acompañaron en nuestro proceso de formación. Mil y mil gracias.

## RESUMEN.

La geología del Departamento del Putumayo es limitada por la escasa información generada, evidenciando un conocimiento incompleto sobre las formaciones geológicas que afloran en este departamento. Los microfósiles calcáreos (foraminíferos, nanofósiles calcáreos y ostrácodos) que se encontraron en dos secciones informales del Grupo Villeta (Secciones A y B), aflorantes en la vía que comunica a los municipios de San Francisco y Mocoa, permitieron definir una edad detallada e implicaciones paleoecológicas de estas secciones. Se reconocieron 22 especies de foraminíferos planctónicos y un género de foraminíferos bentónicos. Las principales asociaciones de foraminíferos están representadas por *Planoheterohelix praeunatalli*, *Whiteinella aprica* y *Protoheterohelix washitensis* para la Sección A y *Dicarinella primitiva*, *Globigerinelloides bolli*, *Globotruncana laparenti* y *Gavelinella* sp; para la Sección B. En cuanto a nanofósiles calcáreos se reconocieron 8 especies encontradas solo en la Sección A, de las cuales se destaca la presencia de *Lithastrinus septenarius*, *Eprolithus octopetalus*, *Eprolithus moratus* y *Eiffellithus eximius*. En ostrácodos se identificaron 3 géneros para la Sección B en la muestra SBY5 y se destaca la presencia del género *Protobuntonia* sp. Estas asociaciones permiten establecer que: la Sección A tuvo una edad de sedimentación comprendida entre 89,91Ma–93,52 Ma, mientras que la Sección B, se depositó entre 84,19Ma-89,91 Ma. En cuanto a las condiciones paleoecológicas las asociaciones de morfotipos de foraminíferos planctónicos sugieren que las masas de aguas superficiales estuvieron bajo la influencia de bajas temperaturas en el Turoniano (Sección A) y del Coniaciano al Santoniano (Sección B-muestra SBY5), esto podría restringirse a condiciones locales en la cuenca o de preservación por la diagénesis, por otra parte, la presencia de *Protobuntonia* sp. en la Sección B sugiere una posible conexión entre África y Sur América como parte de una asociación tropical; además, indica ambientes de plataforma, lo que es confirmado con foraminíferos bentónicos (*Gavelinella* sp.).

## TABLA DE CONTENIDO.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL: .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	17
<b>3. LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>4. CONTEXTO GEOLÓGICO.....</b>	<b>19</b>
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	20
4.1.1 Triásico-Jurásico.....	20
4.1.2 Cretácico.....	21
4.1.3 Paleógeno. ....	21
4.1.4 Neógeno.....	22
4.1.5 Cuaternario. ....	22
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	23
4.2.1 Falla Sibundoy.....	23
4.2.2 Falla Colón. ....	23
4.2.3 Falla Quinchoa.....	23
4.2.4 Falla San Francisco-Yunguillo.....	23
<b>5. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
5.1 FORAMINÍFEROS.....	24
5.2 NANOFÓSILES CALCÁREOS.....	25
5.3 OSTRÁCODOS. ....	26
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>28</b>
6.1. TRABAJO EN CAMPO.....	28
6.2. TRABAJO EN LABORATORIO. ....	28
6.2.1. Preparación de foraminíferos y ostrácodos (Figura 6). ....	28
6.2.2. Preparación de nanofósiles calcáreos. ....	29
6.3. FASE DE ANÁLISIS.....	30
6.3.1 <i>Picking</i> y <i>sorting</i> para foraminíferos y ostrácodos.....	30
6.3.2 Nanofósiles calcáreos .....	31



6.3.2.1	Abundancias relativas de nanofósiles calcáreos .....	31
6.4.	ADQUISICIÓN FOTOGRÁFICA.....	32
6.4.1.	Foco extendido .....	32
6.4.2.	Microscopio Electrónico de Barrido-(MEB).....	32
6.5	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD DE SHANNON-WEAVER (H'), 1949. ....	32
6.6	FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS CRETÁDICOS Y SUS IMPLICACIONES PALEOECOLOGÍAS.....	33
6.7	DIVERSIFICACIÓN DE FORAMINÍFEROS PLANTONICOS A TRAVÉS DEL CRETÁCICO. ....	34
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
7.1.	SECCIÓN A .....	35
7.1.1.	Litoestratigrafía. ....	35
7.1.2.	Bioestratigrafía .....	36
7.1.3.	Distribución y abundancia de los grupos (Selección r, Selección K e intermedios K/r) .....	39
7.1.4.	Biodiversidad.....	40
7.1.5	Abundancia y preservación de los microfósiles calcáreos (FP y NC) de la Sección A.....	41
7.2.	SECCIÓN B .....	42
7.2.1.	Litoestratigrafía. ....	42
7.2.2.	Bioestratigrafía .....	43
7.2.3.	Abundancia de los grupos Selección r, Selección K y Selección r/K. ....	46
7.2.4.	Biodiversidad.....	47
7.2.5	Distribución y abundancias de los microfósiles calcáreos (foraminíferos y ostrácodos) de la Sección B.....	48
<b>8.</b>	<b>DISCUSIONES</b> .....	<b>49</b>
8.1	MODELO DE EDAD (RANGO TEMPORAL DE LAS SECCIONES ESTUDIADAS).....	49
8.2	PALEOECOLOGÍA.....	50
8.2.1	Paleotemperatura de las masas de aguas superficiales .....	50
8.2.2	Paleobatimetría.....	51

8.2.3 Paleogeografía.....	51
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>10. REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE FIGURAS.

- **Figura 1.** Mapa de localización de la zona de estudio de las Secciones A y B, ubicadas al oriente del Valle de Sibundoy, en el Departamento del Putumayo.
- **Figura 2.** Tabla cronoestratigráfica generalizada del Valle de Sibundoy, orientada de oeste a este, sin escala.
- **Figura 3.** Sección transversal de un foraminífero bentónico. Tomado de Armstrong & Brasier (2005).
- **Figura 4.** Representación de la célula de la cocosfera. El lado izquierdo representa los organelos de la célula. El lado derecho indica la distribución de las placas de carbonato (cocolitos) en la cocosfera. Tomado de Flores & Sierro (2013).
- **Figura 5.** Sección transversal de la estructura interna de un ostrácodo. Tomado de Rodriguez-Lazaro & Ruiz-Muñoz (2012).
- **Figura 6.** Técnica de preparación de foraminíferos y ostrácodos **A:** 100 g de muestra triturada previamente. **B:** proceso de lavado de muestra en tamiz de 63  $\mu\text{m}$  con Jabón neutro. **C:** secado de la muestra en el horno a 70 °C. **D:** adición de peróxido de hidrogeno al 15% a la muestra. **E:** tamizaje de las fracciones 63  $\mu\text{m}$ - 125  $\mu\text{m}$ - 250  $\mu\text{m}$ - 425 y toma de su respectivo peso.
- **Figura 7.** Preparación de placas de nanofósiles calcáreos. **A:** adición a la muestra de 3mm de hipoclorito de sodio. **B:** agitación de la muestra en agitador vórtex. **C:** calentamiento de la muestra en agua hirviendo durante 15 minutos. **D:** centrifugación de la muestra por 7 minutos a 1000 RPM. **E:** adición a la muestra de bicarbonato de sodio y calentamiento de la muestra. **F:** centrifugación de la muestra a 2500RPM durante 10 minutos. **G:** agitación de la muestra. **H:** depositación de la muestra en un tubo de ensayo. **I:** depositación del sobrenadante y fracción del fondo de la muestra en el cubreobjetos.
- **Figura 8.** Columna estratigráfica y distribución de microfósiles calcáreos de la Sección A. Fotografías **A:** afloramiento de la Sección A, **B:** laminación plana paralela, **C:** restos de bivalvos, **D:** marca de concreción calcárea.
- **Figura 9.** Distribución de marcadores estratigráficos y zonas bioestratigraficas de la Sección A.
- **Figura 10.** Foraminíferos planctónicos marcadores bioestratigráficos de la Sección A; Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ . **1)** *Whiteinella aprica* **A:** vista espiral **B:** vista de perfil **C:** vista umbilical; **2)** *Planoheterohelix praeunatalli* **A:** vista frontal **B:** vista lateral; **3)** *Protoheterohelix washitensis* **A:** vista frontal **B:** vista lateral.
- **Figura 11.** Nanofósiles calcáreos marcadores bioestratigráficos de la Sección A; Barra de escala: 5  $\mu\text{m}$ . **1)** *Lithastrinus septenarius* **2)** *Eprolithus octopetalus* **3)** *Eprolithus moratus* **4)** *Eiffelithus eximius*.
- **Figura 12.** Distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos de los grupos (Selección-r, r/K Selección y K Selección analizados de la Sección A).
- **Figura 13.** Biodiversidad de las muestras de la Sección A.

- **Figura 14.** Columna estratigráfica y distribución de microfósiles calcareos de la Sección B.
- **Figura 15.** Distribución de marcadores estratigráficos y zonas bioestratigráficas de la Sección B.
- **Figura 16.** Foraminíferos planctónicos marcadores estratigráficos de la Sección B; Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ . **1)** *Dicarinella primitiva* **A:** vista espiral **B:** vista de perfil **C:** vista umbilical; **2)** *Pseudotextularia nuttalli* **A:** vista frontal **B:** vista de perfil; **3)** *Globigerinelloides bolli* **A:** vista umbilical **B:** vista de perfil.
- **Figura 17.** Ostrácodos de la Sección B; La escala representa 200  $\mu\text{m}$ . (1-9) *Protobuntonia* sp. vista lateral derecha, (3,9) Vista lateral izquierda (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8).
- **Figura 18.** Distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos de los grupos (Selección r, Selección K e intermedios r/K) analizados en la Sección B.
- **Figura 19.** Biodiversidad de las muestras de la Sección B.
- **Figura 20.** Mapa paleobiogeográfico de *Protobuntonia* (mapa del Coniaciano modificado; Scotese, 2014). 1. *Protobuntonia* sp, zona de estudio de este trabajo; 2. *Protobuntonia* sp, cuenca de Sergipe, Coniaciano-Maastrichtiano, (Viviers *et al.*, 2000); 3. *Protobuntonia* sp, cuenca de Ceará, Coniaciano-Maastrichtiano, (Viviers *et al.*, 2000), 4. *Protobuntonia* sp, Nigeria, Coniaciano-Maastrichtiano, (Babinot & Colin, 1988); 5. *Protobuntonia* sp, Golfo de Guinea, Campaniano, (Khan, 1970) en Seeling *et al.* (2004); 6. *Protobuntonia nakkadi*, Este-central de Sinai, Santoniano-Coniaciano, (Morsi, 2000); 7. *Protobuntonia glabra* Cuenca Pernambuco-Paraíba, Maastrichtiano, (Fauth *et al.*, 2005); 8. *Protobuntonia glabra* - *Protobuntonia punctatum*, Cuenca Paraíba, Maastrichtiano, (Barros *et al.*, 2018); 9. *Protobuntonia numídica*, Norte de África y Oeste del medio este, Maastrichtiano, (Luger, 2003).

## **LISTA DE TABLAS.**

**Tabla 1.** Ejemplo del cálculo del índice de diversidad Shannon-Weaver en la muestra S1.

## **ANEXOS.**

**ANEXO 1.** Conteo de foraminíferos planctónicos de la Sección A.

**ANEXO 2.** Conteo de nanofósiles calcáreos de la Sección A.

**ANEXO 3.** Conteo de foraminíferos de la Sección B.

**ANEXO 4.** Material fotográfico de los foraminíferos encontrados en la Sección A.

**ANEXO 5.** Material fotográfico de los foraminíferos encontrados en la Sección B.

**ANEXO 6.** Material fotográfico de nanofósiles calcáreos encontrados en la Sección A.

**ANEXO 7.** Material fotográfico de ostrácodos encontrados en la Sección B.

**ANEXO 8.** Material fotográfico de carofitas de la sección A y restos de dientes encontrados en las dos secciones (A y B).

## 1. INTRODUCCIÓN.

Durante el Cretácico la diversificación, distribución y evolución de los foraminíferos planctónicos se ha asociado a cambios en su posición de vida con respecto a la columna de agua como estrategia evolutiva a cambios en el océano (Caron & Homewood, 1983; Hart, 1999); de la misma forma, la diversidad de nanofósiles calcáreos también es atribuida a factores abióticos como la estabilidad ambiental, cambio de clima, el nivel del mar, la productividad y suministro de nutrientes en las masas de agua y la competencia como factor biótico (Bown *et al.*, 2004); por su parte, los ostrácodos se diversificaron constantemente en las plataformas del Cretácico (Sepkoski, 2000). Los microfósiles calcáreos han sido ampliamente usados como herramientas para reconstrucciones bioestratigráficas y paleoambientales de secuencias sedimentarias ya que estos han sido susceptibles a cambios ecológicos, como variación en el suministro de nutrientes, cambios en la salinidad, tipo de hábitat, entre otros (Boltovskoy & Wright, 1976; Koutsoukos & Merrick, 1986; Holmes, 2001; Carignano & Ballent, 2009). En Colombia, el uso de estas herramientas está poco desarrollado y los estudios relacionados con el Cretácico son escasos, destacándose, por ejemplo, los estudios bioestratigráficos realizados con foraminíferos por Vergara *et al.* (1997); Villamil & Arango (1998); Martínez (2003) y Patarroyo *et al.* (2017); en nanofósiles calcáreos por Pérez *et al.* (2019) y en ostrácodos por Patarroyo *et al.* (2019).

Una de las cuencas que mejor registran el Cretácico en Colombia es la del Valle Superior del Magdalena (VSM), caracterizada por ser una depresión intramontañosa en medio de las cordilleras Central y Oriental, ubicada al Sureste de Colombia. En esta cuenca ocurre una incursión marina en el Aptiano Temprano (Formación Yaví) en la Subcuenca de Girardot, la cual se extiende hacia el sur en el Aptiano Tardío, inundando toda la cuenca (Formación Caballos o Formación Ocal). Entre el Albiano Medio al Cenomaniano inicia una rápida transgresión acompañada de eventos anóxicos, que se ven reflejados hasta el Coniaciano, cambiando las condiciones paleoecológicas del mar (Villamil, 1998), seguida a finales del Coniaciano por una sedimentación de plataforma externa de carbonatos y shales como la Formación Villeta (Villamil, 1998), la cual, está reportada en el flanco oriental de la Cordillera Central al extremo sur de el VSM (Núñez, 2003), en la zona de estudio de este trabajo (municipio de San Francisco, Putumayo).

Estudios de bioestratigrafía a partir de foraminíferos planctónicos del Grupo Villeta en la Subcuenca de Neiva por Blau *et al.* (1992) para las Formaciones Caballos y Villeta han interpretado una edad Albiano, y en las Calizas del Tetuán una edad de Albiano Tardío por León (2002), mientras que hacia el norte para la Subcuenca de Girardot, Martínez (2003), realizó un estudio paleoecológico del pozo Michu-1 (Turoniano–Maastrichtiano) abarcando las Formaciones Loma Gorda, Hondita y el Grupo Olini. Por otra parte, los principales estudios que se han reportado cerca de la zona del presente trabajo son los realizados por Royo & Gomez (1941) y Etayo-Serna *et al.* (1976) a partir de macrofósiles, quienes

asignaron una edad Albiana a las rocas expuestas en la vía que comunica al Municipio de San Francisco con Mocoa. También Cucalón & Camacho (1966) asignaron una edad de Albiano a Maastrichtiano a través de foraminíferos bentónicos.

Debido a la escasez de información micropaleontológica y bioestratigráfica detallada, en las unidades del Cretácico del VSM, en la localidad de San Francisco, y la importancia que genera establecer un marco temporal y paleoecológico de unidades que hacen parte de sistemas petrolíferos reconocidos, este trabajo intenta ampliar el conocimiento sobre la bioestratigrafía en el Cretácico Tardío de este sector y plantear un acercamiento a las condiciones paleoambientales de sedimentación, por medio de la integración de microfósiles calcáreos (foraminíferos, nanofósiles calcáreos y ostrácodos) hallados en lodolitas silíceas de dos secciones (llamadas aquí informalmente Sección A y B), en la carretera que comunica los municipios de San Francisco y Mocoa en el Departamento del Putumayo.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL:**

Definir el rango temporal y las condiciones paleoecológicas para dos secciones (informalmente denominadas Sección A y Sección B) pertenecientes al Grupo Villeta, que afloran en una porción de la carretera que comunica los municipios de Mocoa y San Francisco en el Departamento del Putumayo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

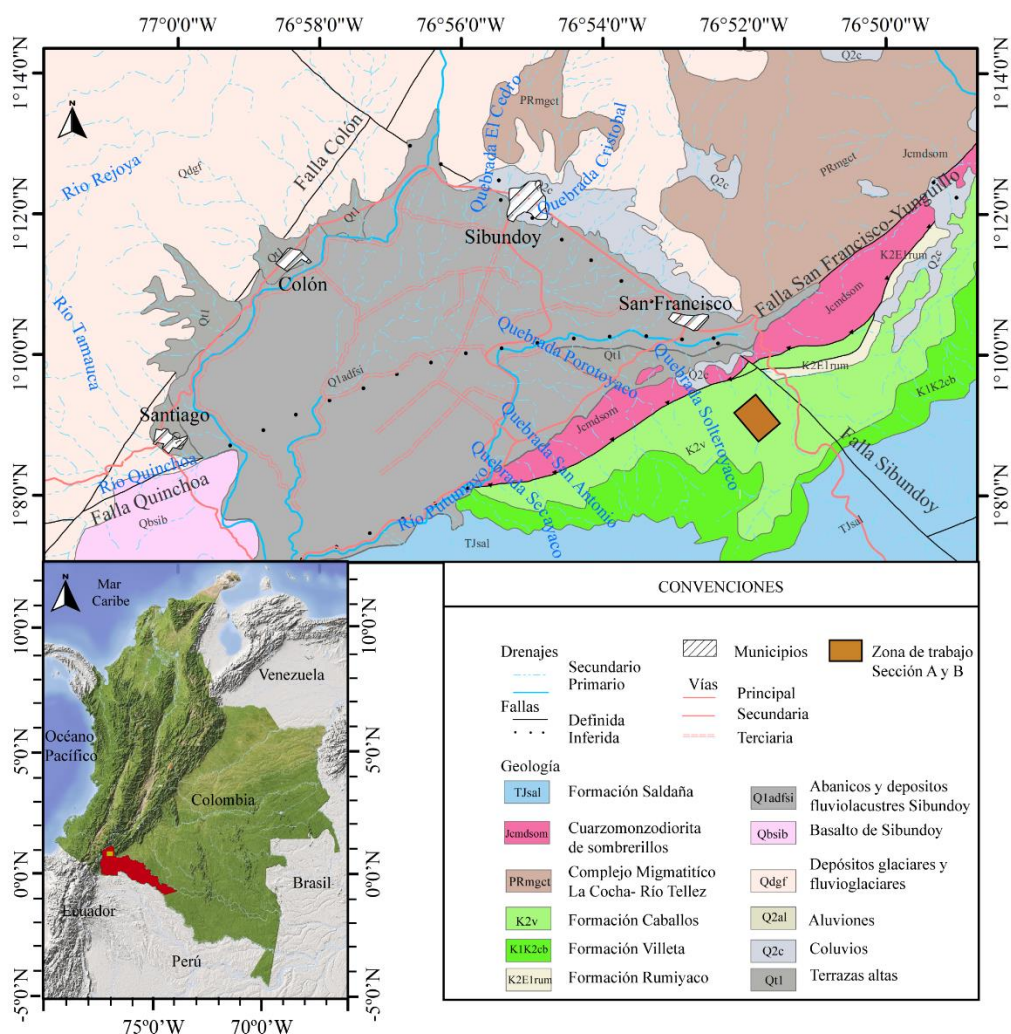
- Levantar y muestrear columnas estratigráficas en las secciones de estudio y preparación de las muestras para comprobar su contenido en microfósiles calcáreos.
- Identificar taxonómicamente los microfósiles calcáreos de las secciones levantadas.
- Definir el rango temporal a partir de los microfósiles calcáreos encontrados en ambas secciones.
- Elaboración de un modelo paleoecológico por medio de las asociaciones de microfósiles calcáreos hallados.

### 3. LOCALIZACIÓN.

El Valle de Sibundoy está ubicado al suroeste de Colombia, al noroeste del Departamento de Putumayo (Figura 1). Este se caracteriza por ser una depresión intramontañosa, que se destaca respecto a la región montañosa circundante, por la cual fluyen los ríos Putumayo y San Pedro (Servicio Geológico Colombiano SGC, 2013).

Sobre el Valle de Sibundoy se sitúan los municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco (Figura 1), los cuales, se interconectan mediante vías terrestres nacionales, en la vía que comunica a las ciudades de Pasto y Mocoa.

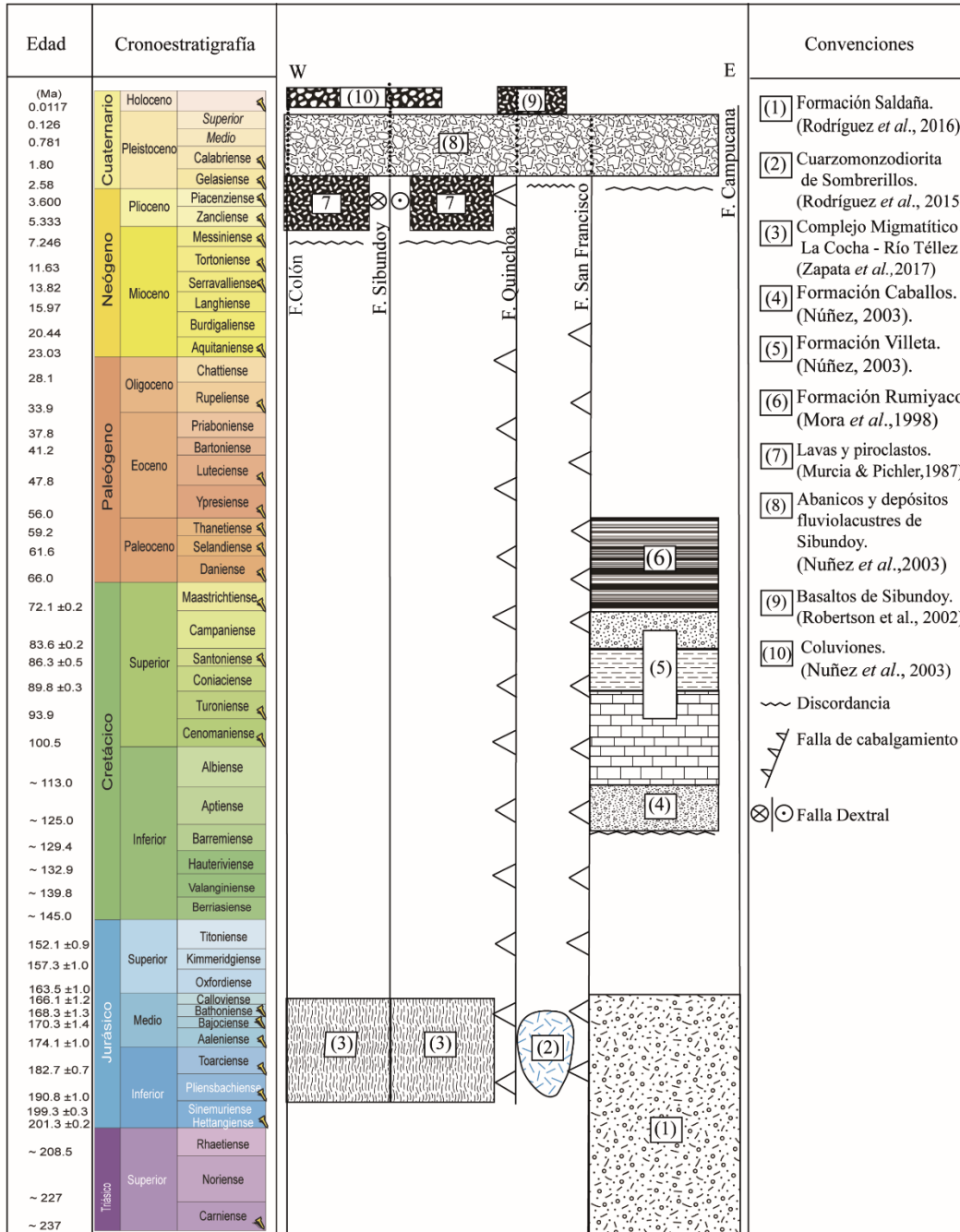
En el flanco oriental del Valle de Sibundoy, en la vía que comunica al municipio de San Francisco con Mocoa, se encuentran ubicada las secciones de este trabajo; Sección A:  $1^{\circ}9'50.04''$  N,  $76^{\circ}51'43.93''$  W y Sección B:  $1^{\circ}9'47.32''$  N,  $76^{\circ}51'35.028''$  W (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localización de la zona de estudio de las Secciones A y B, ubicadas en el flanco oriental del Valle de Sibundoy, en el Departamento del Putumayo. Mapa geológico del Valle de Sibundoy. Modificado de INGEOMINAS & Geostudios (1998).

## 4. CONTEXTO GEOLÓGICO.

LA geología del área del Valle de Sibundoy está compuesta por unidades litológicas que van desde el Triásico hasta el Cuaternario como se observa en la Figura 2.



**Figura 2.** Tabla cronoestratigráfica generalizada del Valle de Sibundoy, orientada de oeste a este; en convenciones se encuentra entre paréntesis las referencias de edad.

## 4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.

A continuación, son descritas las principales unidades aflorantes del Valle de Sibundoy:

### 4.1.1 Triásico-Jurásico

#### 4.1.1.1 Formación Saldaña.

La Formación Saldaña, según INGEOMINAS & Geoestudios (1998), se ubica a al oriente del Valle de Sibundoy (Figura 1). Su litología está conformada por capas finas a gruesas de rocas volcánicas con textura porfirítica a afanítica, de composición riolítica, dacítica, latítica, traquítica y andesítica junto con tobas líticas, cristalinas y vítreas, así como flujos lávicos con presencia de ignimbritas, aglomerados e intercalaciones de lodolitas y arenitas líticas tobaceas SGC (2013). Nuñez *et al.* (2003) expone que el ambiente de formación de la Formación Saldaña es el resultado de una acumulación volcanosedimentaria; en la que se mezclan flujos de lava y depósitos piroclásticos de flujo y caída, con intrusiones hipoabisales y sedimentitas de ambientes continentales y transicionales. Rodríguez *et al.* (2016) determinan que la Formación Saldaña registra edades que van desde  $172,9 \pm 1,3$  Ma –  $188,9 \pm 4,2$  Ma, a partir de la datación de muestras que se encontraron a lo largo del Valle Superior del Magdalena y la Cuenca del Putumayo; esta datación se da mediante el método U-Pb en circón (Figura 2).

#### 4.1.1.2 Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo.

La Cuarzomonzodiorita de Sombrerillo se localiza al oriente del Valle de Sibundoy (INGEOMINAS & Geoestudios, 1998). De acuerdo a estudios realizados por el SGC (2013), este cuerpo intrusivo de textura fanerítica y localmente porfirítica es de composición cuarzomonzodiorita a granodiorítica; además, hacia el área de San Francisco, las rocas de este cuerpo se hallan muy cizalladas por efectos de la Falla San Francisco–Yunguillo. A partir de dataciones de U-Pb en circones, Rodríguez *et al.* (2015) proponen la edad de la Cuarzomonzonita de Sombrerillo como Jurásica ( $173,8 \pm 2,2$  Ma) (Figura 2).

#### 4.1.1.3 Complejo Migmatítico La Cocha – Río Téllez.

El Complejo Migmatítico La Cocha–Río Téllez aflora al nororiente del Valle de Sibundoy (INGEOMINAS, 1998) (Figura 1). Para Zapata-García *et al.* (2017) el Complejo Migmatítico La Cocha–Río Téllez es un conjunto de rocas metamórficas: migmatitas, esquistos, neises y anfibolitas, en contacto fallado con la Cuarzomonzonita de Sombrerillo y rocas sedimentarias cretácicas. Nuñez *et al.* (2003) expone que, con la ayuda de la paragénesis mineral, las rocas del Complejo Migmatítico La Cocha–Río Téllez estuvieron sometidas a metamorfismo regional, entre las facies esquistos verde a anfibolita (presión intermedia). A partir del saprolito y roca del mismo afloramiento se obtienen dos edades y se sugieren una edad de metamorfismo de  $163,6 \pm 4,7$  Ma y edades de cristalización ígnea de  $189,4 \pm 2,3$  Ma y  $193,6 \pm 2,3$  Ma (Zapata-García *et al.*, 2017) (Figura 2).

#### 4.1.2 Cretácico.

##### 4.1.2.1 Formación Caballos.

La Formación Caballos (Figura 1), representa el Cretácico Temprano en la depresión intramontañosa que conforman las fallas del Sistema Algeciras, al oriente del Valle de Sibundoy (INGEOMINAS & Geostudios, 1998). El SGC (2013) establece que esta formación está compuesta de arenitas conglomeráticas y conglomerados ortocuarcíticos, que subyacen a un nivel de intercalaciones de cuarzoarenitas de grano medio a grueso con finos niveles de lodolitas carbonosas; hacia el tope de la unidad se presentan capas macizas de cuarzoarenitas con glauconita y finas láminas lenticulares de material carbonoso junto a partículas finas de carbón diseminado; mediante palinomorfos, Núñez (2003) establece la edad para la Formación Caballos en el rango Aptiano-Albiano a Cenomaniano (Figura 2). Amaya & Centanario (1997) afirman que la Formación Caballos es la representación de parte de una secuencia estratigráfica donde identifican la transición desde depósitos fluviales, hacia la base, hasta barras de desembocadura en el tope de la unidad, en un ambiente de estuario dominado por mareas.

##### 4.1.2.2 Grupo Villeta.

INGEOMINAS & Geostudios (1998) localizan los afloramientos del Grupo Villeta (Figura 1) en la vertiente oriental del Valle de Sibundoy en la carretera San Francisco–Mocoa. Según Núñez (2003) el Grupo Villeta es una agrupación sedimentaria predominantemente lodolítica, con algunas intercalaciones de calizas (biomicritas) y arenitas; en este trabajo también se establece una edad entre el Cenomaniano al Campaniano mediante palinomorfos. Además, a partir de la interpretación de facies establece que el Grupo Villeta se depositó en un ambiente de plataforma media a superior de aguas tranquilas debajo de la acción de las olas (Figura 2).

#### 4.1.3 Paleógeno.

##### 4.1.3.1 Formación Rumiayaco.

INGEOMINAS & Geostudios (1998) posicionan los afloramientos de la Formación Rumiayaco al occidente del Valle de Sibundoy (Figura 1). El SGC (2013) describe esta sucesión como arcillolitas de color rojo y gris como litología dominante, intercalada con delgadas capas de conglomerados finos y areniscas cuarzosas, líticas y sublíticas. Las arcillolitas presentan estratos gruesos de forma tabular, con moderada a alta bioperturbación; las areniscas cuarzosas tienen un color rojo y contienen una matriz arcillosa, mientras que las litoarenitas y las sublitoarenitas son de color gris con tonalidades verdosas. Núñez (2003), mediante el análisis de facies de la Formación Rumiayaco establece que esta unidad se formó por la acumulación de sedimentos finos en fondos someros con alta oxigenación; además establece que el ambiente de deposición es continental con incursiones marinas locales propios de un ambiente de acumulación en llanuras de inundación cercanas a la línea de costa. A partir de análisis palinológicos Mora *et al.* (1998) afirma que la acumulación de la Formación Rumiayaco se da en el rango Maastrichtiano-Paleoceno tardío (Figura 2).

#### 4.1.4 Neógeno.

##### 4.1.4.1 Lavas y piroclastos.

Esta unidad se ubica al occidente del Valle de Sibundoy (INGEOMINAS & Geoestudios, 1998). Este conjunto de rocas es una agrupación de depósitos volcánicos y volcanosedimentarios, tanto flujos de lava como lahares y depósitos piroclásticos de flujo y caída, estableciendo que la procedencia de los depósitos se debió a actividad de volcanes extintos y actuales presentes en el suroccidente del país (Nuñez *et al.*, 2003). Murcia & Pichler, 1987 (en Nuñez *et al.*, 2003) reportan edades radiométricas K/Ar desarrolladas en biotita, para dos muestras de ignimbrita, las cuales estaban localizadas en la localidad de Santa Bárbara al sureste de la ciudad de Pasto y otra en la carretera que comunica a El Tablón y La Mesa obteniendo un resultado de  $5,9 \pm 0,3$  Ma y  $1,5 \pm 0,1$  Ma, que indican una edad entre finales del Mioceno a inicios del Pleistoceno (Figuras 1 y 2).

#### 4.1.5 Cuaternario.

##### 4.1.5.1 Abanicos y depósitos fluviolacustres de Sibundoy.

Nuñez *et al.* (2003) concluye que el Valle de Sibundoy está ocupado por sedimentos provenientes del depósito de abanicos aluviales, barras longitudinales de ríos, depósitos lacustres y depósitos volcánicos de caída entre otros y que además la edad de estas acumulaciones es cuaternaria (Figura 2).

##### 4.1.5.2 Basaltos de Sibundoy.

Nuñez *et al.* (2003) ubica estos depósitos en la vereda Alto de La Cruz, 4 km al suroccidente del Municipio de Santiago y los describe como los depósitos volcánicos, lavas y piroclastos, provenientes de dos centros eruptivos importantes en el occidente del Valle de Sibundoy. Robertson *et al.* (2002) señala un flujo de lavas reciente, en la parte alta del cráter y una disección baja, infiriendo una actividad volcánica reciente. Además Nuñez *et al.* (2003) proponen que algunos de los depósitos volcánicos de Sibundoy cubren acumulaciones sedimentarias del Holoceno y recientes (Figura 2).

## 4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Velandia *et al.* (2005) define a el sector de Sibundoy–La Cocha (Putumayo-Nariño) como una zona con complejidad tectónica debido a que la zona presenta saltos laterales del sistema de Fallas Algeciras, teniendo dificultad para hacer correlaciones. Al mismo tiempo, estos autores describen al Valle de Sibundoy como una depresión amplia de aproximadamente 100 km<sup>2</sup> de extensión que se destaca en una zona de morfología montañosa.

En el Valle de Sibundoy se presentan las siguientes estructuras (Figura 1):

### 4.2.1 Falla Sibundoy.

Núñez (2003) define esta falla como un rasgo tectónico que destaca en el área por su gran extensión y su orientación; ya que esta estructura recorre la plancha 430-Mocoa, de NW-SE. Es una falla dextral, que pone en contacto rocas cretácicas y precámbricas.

### 4.2.2 Falla Colón.

La Falla Colón es una estructura que tiene una dirección preferencial de N35°E y se encuentra como el límite entre las rocas metamórficas de Pompeya, al occidente, y las Lodolitas y Calizas de Granadillo y el Complejo Migmatítico La Cocha-Río Téllez, unidades ubicadas al oriente de la estructura (Núñez, 2003).

### 4.2.3 Falla Quinchoa.

Núñez (2003) reconoce esta falla como algunos de los rasgos neotectónicos asociados a la Falla San Francisco. Es una estructura en echelón con un movimiento relativo de carácter dextral.

### 4.2.4 Falla San Francisco-Yunguillo.

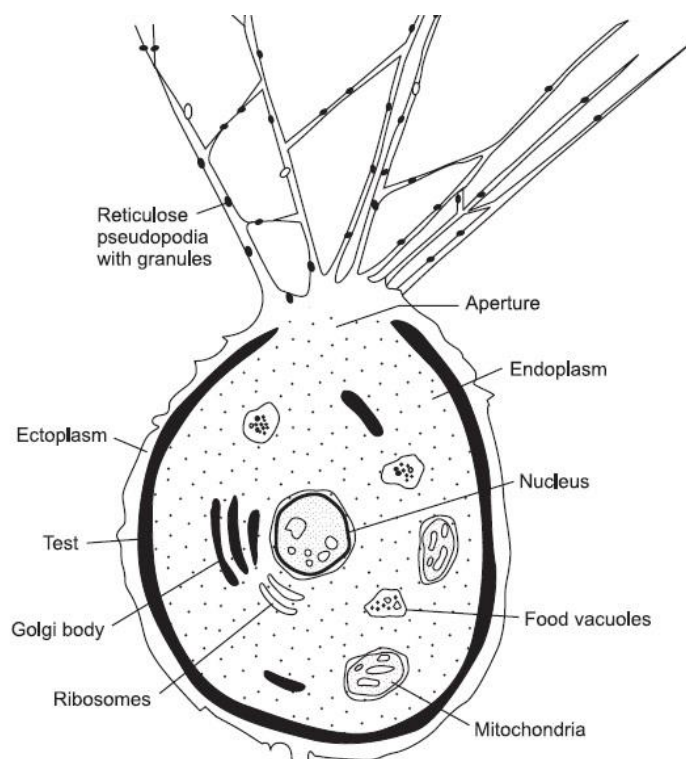
La Falla San Francisco–Yunguillo es una estructura que tiene rasgos de actividad reciente, como es la formación del Valle de Sibundoy, con componente de desplazamiento dextral; tiene dirección NE-SW y es contacto entre la Cuarzomonzodiorita Sombrerillos y Formaciones Saldaña, Caballos y Villeta (Núñez, 2003).



## 5. MARCO TEÓRICO.

### 5.1 FORAMINÍFEROS.

Los foraminíferos son organismos eucariotas unicelulares, los cuales, en su mayoría son capaces de segregar su propio exoesqueleto carbonatado; algunos de ellos, como los foraminíferos aglutinantes, cementan sus conchas a partir de partículas sedimentarias, esto con el fin de cubrir sus membranas internas contenidas en el citoplasma (Figura 3; Jones, 2014; BouDaguer-Fadel, 2015). La locomoción, alimentación y fijación es determinada por la proyección del protoplasma hacia el exterior en pequeños filamentos denominados pseudópodos (BouDaguer-Fadel, 2015).



**Figura 3.** Sección transversal de un foraminífero bentónico. Tomado de Armstrong & Brasier (2005).

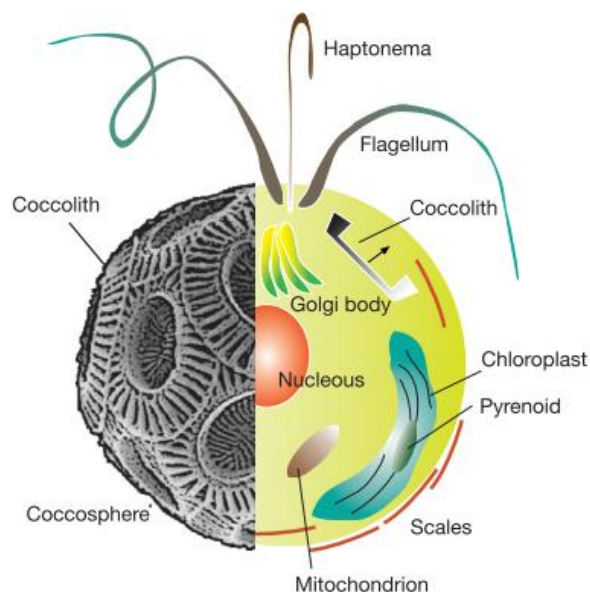
La aparición de los foraminíferos data desde el Cámbrico y han sido comunes en todos los tipos de ambientes marinos (Bellier *et al.*, 2010; BouDagher-Fadel, 2015), por lo tanto, la clasificación inicial de estos organismos protozoarios se basa en su forma de vida, dividiéndose en dos grupos: bentónicos, aquellos que viven sobre o dentro de los sedimentos del fondo del mar (siendo epifaunales o endofaunales,); los foraminíferos planctónicos son aquellos que en su ciclo de vida se desarrollan flotando en la columna de agua, movidos simplemente por corrientes en la superficie, pero capaces de migrar verticalmente (Bellier *et*



*al.*, 2010; Jones, 2014). El uso de esta herramienta en el Cretácico ha proporcionado una alta resolución bioestratigráfica y han sido útiles para reconstrucciones paleoecológicas mediante el uso de la diversidad, abundancia, composición taxonómica y tamaño de los conjuntos de foraminíferos (Petruzzo, 2002).

## 5.2 NANOFÓSILES CALCÁREOS.

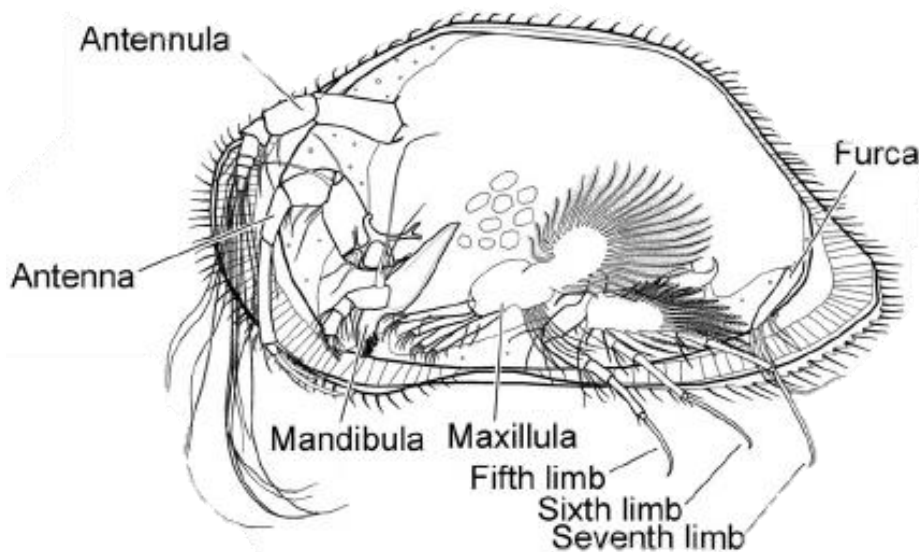
Los cocolitofóridos son microorganismos marinos unicelulares (<30  $\mu\text{m}$ ); ellos conforman la mayoría del plancton marino actual y su hábitat se restringe a la parte superior de la columna de agua, debido a los procesos fotosintéticos que realizan (Bown, 1998). Durante una etapa de su ciclo de vida generan dentro de la célula una placa de carbonato de calcio denominada cocolito (Bown, 1998). Así, múltiples placas son integradas para formar el exoesqueleto calcáreo que es expulsado y denominado cocosfera (Figura 4). A pesar de que la función de estas placas no es muy comprendida, estas podrían servirle a la célula como protección ante depredadores o posibles virus, o para controlar la absorción de luz (Flores & Sierro, 2013). La organización, morfología y estructura de estas placas es el principal criterio de clasificación taxonómica (Young et al. 1997, 2003). El término nanofósiles calcáreos es utilizado para fracciones fósiles de cocolitoforidos y múltiples formas desconocidas causada por la falta de afinidad biológica con representantes modernos (Bown, 1998). Los nanofósiles calcáreos son un gran componente en el ciclo biogeoquímico de la tierra desde su presencia en el Triásico, debido a las altas abundancias, fotosíntesis y capacidad de calcificar (Bown, 1998).



**Figura 4.** Representación de la célula de la cacosfera lado izquierdo representa los organelos de la célula. Lado derecho indica la distribución de las placas de carbonato (cocolitos) en la cacosfera. Tomado de Flores & Sierro (2013).

### 5.3 OSTRÁCODOS.

Los ostrácodos son crustáceos pequeños, normalmente de alrededor de 1 mm de longitud (Figura 5), que datan del Ordovícico Temprano (Baltanás & Mesquita-Joanes, 2015). Presentan una concha bivalva, en la que la parte blanda del organismo se encuentra unido a la concha por músculos aductores. El caparazón se presenta generalmente ornamentado exteriormente con reticulaciones, costillas, espinas, alas, quillas o en algunos casos son lisos (Smith & Park, 2003) siendo estas características diagnósticas para su taxonomía. Estos organismos son susceptibles a un amplio rango de factores ecológicos que incluye el tipo de hábitat, estado de nutrientes, salinidad, temperatura y composición química del agua (Holmes, 2001); por lo que son ampliamente empleados como indicadores paleoclimáticos, paleoambientales y en análisis quimioestratigráficos (Smith & Park, 2003; Rodriguez-Lazaro & Ruiz-Muñoz, 2012; Nogueira & Nogueira, 2017).



**Figura 5.** Esquema sección transversal de la estructura interna de un ostrácodo. Tomado de Rodriguez-Lazaro & Ruiz-Muñoz (2012).

El conocimiento de las asociaciones de ostrácodos en el Cretácico ha contribuido a un mejor entendimiento de la dinámica del movimiento de las márgenes continentales del *Neotethys*; con la expansión del Rift del Atlántico en el Cretácico Superior algunos géneros del Cretácico inferior se extinguen, dando paso a la proliferación y expansión de otros géneros, particularmente de la familia Trachyleberididae (Neale, 1977). Estudios por Babinot & Colin (1988), permiten establecer la evolución de las asociaciones de provincias durante el Cretácico y la comparación de los linajes de estas provincias han permitido establecer la

desconexión de vías marítimas como el Trans-Sahara del Cenomaniano al Turoniano (Gebhardt, 1999).

## 6. METODOLOGÍA.

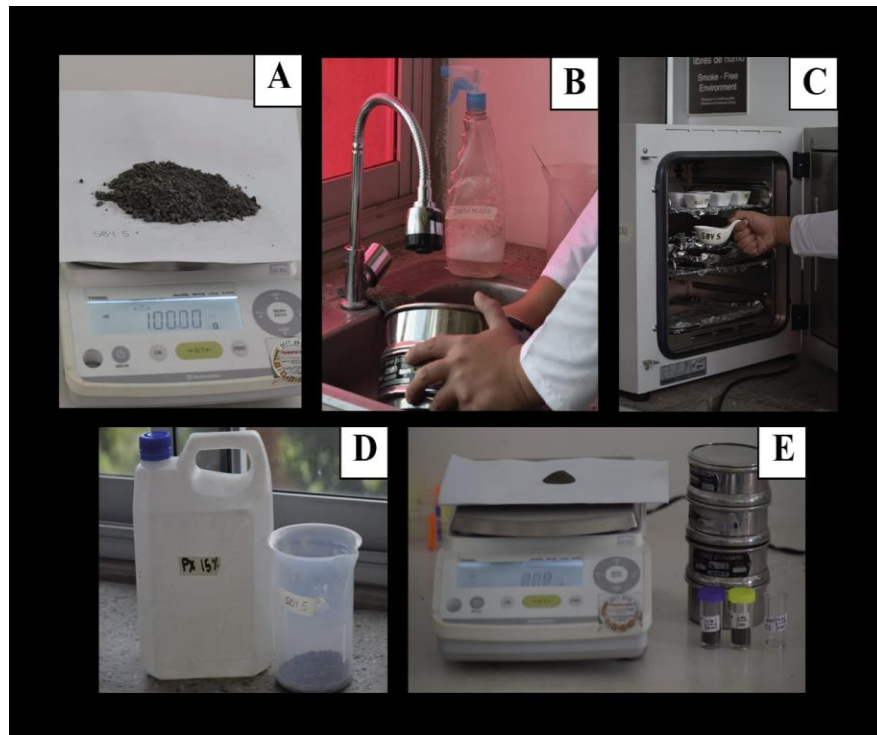
### 6.1. TRABAJO EN CAMPO.

Se realizó el levantamiento y muestreo de dos secciones estratigráficas denominadas informalmente Sección A y Sección B (Figura 1), en el tramo de la carretera San Francisco–Mocoa en el sector denominado Laureles. El muestreo se realizó aleatoriamente cada 0,2 m y 1 m siendo levantados 4,6 y 20 m respectivamente.

### 6.2. TRABAJO EN LABORATORIO.

#### 6.2.1. Preparación de foraminíferos y ostrácodos (Figura 6).

- 1) Se pesaron 100g de muestra previamente triturada en fracciones de alrededor de 0,5 mm.
- 2) Se lavó la muestra con jabón neutro sobre un tamiz en húmedo de 63 $\mu$ m para eliminar el material de tamaño arcilla.
- 3) La muestra se llevó al horno de secado en un recipiente refractario por aproximadamente 12 horas a 60° C.
- 4) Se colocó la muestra en un vaso de precipitado y se añadió peróxido de hidrógeno al 15% para generar una reacción con la materia orgánica de la muestra y así poder disgregarla con mayor facilidad.
- 5) Se lavó la muestra con jabón neutro con el uso del tamiz en húmedo de 63  $\mu$ m y se dejó secar en el horno por aproximadamente 12 horas a 60° C.
- 6) La muestra se tamizó en seco usando las siguientes mallas estándar: 63  $\mu$ m, 125  $\mu$ m, 250  $\mu$ m, 425  $\mu$ m, rotulando con el número de fracción y de muestra.

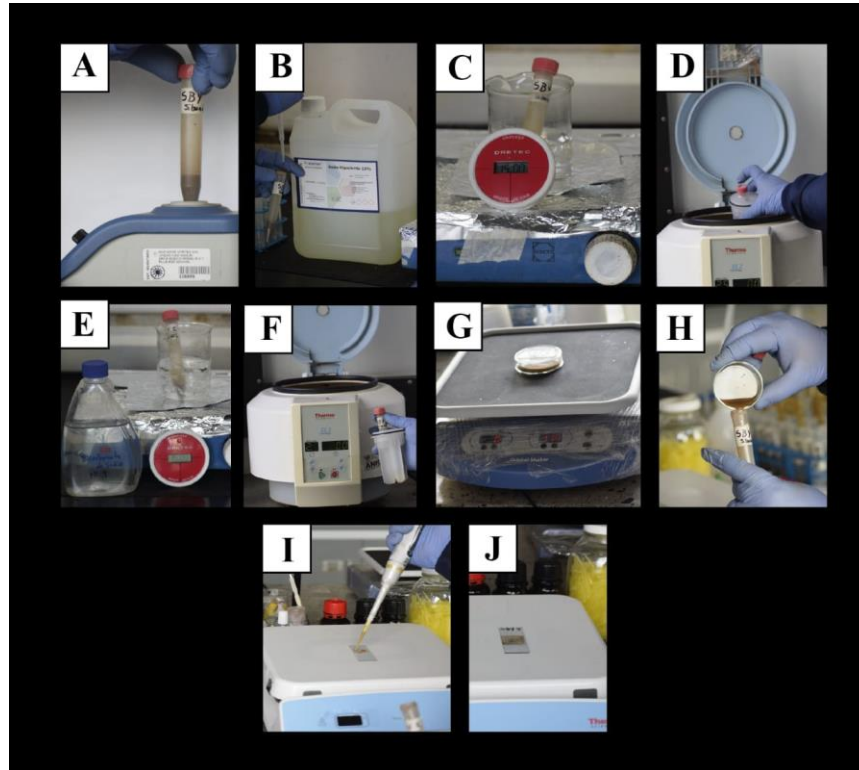


**Figura 6.** Técnica de preparación de foraminíferos y ostrácodos **A:** 100 g de muestra triturada previamente. **B:** proceso de lavado de muestra en tamiz de 63  $\mu\text{m}$  con Jabón neutro. **C:** secado de la muestra en el horno a 70 °C. **D:** adición de peróxido de hidrogeno al 15% a la muestra. **E:** tamizaje de las fracciones 63  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 425 y toma de su respectivo peso.

#### 6.2.2. Preparación de nanofósiles calcáreos. (Figura 7).

Se utilizó el método de centrifugación de Shamrock *et al.* (2015) usando hipoclorito de sodio y bicarbonato de sodio con el fin de aligerar la materia orgánica y ayudar a la disociación de los nanofósiles en el sedimento. El método consiste en:

- 1) Se pesaron 0,5g de cada muestra, la cual fue macerada, para posteriormente vertir el material en tubos de ensayos debidamente rotulados.
- 2) En cada tubo de ensayo se agregó 3 ml de hipoclorito de sodio.
- 3) Se mezclaron en el agitador vórtex a una velocidad media de entre 3 y 5 segundos con el fin de asegurar una buena reacción entre el sedimento y el reactivo y se colocaron en agua hirviendo durante 15 minutos.
- 4) Luego los tubos fueron llevados a la centrifuga por 7 minutos a 1000 RPM y se decantó el sobrante.
- 5) Se repitieron los pasos (del 1 al 4), con el fin de lograr una mejor liberación de materia orgánica, debido a la acción del hipoclorito de sodio.
- 6) Se agregó bicarbonato de sodio en un beaker con agua destilada y se disolvió con un agitador magnético.
- 7) Se agregaron 5mL de  $\text{NaHCO}_3$  con un pH de 9,5 a cada muestra y se llevó al agitador vórtex a una velocidad media durante 3-5 s y se colocaron nuevamente en agua hirviendo durante 15 minutos.
- 8) Se centrifugó a 1000 RPM durante 7 minutos, al terminar se decantó el sobrante.
- 9) Se repiten los pasos 6 y 7.
- 10) Se centrifugó a 2500 RPM durante 10 minutos y se decantó el sobrante.
- 11) Se agregó 5ml de agua destilada a los tubos de ensayo y se agitaron los tubos de ensayo en el vortex a velocidad media durante 5-10 s.
- 12) Se centrifugó la muestra a 2000RPM durante 4 minutos y se decantó el sobrante
- 13) Se repitieron los pasos 11 y 12 tres veces, solo que la tercera vez se agregó 5ml de agua destilada y se dejó agitando durante 12 horas.
- 14) Se centrifugó la muestra a 2000RPM durante 10 minutos y se decantó el sobrante.
- 15) Con ayuda de una micropipeta se tomó la muestra sobre el flotante y la del fondo, colocándola en un cubreobjetos en la plancha e a 80°C, añadiendo 2 gotas de bálsamo de Canadá y fijando en el portaobjetos.



**Figura 7.** Preparación de placas para nanofósiles calcáreos. **A:** adición a la muestra de 3mm de hipoclorito de sodio. **B** agitación de la muestra en vórtex. **C:** calentamiento de la muestra en agua hirviendo durante 15 minutos. **D:** centrifugación de la muestra por 7 minutos a 1000 RPM. **E:** adición a la muestra de bicarbonato de sodio y calentamiento de la muestra. **F:** centrifugación de la muestra a 2500RPM durante 10 minutos. **G:** agitación de la muestra. **H:** vertimiento de la muestra en un tubo de ensayo. **I:** Colocación del sobrenadante y fracción del fondo de la muestra en el cubreobjetos. **J:** Calentamiento del cubre objetos en la plancha para el montaje final de la placa.

### 6.3. FASE DE ANÁLISIS.

#### 6.3.1 *Picking* y *sorting* para foraminíferos y ostrácodos

Con el uso de una lupa binocular, una lámpara y una bandeja de apique se revisaron en todas las muestras y en su totalidad las fracciones mayores a 63  $\mu\text{m}$  extrayendo del sedimento los ostrácodos y los foraminíferos que fueron dispuestos en placas micropaleontológicas de manera aleatoria (*picking*). Posteriormente cada microfósil de las muestras fue separado por afinidad taxonómica en diferentes grupos clasificándose por familia, género o especie dependiendo de su preservación (*sorting*).

Los referentes que se tuvieron en cuenta para la clasificación de foraminíferos fueron los propuestos por Premoli & Verga (2004) y la plataforma Mikrotax (Young *et al.*, 2006, 2017a). Para ostrácodos la guía taxonómica es la presentada por Benson *et al.* (1961).

### 6.3.2 Nanofósiles calcáreos

Las muestras fueron analizadas en un microscopio Nikon de luz polarizada con el objetivo de 100X. Se realizó una estimación cualitativa de los géneros y especies con sus respectivas abundancias relativas, estas abundancias, fueron calculadas con el método propuesto por Burnet *et al.* (1998) y se determinó la preservación y abundancia analizando 7 transectas por placa. La clasificación taxonómica fue llevada a cabo según lo propuesto por Verbeek (1977), Perch-Nielsen (1985), Bown (1998), Burnet *et al.* (1998) y la plataforma Mikrotax (Young *et al.*, 2017b).

#### 6.3.2.1 Abundancias relativas de nanofósiles calcáreos.

Las abundancias estimadas de nanofósiles calcáreos en este trabajo fueron dadas teniendo en cuenta las categorías planteadas por Burnet *et al.* (1998).

Las categorías son:

A = Abundante = > 10 individuos / Campo visual

C = Común = 1-10 individuos / Campo visual

P = Pocos = 1 individuos / 2-50 Campos visuales

R = Raro = 1 individuos / > 50 Campos visuales

E= Estéril.

#### 6.3.2.2 Preservación relativa de nanofósiles calcáreos.

El estado de la preservación de nanofósiles calcáreos estimada en este trabajo fue de carácter cualitativo y fue establecida a partir de los criterios expuestos por Rio *et al.* (1990). Los cuales establecen que:

(Buena) = los especímenes exhiben poca o ninguna disolución y/o recristalización.

(Moderada) = los especímenes están levemente disueltos y/o recristalizados

(Pobre) = los especímenes exhiben una disolución extrema y/o recristalización.

## 6.4. ADQUISICIÓN FOTOGRÁFICA.

### 6.4.1. Foco extendido

Una vez realizada la clasificación taxonómica se procede a la toma de fotografías de foraminíferos, y la representación del diente y la carofita con el uso de una cámara digital Nikon DS-Ril y el software NIS-Elements Br v3.2 en un microscopio LV100, el proceso consiste en varias capturas de los microfósiles desde diferentes planos focales que se unifican en una sola imagen con una sola definición focal con el uso del software. En el caso de los nanofósiles calcáreos, solo se tomó una fotografía, en el mismo equipo y editado en el mismo programa que los foraminíferos, la carofita y el diente.

### 6.4.2. Microscopio Electrónico de Barrido-(MEB)

Se escogieron los mejores ejemplares de foraminíferos y ostrácodos, los cuales se colocaron manualmente sobre botón de aluminio cubierto por una cinta de carbono para mejorar la conductividad, ya que el material de las conchas de microfósiles no presenta conductividad. Con el equipo SC7620 *mini sputter-coater* y mediante la técnica *mini sputtering* se recubren los microfósiles con oro y paladio durante un minuto y medio; posteriormente con el equipo FEI QUANTA-250.

## 6.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD DE SHANNON-WEAVER (H'), 1949.

Pla (2006) establece que el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver:  $H' \geq 3$  corresponde a biodiversidad alta,  $H'$  entre 2 y 3 biodiversidad media y  $H' \leq 2$  biodiversidad baja.

### **Fórmula matemática:**

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Siendo:

**S:** Número de especies

**ni:** Número de individuos de la especie

**Ni:** Sumatoria de todos los individuos **pi:** ni/Ni



La siguiente tabla muestra un ejemplo en la muestra S1 de la Sección A:

<b>S1</b>				
<b>ESPECIES</b>	<i>Abundancia (pi)</i>	<b>Pi=A/Total</b>	<b>LnPi</b>	<b>Diversidad</b>
<i>Muricohedbergella angolae</i>	8	0,014	-4,302	0,058
<i>Whiteinella archeocretacea</i>	14	0,024	-3,743	0,089
<i>Whiteinella baltica</i>	8	0,014	-4,302	0,058
<i>Ticinella madecassiana</i>	1	0,002	-6,382	0,011
<i>Whiteinella aprica</i>	4	0,007	-4,996	0,034
<i>Ticinella raynaudi aperta</i>	1	0,002	-6,382	0,011
<i>Ticinella raynaudi</i>	1	0,002	-6,382	0,011
<i>Ticinella primula</i>	1	0,002	-6,382	0,011
<i>Planoheterohelix globulosa</i>	1	0,002	-6,382	0,011
<i>Planoheterohelix paraglobulosa</i>	12	0,020	-3,897	0,079
Total	591			0,372

**Tabla 1.** Ejemplo del cálculo del índice de Shannon-Weaver de los foraminíferos planctónicos en la muestra S1.

## 6.6 FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS CRETÁDICOS Y SUS IMPLICACIONES PALEOECOLOGÍAS.

Según Premoli & Sliter (1999) se dividieron a los foraminíferos planctónicos cretácicos en 3 grupos: estratégicos, intermedios y especializados; según los morfotipos en comparación con especímenes modernos. El grupo estratégico está conformado por fósiles con características oportunistas como *Heterohelicidae* spp. y *Globigerinelloides* spp. El grupo especializado está conformado por morfotipos con formas quilladas de gran tamaño como los Globotruncánidos y Marginotruncánidos y el intermedio se divide en formas transicionales entre los estratégicos y los especializados como *Whiteinellidos*, *Archaeoglobigerina cretacea* y *Dicarinéllidos*.

Teniendo en cuenta lo establecido por Hallock (1985), el grupo estratégico (Selección-r) es caracterizado principalmente por su rápido aumento de población, mediante la maduración temprana y una reproducción más rápida; esto se encuentra relacionado a un alto potencial reproductivo y a su vez es inversamente proporcional al tamaño; Además es de mencionar que los oportunistas proliferan en regímenes de inestabilidad ambiental y ricos en recursos, comúnmente encontrados en aguas eutróficas (Premoli & Sliter, 1999; Petrizzo, 2002).

Por otro lado, las especies de Selección K se caracterizan por ser más grandes, tener una morfología especializada y compleja, además de tener una mayor diversidad en aguas oligotróficas y competir por especializarse, es decir, tener una función única (Premoli & Sliter, 1999; Petrizzo, 2002). Teniendo en cuenta lo descrito en esta sección, se utilizará la información suministrada para desarrollar inferencias paleoecológicas de las secciones estudiadas.

#### 6.7 DIVERSIFICACIÓN DE FORAMINÍFEROS PLANTONICOS A TRAVÉS DEL CRETÁCICO.

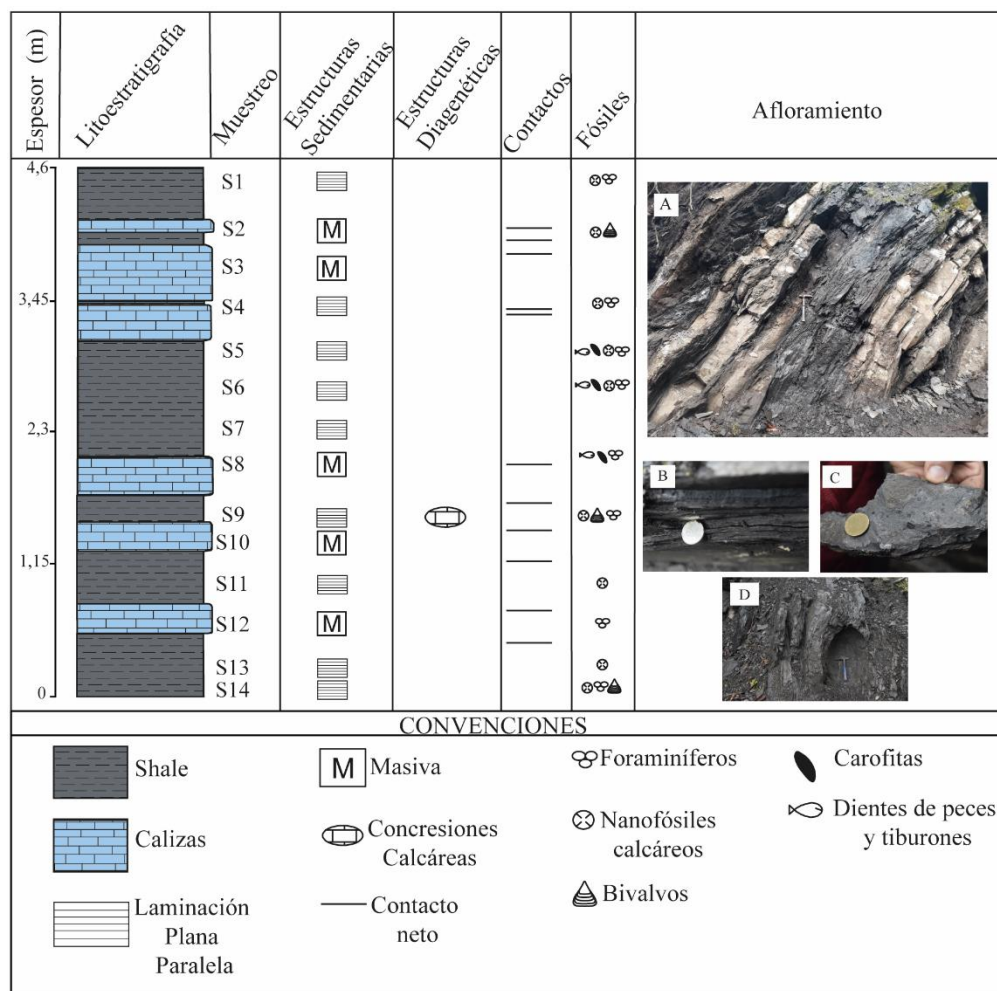
Es de tener en cuenta, que las especies de Selección r tienen un menor número de especies a lo largo del Cretácico, en comparación con los de Selección K, mucho más diversificados. El grupo intermedio (r/K) es un grupo minoritario en cuanto al número de especies (Premoli & Sliter, 1999; Petrizzo, 2002).

## 7. RESULTADOS

### 7.1. SECCIÓN A

#### 7.1.1. Litoestratigrafía.

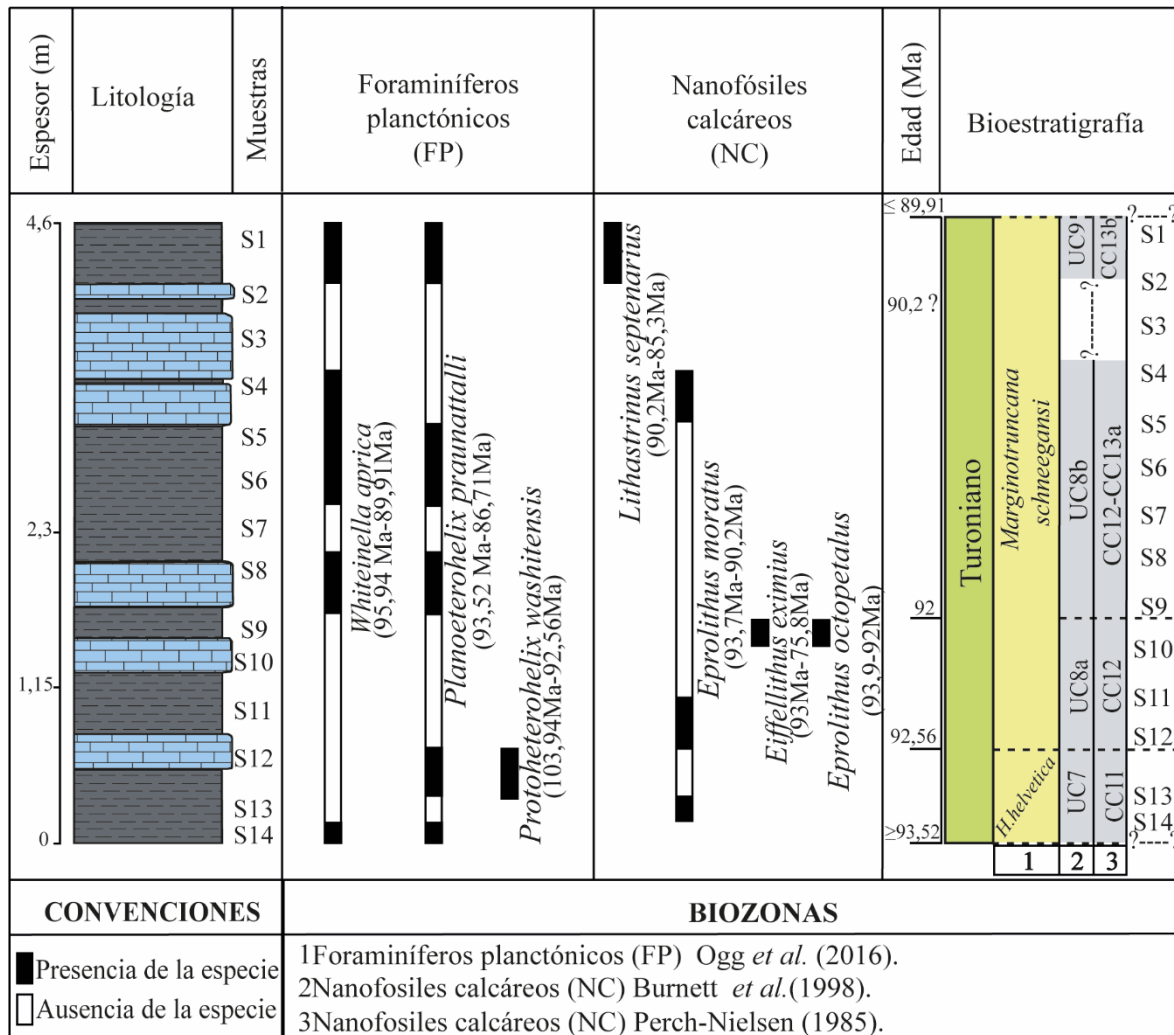
El intervalo estudiado de 4,6 metros de espesor, comprende una sucesión de lodolitas fósiles de colores grises a negras, con espesores decimétricos y estratificación plana paralela, estas lodolitas se encuentran intercaladas con niveles de calizas de espesores decimétricos masivos y nódulos calcáreos; la sección no presentan estructuras de polaridad, sin embargo, como se desarrolla en el capítulo 7.1.2, la distribución de los microfósiles revelaron que la sección presenta una polaridad invertida; entre los estratos se reconocen contactos netos (Figura 8).



**Figura 8.** Columna estratigráfica y distribución de microfósiles calcáreos de la Sección A. las fotografías representan: **A:** afloramiento de la Sección, **B:** laminación plana paralela, **C:** restos de bivalvos, **D:** marca de concreción calcárea.

### 7.1.2. Bioestratigrafía

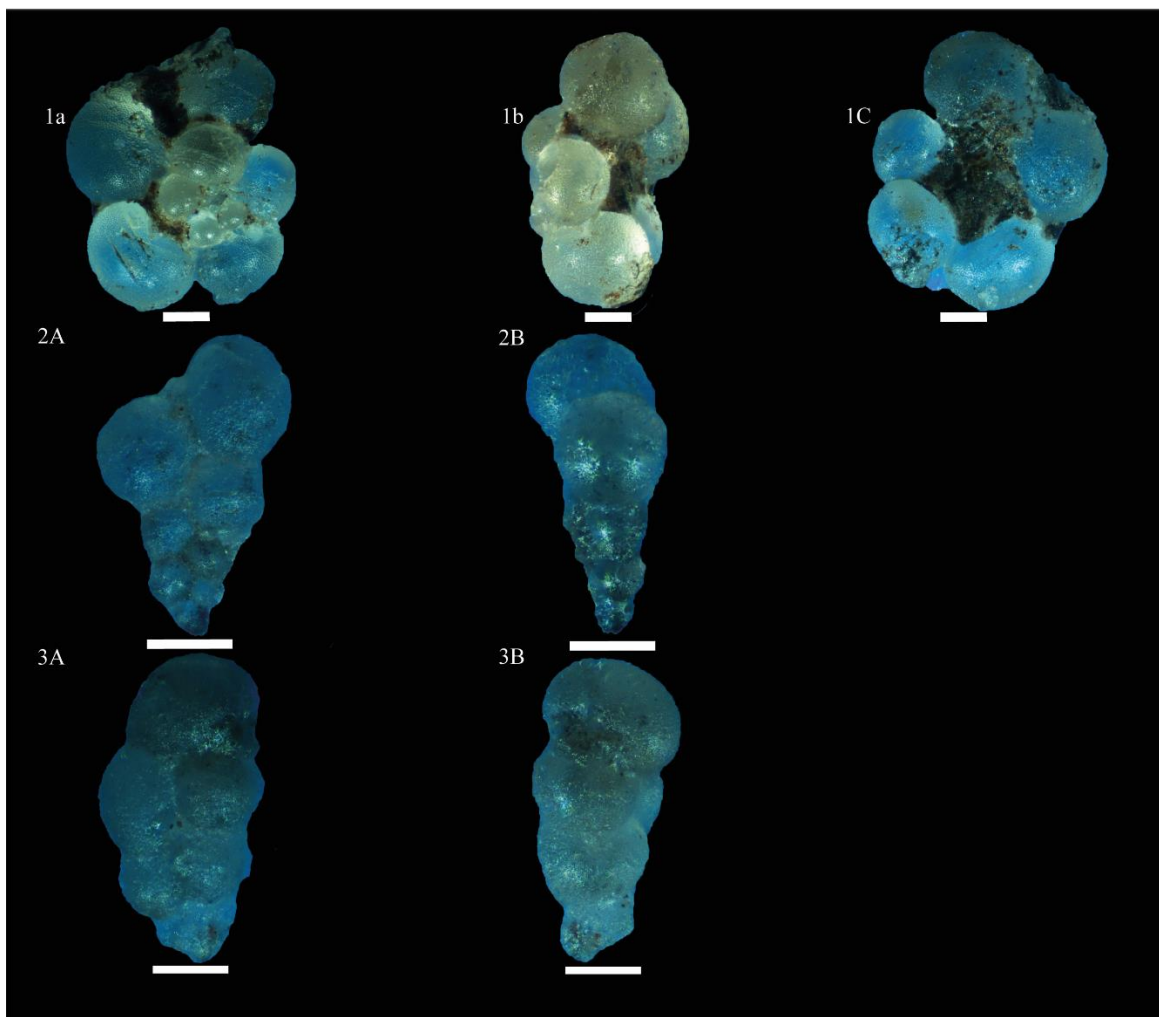
Considerando la distribución de los marcadores bioestratigráficos, como la última aparición LO (*Last Occurrence*) de *Whiteinella aprica* al techo, y la primera aparición FO (*First Occurrence*) de *Planoheterohelix praunattalli* a la base (Figura 10), sitúan a la Sección A, dentro de un marco bioestratigráfico y biocronológico del Turoniano, entre las bizonas *Helvetoglobotruncana helvetica*–*Marginotruncana schneegansi* de foraminíferos planctónicos (FP) (Ogg *et al.*, 2016), y entre UC7 (Burnet *et al.*, 1998) (CC11 de Perch-Nielsen, 1985) y UC9 (Burnet *et al.*, 1998) (CC13 de Perch-Nielsen, 1985) de nanofosiles calcáreos (NC). Por otra parte, se plantea cuatro posibles intervalos de edad (Figura 9), estos intervalos, fueron planteados con la presencia/ausencia, tanto de los foraminíferos plantonicos como la de los nanofosiles calcáreos marcadores de edad (Figuras 10 y 11).



**Figura 9** Distribución de biomarcadores y zonas bioestratigraficas de foraminíferos planctónicos y nanofósiles calcáreos de la Sección A.

Los intervalos establecidos son los siguientes:

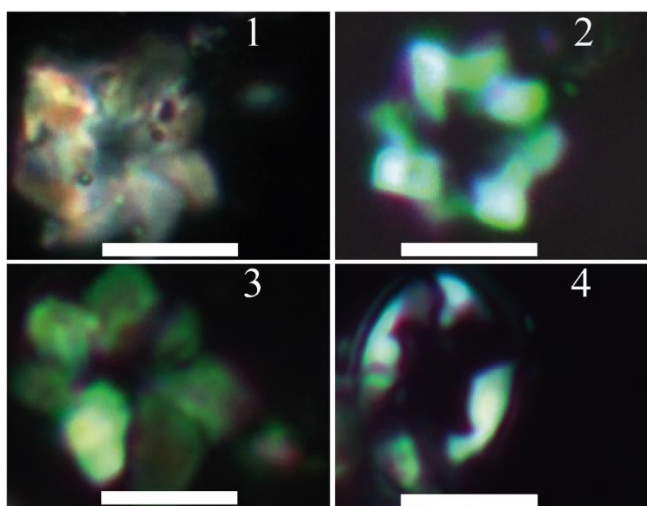
Desde la muestra S14 hasta la S12, la LO de *Planoheterohelix praeunattalli* y la FO de *Protoheterohelix washitensis* (Figura 9 y 10), ubican este intervalo entre las zonas *H. helvetica* de foraminíferos planctónicos (Ogg *et al.*, 2016). y UC7 (Burnet *et al.*, 1998) (CC11 de Perch-Nielsen, 1985) de nanofósiles calcáreos.



**Figura 10.** Foraminíferos planctónicos utilizados como marcadores bioestratigráficos de la Sección A; Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ . 1) *Whiteinella aprica* **A**) vista espiral **B**) vista perfil **c**) vista umbilical; 2) *Planoheterohelix praeunattalli* **A**) vista frontal **B**) vista de perfil; 3) *Protoheterohelix washitensis* **A**) vista frontal **B**) vista de perfil.

El siguiente intervalo va desde la muestra S12 hasta la S9, se encuentra determinado por FO de *Protoheterohelix washitensis* y la FO de *Eprolithus octopetalus* (Figura 10), localizando este intervalo en las zonas *Marginotruncata Schneegansi* de FP (Ogg *et al.*, 2016) y UC8a (Burnet *et al.*, 1998) (CC12 de Perch-Nielsen, 1985) de NC.

Posteriormente, el intervalo que va de S9 a S2, esta definido por la FO de *Eprolithus octopetalus* y FO de *Eprolithus moratus*-LO *Lithastrinus septenarius* (Figura 10) restringiendo este intervalo en las zonas *Marginotruncata Schneegansi* de FP (Ogg *et al.*, 2016) y UC8b (Burnet *et al.*, 1998) (CC12-CC13a de Perch-Nielsen, 1985) de NC. El último intervalo, va desde, la muestra, S2 hasta S1, definido por LO *Lithastrinus septenarius* y FO de *Whiteinella aprica* (Figura 10) ubicando este intervalo en las zonas *Marginotruncata Schneegansi* de FP (Ogg *et al.*, 2016) y UC9 (Burnet *et al.*, 1998) (CC13b de Perch-Nielsen, 1985) de NC.

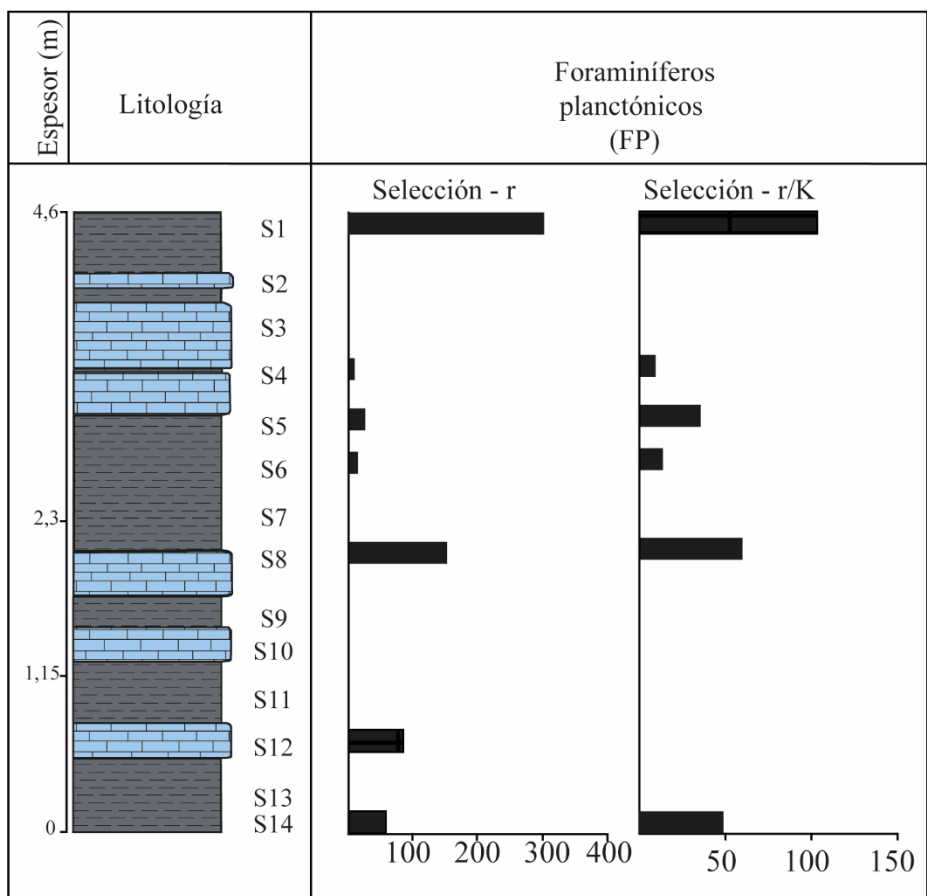


**Figura 11.** Nanofósiles calcáreos usados como marcadores bioestratigráficos en la Sección A; Barra de escala: 5  $\mu$ m. **1)** *Lithastrinus septenarius* **2)** *Eprolithus octopetalus* **3)** *Eprolithus moratus* **4)** *Eiffellithus eximius*.

Otro aspecto a tener en cuenta es que dentro de los foraminíferos planctónicos analizados encontrados en la sección, se encuentran especies de edad Albiana como *Ticinella primula*, *Ticinella raynaudi*, *Ticinella raynaudi aperta*, *Ticinella madecassiana*.

### 7.1.3. Distribución y abundancia de los grupos (Selección r, Selección K e intermedios K/r)

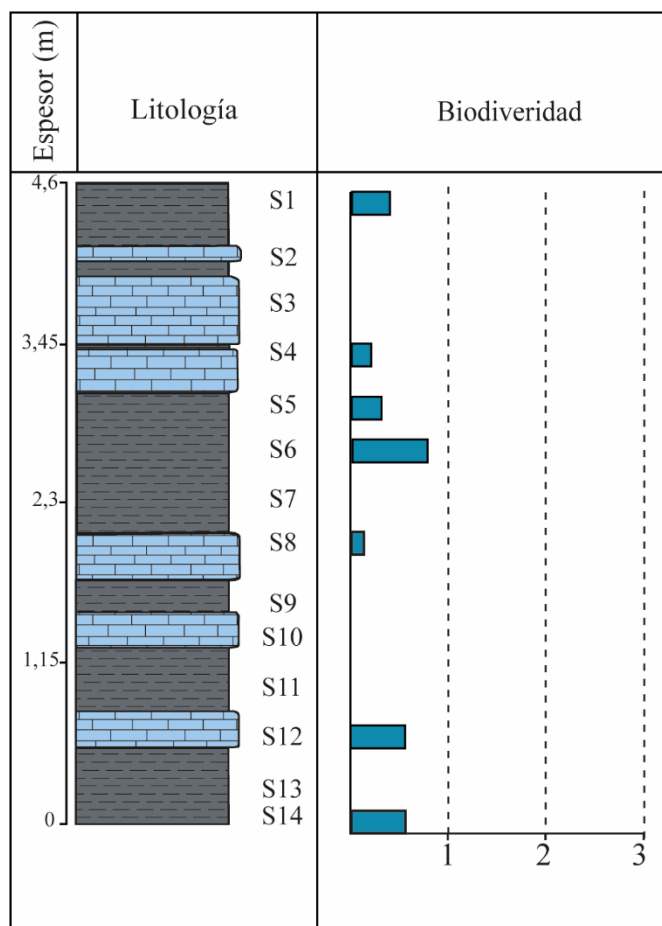
El intervalo estudiado se encuentra dominado por taxones oportunistas en la mayoría de las muestras, siendo representativo las muestras S1 y S8 que casi triplican al valor de la abundancia de los taxones especialistas (304/103) e (150/59) individuos respectivamente, en la muestra S12 solo se encuentra la presencia del grupo oportunista, representado por 85 especímenes, así como los de la muestra S6 ambos grupos se encuentran en las mismas proporciones (13/13); la muestra S5 es la única en la que el grupo especializado (Selección K) supera al oportunista (25/35) (Figura 12).



**Figura 12.** Distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos de los grupos (Selección r, Selección K y Selección r/K) analizados en la Sección A.

#### 7.1.4. Biodiversidad

En términos de biodiversidad, la Sección A está caracterizada por presentar resultados menores a 1, en donde, S6 es la muestra de mayor valor de biodiversidad y S8 es la muestra de menor valor. Además, la sección A, exhibe dos tendencias en biodiversidad, la primera, el crecimiento de S8 hasta S14 donde se presenta un crecimiento y posteriormente una relación constante de los valores de biodiversidad y la segunda S1 a S6 en donde también se observa un crecimiento (Figura 13).



**Figura 13.** Biodiversidad de las muestras de la Sección A.



### 7.1.5 Abundancia y preservación de los microfósiles calcáreos (FP y NC) de la Sección A.

En la sección A se encontraron 15 especies de foraminíferos planctónicos (ANEXO 1.); se destaca la presencia de especies de la familia Heterohelicidae, Hedbergellidae y Prahedbergellidae. En cuanto a los nanofósiles calcáreos se obtuvieron 13 especies (ANEXO 2); en donde se destaca la presencia de especies de la familia Polycyclolithaceae (*Eprolithus* sp., *Lithastrinus* sp. y *Quadrum* sp.) así como *Watznaueria* spp., *Retacapsa* spp., *Zeugrhabdotus* spp., *Eiffelithus* spp., y *Nannoconus circularis* group.

De las especies de foraminíferos planctónicos, su mayor abundancia está localizada principalmente en la parte media de la sección y la preservación general de la columna es de moderada a pobre.

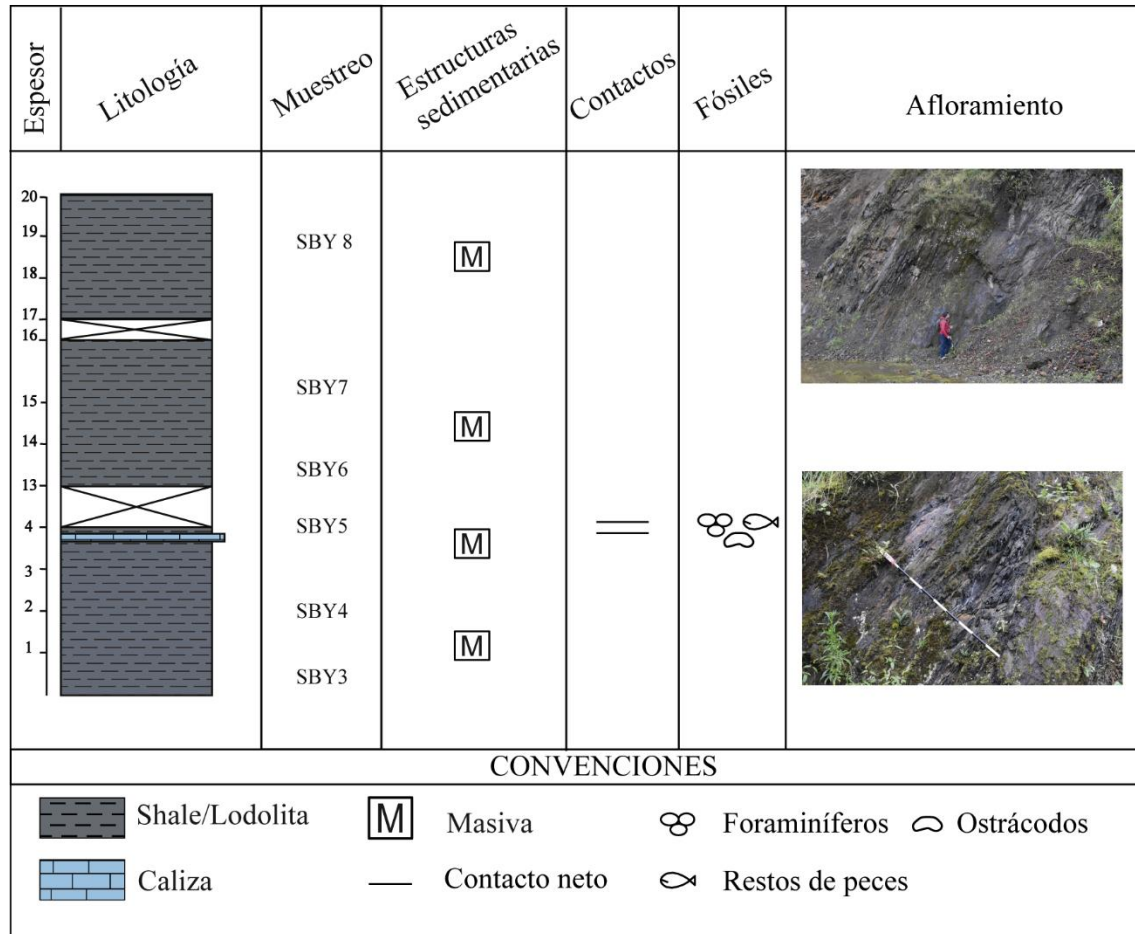
Los valores de abundancia de los foraminíferos de la Sección A presenta un promedio general de 14,52 foraminíferos/gramo, la muestra con mayor abundancia fue S1 (136,17 foraminífero/gramo); en contraste, la muestra que obtuvo menor recobro fue la muestra S4 (2,09 foraminífero/gramo).

Las mayores abundancias de los nanofósiles calcáreos se hallaron en las muestras S14, S9 y S4 (con una abundancia común para S9 y S4, y abundante para S14), mientras que las muestras con menor recobro fueron S13, S11, S6, S5 y S3 con una abundancia entre poca a rara. En cuestión de preservación, los nanofósiles calcáreos mostraron una preservación moderada a pobre, a excepción de las muestras S9 y S4 que presentan una preservación de moderada a buena.

## 7.2. SECCIÓN B

### 7.2.1. Litoestratigrafía.

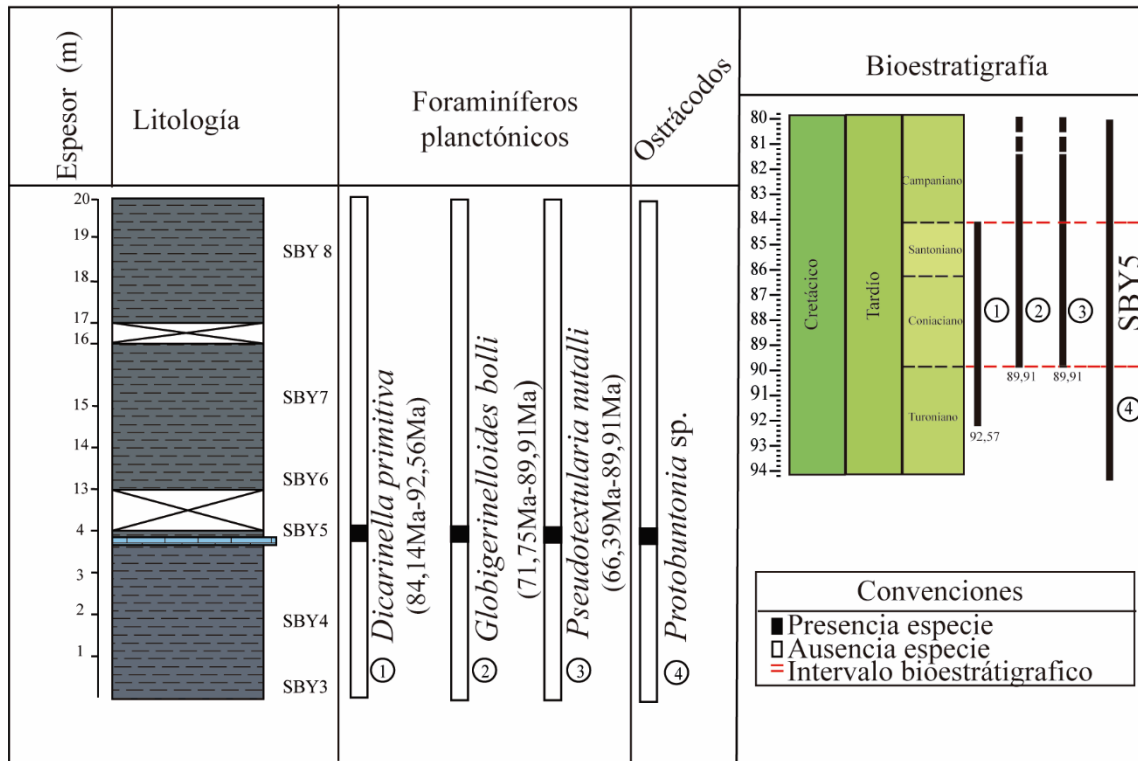
La sección B es de 20 metros de espesor (Figura 14) y comprende una sucesión predominantemente compuesta por lodolitas fósiles, con un solo nivel calcáreo reconocido. Las lodolitas tienen tonalidades grises claras y negras y de espesores que van desde centimétricos hasta decimétricos, sin ordenamiento interno. El nivel de la caliza tiene un espesor centimétrico y se presenta masivo. Los contactos entre estas litologías son netos.



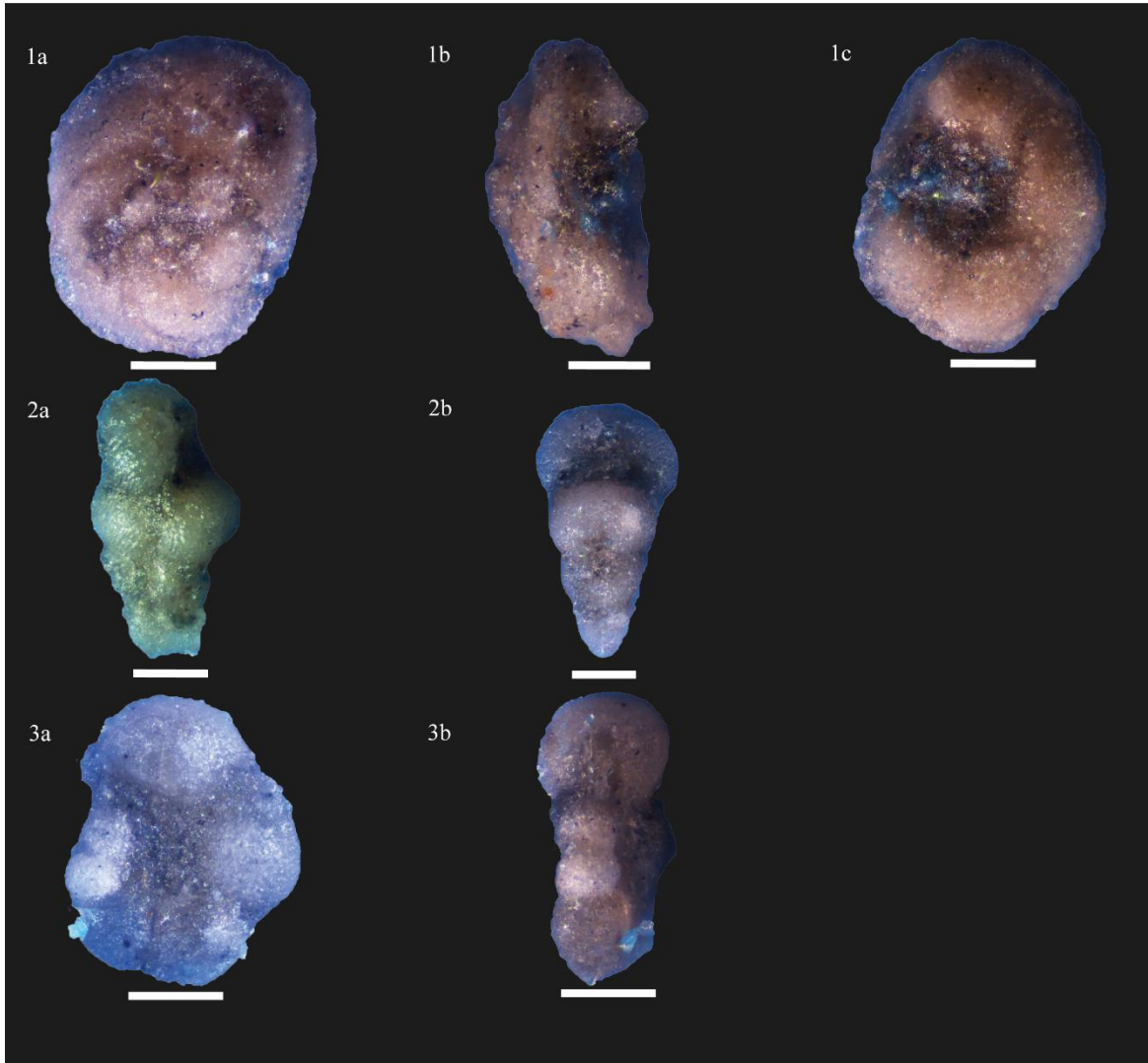
**Figura 14.** Columna estratigráfica y distribución de microfósiles calcáreos de la Sección B.

### 7.2.2. Bioestratigrafía

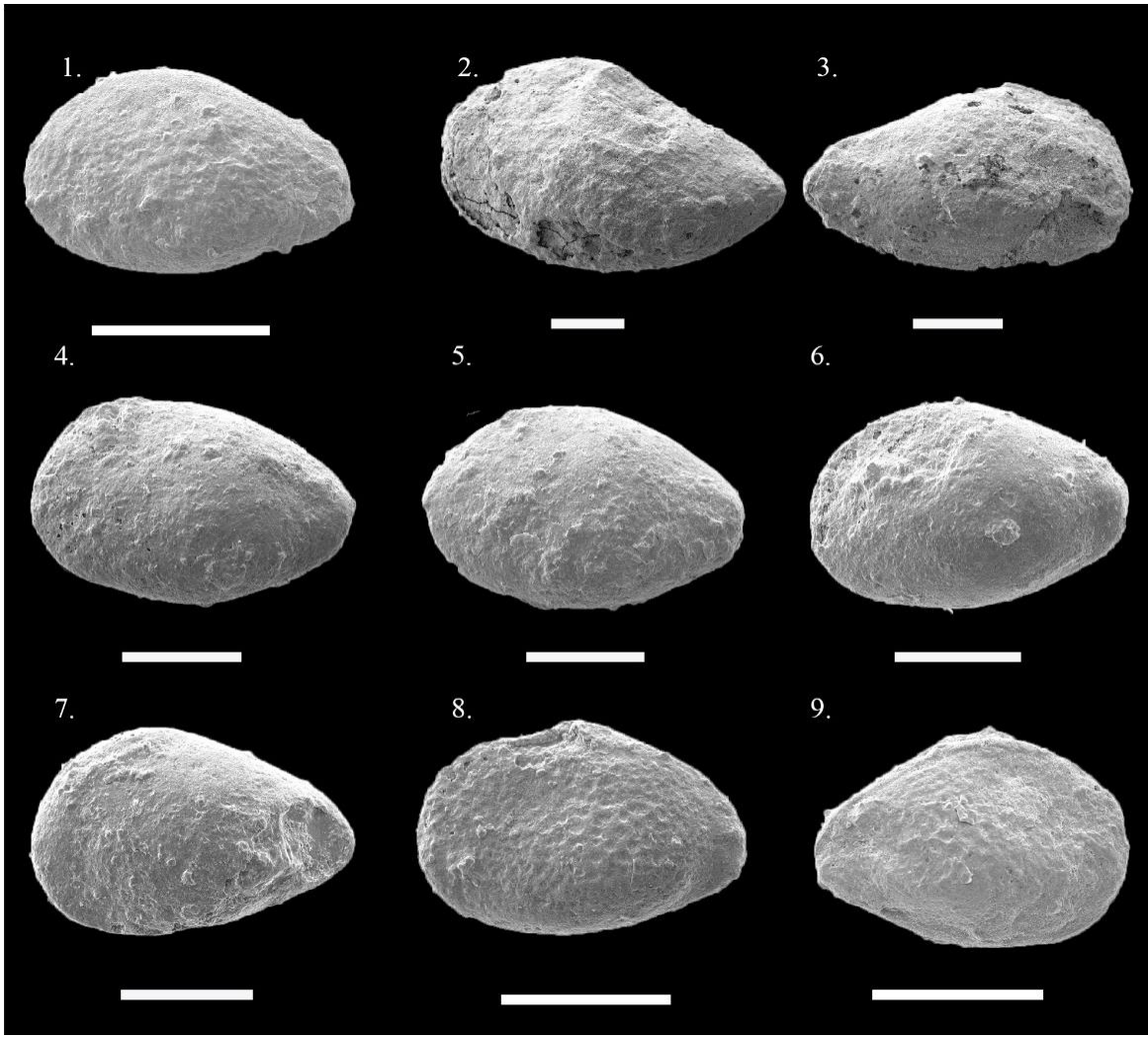
En la sección B únicamente la muestra SBY 5 resultó productiva para microfósiles calcáreos. Se identificaron tres foraminíferos planctónicos de interés bioestratigráfico en el intervalo estudiado (Figura 15 y 16): *Dicarinella primitiva* (92,56-84,19 Ma.), *Pseudotextularia nuttalli* (89,91-66,39 Ma.) y *Globigerinelloides bolli* (89,91-71,75 Ma.) y un género de ostrácodos: *Protobuntonia* spp. (Figura 17), la mayoría de los cuales corresponde a ejemplares juveniles; situando a la Sección B, dentro de un marco bioestratigráfico y biocronológico del Coniaciano-Santoniano en las biozonas (*Dicarinella asymetrica*-*Dicarinella concavata*) de foraminíferos planctónicos (Ogg *et al.*, 2016). (Figura 15).



**Figura 15.** Distribución de marcadores bioestratigráfico y biozonas de la Sección B (SBY5).



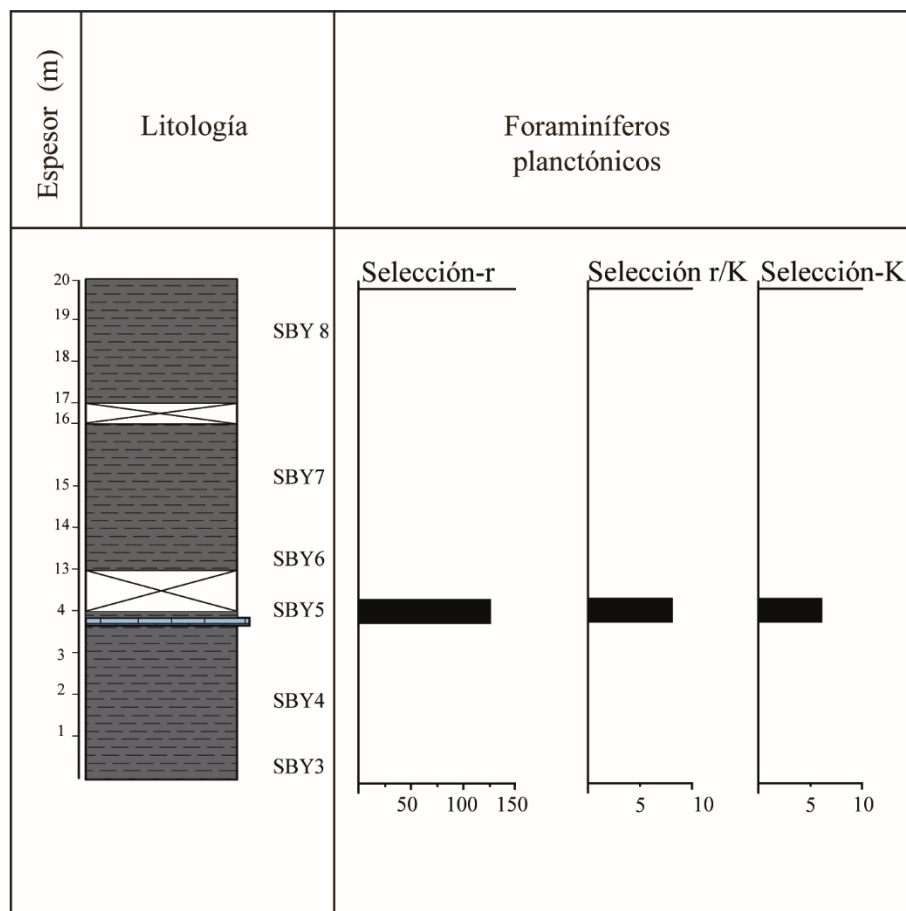
**Figura 16.** Foraminíferos planctónicos marcadores estratigráfico de la Sección B; Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ . **1)** *Dicarinella primitiva* **A)** vista espiral **B)** vista de perfil **C)** vista umbilical; **2)** *Pseudotextularia nuttalli* **A)** vista frontal **B)** vista de perfil; **3)** *Globigerinelloides bolli* **A)** vista frontal **B)** vista de perfil.



**Figura 17.** Ostrácodos de la Sección B: *Protobuntonia* sp. 3 y 9) vista lateral derecha, 1,2,4,5,6,7 y 8) vista lateral izquierda. La escala representa 200  $\mu\text{m}$ .

### 7.2.3. Abundancia de los grupos Selección r, Selección K y Selección r/K.

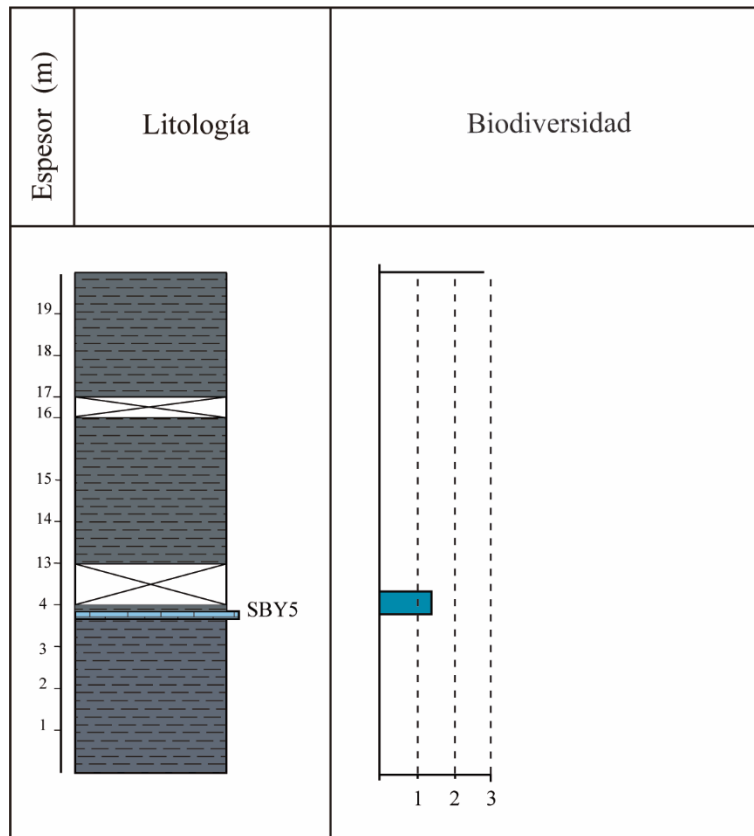
La muestra productiva (SBY5) se encuentra dominada por especies del grupo oportunista (Selección r; 126), mientras que la Selección r/K presenta 8 y Selección K, 6 especímenes. Ver Figura 18.



**Figura 18.** Distribución y abundancia de los foraminíferos planctónicos de los grupos (Selección-r, Selección r/K y Selección-K) encontrados en la Sección B.

#### 7.2.4. Biodiversidad.

En la muestra SBY5 en términos de biodiversidad, se apreció un valor bajo entre 1 y 2.



**Figura 19.** Biodiversidad de las muestras de la Sección B.

### 7.2.5 Distribución y abundancias de los microfósiles calcáreos (foraminíferos y ostrácodos) de la Sección B.

En la sección B se encontraron 10 especies de foraminíferos (ANEXO 3.); en donde se destaca la presencia de especies de las familias de foraminíferos planctónicos: Heterohelicidae, Rugoglobodigerinidae, Globogerinelloididae, Globotruncanidae y de familia de foraminíferos bentónicos: Gavelinellidae.

De lo anteriormente mencionado, las especies del género *Gavelinella* spp. son los especímenes de mayor abundancia y el espécimen que se encuentra con la menor abundancia es *Globotruncana lapparenti*. La preservación de los foraminíferos planctónicos es de moderada a buena.

La fauna de ostrácodos encontrada en la muestra SBY5 se clasificó como *Protobuntonia* sp., *Veenia* (?) sp., *Cytherella* sp., Thachyleberididae indeterminados (Figura 17; Anexo 7). Los especímenes se presentan en caparazones y la preservación es moderada; algunos ejemplares se encontraron recristalizados, rotos y como moldes, debido a la disolución; lo que dificultó la observación de la ornamentación externa parcial o totalmente. De toda la muestra se recuperaron 14 ejemplares, de los cuales 13 se clasificaron como géneros pertenecientes a la familia Trachyleberididae y un género perteneciente a la familia Cytherellidae.



## 8. DISCUSIONES.

### 8.1 MODELO DE EDAD (RANGO TEMPORAL DE LAS SECCIONES ESTUDIADAS).

El primer reporte de edad para las rocas pertenecientes al Grupo Villeta, aflorantes en el Departamento del Putumayo, es el de Royo y Gómez (1941), realizado en las rocas que están expuestas en la carretera entre los municipios de San Francisco y Mocoa; él reporta fósiles de ammonites y bivalvos que fueron clasificados como *Pecten compressus*, *Inoceramus plicatus*, *Oxytropidoceras multifidum*, *Neophlycticeras* (?) *subtuberculatum* y *Neophlycticeras rhombifera*, interpretando una edad del Albiano. Posteriormente Cucalón & Camacho (1966) indican que el Grupo Villeta tiene una edad entre el rango Albiano Medio al Maastrichtiano, en diferentes localidades del Putumayo, esta edad fue dada por los macrofósiles: *Oxytropidoceras multifidum*, *Mortoniceras*, *Neophyeticeras*, *Inoceramus labiatus* y *Exogyra squamata* y los microfósiles: *Virgulina*, *Flanulina*, *Bulimina*, *Guembelina*, *Neobulimia*, *Spiroplectamina*, *Valvulinaria* y *Globigerina*. Además, estudios efectuados por Núñez (2003), con análisis de palinomorfos, establecen un rango de edad para la unidad, desde el Cenomaniano hasta el Santoniano.

En este trabajo, se propone que el rango de edad para la Sección A va desde los 89,91 hasta los 93,52 Ma en el Turoniano, marcado por la FO de *Planoheterohelix praeunatalli* y la LO de *Whiteinella aprica*, identificando las biozonas *H. helvética*- *Marginotruncana schneegansi* (FP) y UC7 (CC11) a UC9 (CC13b) (NC). Además, la LO *prototoheterohelix washitensis* marca el final de la biozona *H. Helveltica* ubicando este intervalo (entre la muestra S12 a S14) en el Turoniano Medio/Inferior, mientras que las biozonas CC12 y CC12-CC13a representadas por la LO de *Eprolithus octopetalus* y la presencia de FO de *Lithastrinus septenarius* y la LO de *Eprolithus moratus* (CC13b) localizan este intervalo (entre la muestra S12 a S1) de la sección en el Turoniano Medio. Para la muestra SBY 5 de la Sección B la edad se extiende desde 84,19 Ma hasta 89,91 Ma entre el Coniaciano y el Santoniano, marcado por la LO de *Dicarinella primitiva* y la FO de *Pseudotextularia nuttalli* y *Globigerinelloides bolli*. A pesar del amplio rango bioestratigráfico de los ostrácodos, la presencia de *Protobuntonia* sp. sugiere un rango de edad, comprendida entre el Cretácico superior al Paleoceno, lo cual apoya la edad general que sugiere la asociación de los foraminíferos; de tal manera las dos secciones estudiadas son coherentes con los intervalos sugeridos por Cucalón & Camacho (1966) y Núñez (2003).

Los microfósiles de edad Albiana recolectados en este estudio (*Ticinella primula*, *Ticinella raynaudi*, *Ticinella raynaudi aperta*, *Ticinella madecassiana*.) y Cretácico Temprano (*Nannoconus circularis* group.) en la sección A, junto con las asociaciones del Cretácico Tardío, sugieren la presencia de material retrabajado en la cuenca, indicando que rocas del Albiano, extra o intra cuenca, ya se encontraban exhumadas para el Turoniano. Esta idea es respaldada por la ocurrencia de rocas albianas en la vía entre San Francisco–Mocoa como lo reportó Royo y Gómez (1941), o modelos como los de Geosearch, 2011 (en Roncancio &

Martínez, 2011), para el Turoniano de la cuenca del Valle Superior del Magdalena, en el que se sugiere que la presencia de rocas de edad Barremiano Superior a Albiano Medio exhumadas para el Turoniano.

A partir de los microfósiles encontrados en la Sección A, se observó que la coherencia de los patrones temporales de los marcadores bioestratigráficos están invertidas respecto al levantamiento inicial de la columna. Debido a la falta de otro criterio de polaridad, se interpreta que la secuencia se encuentra invertida; este hallazgo resalta la importancia del uso de microfósiles calcáreos en el Grupo Villeta como posible solución en el entendimiento estructural en secuencias volcadas e invertidas en las que no sea posible su entendimiento con estructuras sedimentarias.

## 8.2 PALEOECOLOGÍA.

### 8.2.1 Paleotemperatura de las masas de aguas superficiales

La Sección A presentó especímenes de los grupos de Selección-r y Selección r/K, siendo los selectores r predominantes, sin presencia de especímenes de Selección K. El dominio de los selectores r indica masas de aguas superficiales con afinidad a temperaturas frías y un alto contenido de nutrientes (Petrizzo, 2002). Así mismo, la presencia de formas biseriadas es asociadas a aguas someras (Leckie, 1987), lo que resalta un ambiente en el que fue posible el desarrollo de mares epicontinentales en el Turoniano. En la Sección B, representada por la muestra SBY5, se observa un predominio de selectores r y en menor cantidad especímenes de los grupos: intermedio (Selección r/K) y Selección K, por lo tanto, al tener la misma tendencia en selectores r que la sección A, se interpretan condiciones de temperatura similares en las masas de aguas superficiales que para la sección A. Hay que mencionar que estos datos son relativos debido a la baja abundancia y pobre preservación de los microfósiles.

Petrizzo (2002), propone que, en el Cretácico, desde el Cenomaniano al Turoniano Temprano, se presenta un aumento en la temperatura, la cual, alcanza su máximo calentamiento a principios del Turoniano, edad en la que se encuentra la sección A. Esto, sin embargo, no concuerda con la paleotemperatura propuesta para dicha sección. La explicación podría desarrollarse con dos postulados; el primero explicado con condiciones locales con restricción, y con desarrollo de zonas de surgencia (*upwelling*), en la que las masas de aguas profundas son llevadas a superficie logrando una disminución de la temperatura del agua superficial, como ha sido propuesto en el Cretácico Colombiano por Villamil & Arango (1998), por medio de análisis de la población de foraminíferos planctónicos en las secciones Yaguará, Oliní y Mesitas, y también por Patarroyo *et al.* (2017) en la Formación la Luna, a partir de análisis geoquímicos, petrografía orgánica, foraminíferos bentónicos infaunales y planctónicos biseriales. Por otra parte, es posible que el hecho de que los microfósiles presenten una preservación de moderada a pobre y bajos valores de diversidad, genere un sesgo en la interpretación de datos, ya que este efecto puede ser causado por la preservación de que a su vez podría relacionarse con un desarrollo diagenético fuerte de la roca, incluso altas tasas de sedimentación, lo que no permitió obtener un registro completo enmascarando la población real. Por otra parte, pudieron desarrollarse condiciones locales en los medios,

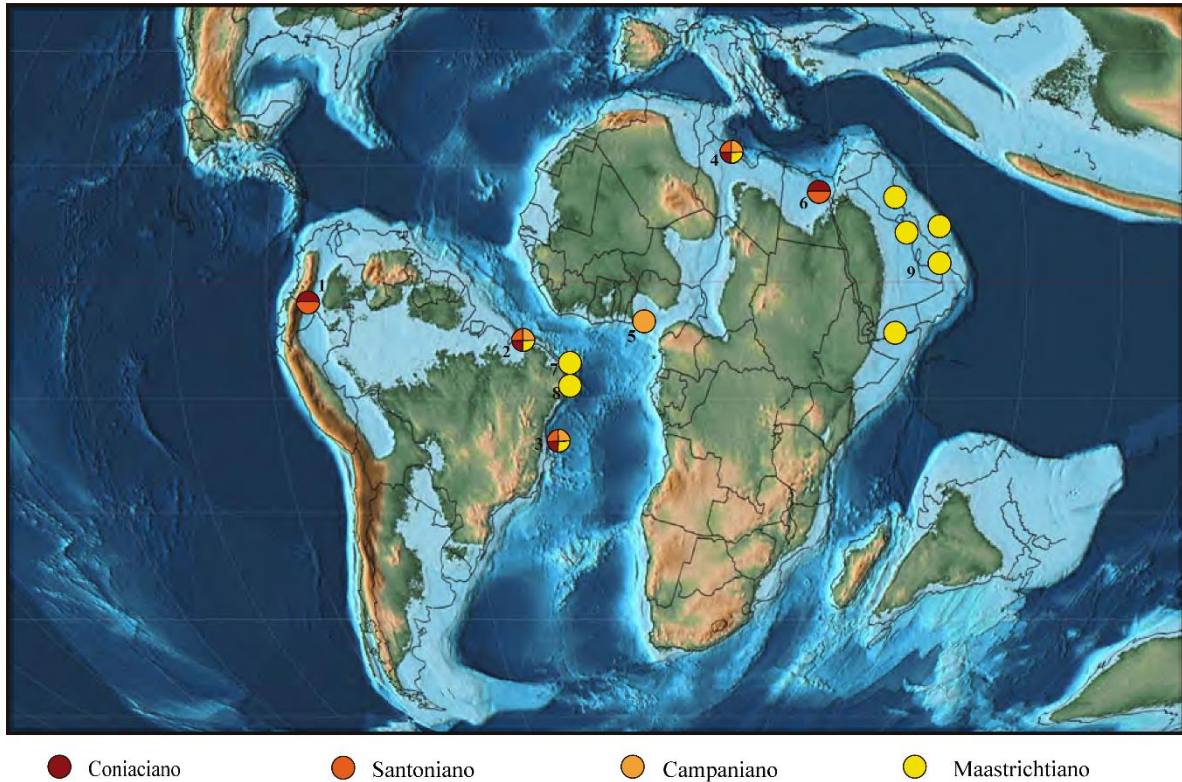
aguas restringidas (?), que pudieron generar reducción en la diversidad y la variabilidad morfológica, con tendencias a morfologías simples como lo propone Leckie (1989) para condiciones similares, es por eso que existe un alto predominio de especímenes pertenecientes a la familia heterohelicidae.

### 8.2.2 Paleobatimetría

Para la Sección B se plantea un ambiente batimétrico nerítico, debido a la asociación formada entre foraminíferos bentónicos de género *Gavelinella* sp. ( Koutsoukos *et al.*, 2000; Dubicka & Peryt, 2014) y el ostrácodo *Protobuntonia* sp. (Piovesan *et al.*, 2009). Además la presencia de *Protobuntonia* sp. indica un ambiente marino plataformal de salinidad normal (Babinot & Colin, 1988). Estos datos paleobatimétricos son similares a los ya reportados para el Grupo Villeta; por ejemplo Noyau & Osorio (2000), quienes proponen que la Formación Villeta se depositó en un ambiente anóxico de plataforma interna y externa. De la misma manera. Sarmiento & Rangel (2004), relacionan las secuencias comprendidas entre el Cenomaniano-Coniaciano Tardío con una sedimentación en ambientes de plataforma proximal y distal, específicamente para Shale de Bambuca y la Formación La Luna.

### 8.2.3 Paleogeografía

La presencia del género *Protobuntonia* sp. ha sido documentado en cuencas del noreste brasileño, África y Medio Oriente (Figura 21; Barros *et al.*, 2018; Fauth, 2005; Emami, 1988; Morsi, 2000), siendo utilizado para relaciones paleogeográficas entre esos lugares durante el Campaniano-Maastrichtiano (Emami, 1988). Normalmente se ha considerado como un fauna típicamente “Africana” por autores como Babinot & Colin (1988), a pesar de que la relación paleogeográfica de este género entre Sur América y África aún no ha sido lo suficientemente estudiada. Por ejemplo Seeling *et al.* (2004), lo ubican en grupos de unidades paleogeográficas (PBU) tropicales entre el oeste africano y el noreste suramericano para el Campaniano, La ocurrencia de este género en el Grupo Villeta indica una posible conexión paleobiogeográfica con las cuencas marginales de Sur América, África y quizá el Medio Oriente (Figura 20).



**Figura 20.** Mapa paleobiogeográfico de *Protobuntonia* (mapa del Coniaciano modificado; Scotese, 2014). **1.** *Protobuntonia* sp, zona de estudio de este trabajo; **2.** *Protobuntonia* sp, cuenca de Sergipe, Coniaciano-Maastrichtiano, (Viviers *et al.*, 2000); **3.** *Protobuntonia* sp, cuenca de Ceará, Coniaciano-Maastrichtiano, (Viviers *et al.*, 2000); **4.** *Protobuntonia* sp, Nigeria, Coniaciano-Maastrichtiano, (Babinot & Colin, 1988); **5.** *Protobuntonia* sp, Golfo de Guinea, Campaniano, (Khan, 1970) en Seeling *et al.* (2004); **6.** *Protobuntonia nakkadi*, Este-central de Sinai, Santoniano-Coniaciano, (Morsi, 2000); **7.** *Protobuntonia glabra* Cuenca Pernambuco-Paraíba, Maastrichtiano, (Fauth *et al.*, 2005); **8.** *Protobuntonia glabra* - *Protobuntonia punctatum*, Cuenca Paraíba, Maastrichtiano, (Barros *et al.*, 2018); **9.** *Protobuntonia numídica*, Norte de África y Oeste del medio este, Maastrichtiano, (Luger, 2003).

## 9. CONCLUSIONES.

- Se reconocieron 22 especies de foraminíferos planctónicos, 1 género de foraminíferos bentónicos, 8 especies de nanofósiles calcáreos, y 3 géneros de ostrácodos en 8 muestras obtenidas de 2 secciones aflorantes que pertenecen al Grupo Villeta, localizada en la vía que comunica al municipio de San Francisco con Mocoa.
- Las asociaciones de foraminíferos planctónicos, junto con nanofósiles calcáreos encontrados en la Sección A comprenden un marco temporal asociado al Turoniano entre los 89,91 Ma y 93,52 Ma. Además, la edad de la muestra productiva de la Sección B sugiere una edad entre 84,19 Ma y 89,91 Ma (Coniaciano – Santoniano).
- El índice de biodiversidad y el dominio de foraminíferos de Selección r en ambas secciones sugieren regímenes de baja estabilidad en la columna de agua debido, posiblemente, a una alta cantidad de nutrientes.
- Mediante la bioestratigrafía se determinó una polaridad inversa para la Sección A.
- La relación entre de ostrácodos (*Protobuntonia* sp) y foraminíferos bentónicos (*Gavelinella* sp) se relaciona a ambientes batimétricos de las zonas nerítica para la Sección B.
- La presencia de *Protobuntonia* sp. indica una asociación paleogeográfica tropical, con conexiones posibles hacia el este de Sur América, África y tal vez Medio Oriente.
- En este trabajo se reportan por primera vez la presencia de nanofósiles calcáreos y ostrácodos para el Grupo Villeta aflorante en el Departamento del Putumayo.

## 10. REFERENCIAS.

- Amaya, C. A., & Centanario, J. (1997). Ambiente Depositional y Modelamiento del yacimiento Caballos en el Campo Orito, Cuenca Putumayo, Colombia. Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo (ACGGP), 26–29.
- Armstrong, H., & Brasier, M. (2005). *Microfossils*. Malden, MA: Blackwell Pub
- Babinot, J.-F., & Colin, J.-P. (1988). Paleobiogeography of Tethyan Cretaceous Marine Ostracods. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 11, 823–839.
- Baltanás, A., & Mesquita-Joanes, F. (2015). Orden Podocopida. *Revista IDE@*, 74, 1–10.
- Barrera, E., Savin, S. M., Thomas, E., & Jones, C. E. (1997). Evidence for thermohaline-circulation reversals controlled by sea-level change in the latest Cretaceous. *Geology*, 25(8), 715.
- Barros, C., Piovesan, E. K., & Oliveira Agostinho, S. M. (2018). Cretaceous-Paleogene ostracods from the Paraíba Basin, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 83, 117–136.
- Bellier, J.-P., Mathieu, R., & Granier, B. (2010). *Short Treatise on Foraminiferology (Essencial on modern and fossil Foraminifera)*.
- Benson, R. H., Berdan, J. M., Van Den Bold, W. A., Hanai, T., Hessland, I., Howe, H. V., ... Wainwright, J. (1961). (Q) Arthropoda 3. En R. C. Moore (Ed.), *Treatise on invertebrate paleontology* (p. 442).
- Blau, J., Vergara, L., & Stock, H. W. (1992). First planktonic foraminifera from the Early Cretaceous (Albian) of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3), 191–206.
- Boltovskoy, E., & Wright, R. (1976). Recent Foraminifera. *Micropaleontology*, 23, 1-515.
- Boudagher-Fadel, M. (2015). *Biostratigraphic and Geological Significance of Planktonic Foraminifera*. London: UCL Press.
- Bown, P. R. (1998). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. Chapman and Hall; Kluwer Academic.

Bown, P. R., Lees, J. A., & Young, J. R. (2004). Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time. En *Coccolithophores* (pp. 481–508).

Burnett, J. A., Gallagher, L. T., & Hampton, M. J. (1998). Upper Cretaceous. En P. R. Bown (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy* (pp. 132–199).

Carignano, A. P., & Ballent, Y. S. (2009). Microfósiles (Foraminifera, Ostracoda) y su respuesta a las variaciones paleoambientales. Un ejemplo en la Formación Alien (Cretácico Superior), Cuenca Neuquina, Argentina. *Ameghiniana*, 46(2), 307–320.

Caron, M., & Homewood, P. (1983). Evolution of early planktic foraminifers. *Marine Micropaleontology*, 7(6), 453–462.

Cucalon, I., & Camacho, R. (1966). *Compilación geológica de la cuenca del Putumayo. Informes técnicos.* Servicio Geológico Nacional-Ingeominas.

Dubicka, Z., & Peryt, D. (2014). Classification and evolutionary interpretation of late Turonian-early Campanian *Gavelinella* and *Stensioeina* (Gavelinellidae, Benthic Foraminifera) from Western Ukraine. *Journal of Foraminiferal Research*, 44(2), 151–176.

Emami, V. (1988). A new species of *Protobuntonia* Grekoff (Ostr., Crust.) from the upper cretaceous of Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 7(1), 213–218.

Etayo-Serna, F., Renzoni, G. & Barrero, D. 1976. Contornos Sucesivos del mar cretáceo en Colombia. *Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología*, 217-252

Fauth, G. (2005). Campanian (Upper Cretaceous) ostracods from southern James Ross Island, Antarctica. *Micropaleontology*, 49(1), 95–107.

Fauth, G., Colin, J.-P., Koutsoukos, E. A. M., & Bengtson, P. (2005). Cretaceous–Tertiary boundary ostracodes from the Poty quarry, Pernambuco, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 19(3), 285–305.

Flores, J.-A., & Sierro, F. J. (2013). Paleooceanography, Biological proxies | Coccolithophores. *Encyclopedia of Quaternary Science*, 783–794.

Gebhardt, H. (1999). Cenomanian to Coniacian biogeography and migration of North and West African ostracods. *Cretaceous Research*, 20(2), 215–229.

Hallock, P. (1985). Why are Larger Foraminifera Large?. *Paleobiology*, 11(2), 195–208.

Hart, M. B. (1999). The evolution and biodiversity of Cretaceous planktonic foraminifera. *Geobios*, 32(2), 247–255.

Holmes, J. A. (2001). 7. Ostracoda. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, 4, 125–151.

INGEOMINAS, & Geoestudios. (1998). *Geología de la Plancha 430 - Mocoa*. Informes técnicos. Servicio Geológico Nacional-INGEOMINAS.

Núñez, A., & Gómez, A. (1998). *Geología de la plancha 430 Mocoa*. Escala 1:100000. INGEOMINAS & Geoestudios. Bogotá

Jones, R. W. (2014). *Foraminifera and their Applications*. Cambridge: University Press.

Koutsoukos, E. A. M., & Merrick, K. A. (1986). Foraminiferal paleoenvironments from the Barremian to Maestrichtian of Trinidad, W.I. *Transactions of the First Geological Conference of the Geological Society of Trinidad & Tobago*, (July 1985), 85–101

Koutsoukos, E. A. M., & De Klasz, I. (2000). Late Cretaceous foraminiferal biogeography (Families Bolivinidae, Buliminellidae, Gavelinellidae, Siphogenerinoididae, Turritinidae) in northeastern Brazilian shelf and central West African basins. *Cretaceous Research*, 21(2–3), 381–405.

Leckie, R. M. (1987). Paleocology of Mid-Cretaceous Planktonic Foraminifera: A Comparison of Open Ocean and Epicontinental Sea Assemblages. *Micropaleontology*, 33(2), 164-176.

Leckie, R. M. (1989). A paleoceanographic model for the early evolutionary history of planktonic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 73(1–2), 107–138.

León, L. (2002). *Estudio Micropaleontológico y bioestratigráfico con base en foraminíferos planctónicos de las “Calizas del Tetuán, Grupo Villeta”, Valle Superior del Magdalena, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Luger, P. (2003). Paleobiogeography of late early cretaceous to early paleocene marine ostracoda in Arabia and North to Equatorial Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 196(3–4), 319–342.

Martinez, J. I. (2003). The Paleocology of Late Cretaceous Upwelling Events from the Upper Magdalena Basin, Colombia. *Palaios*, 18(4–5), 305–320.



Mora, A., Venegas, D., & Vergara, L. (1998). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario Inferior en el Sector Norte de la Cuenca del Putumayo, Departamento del Caquetá, Colombia. *Geología Colombiana*, 23(23), 31–77.

Morsi, M. M. (2000). Senonian ostracodes from East-Central Sinai, Egypt; biostratigraphic and paleobiogeographic implications. *Revue de Micropaléontologie*, 43(1), 47–70.

Neale, J. W. (1977). Cretaceous Ostracoda of the North Atlantic Basin. *Paleontology and Stratigraphy*, 6, 245-270.

Nogueira, A. A. E., & Nogueira, A. C. R. (2017). Ostracods biostratigraphy of the Oligocene-Miocene carbonate platform in the Northeastern Amazonia coast and its correlation with the Caribbean region. *Journal of South American Earth Sciences*, 80, 389–403.

Noyau, A., & Osorio, C. (2000). Evidence of Two Oil Pulses by Biomarker Analysis and Modelling (Upper Magdalena Basin, Colombia). *European Association of Geoscientists & Engineers, Conference(7th Simposio Bolivariano-Exploración petrolera en las cuencas)*, 547–558.

Núñez, A. (2003). Memoria explicativa del reconocimiento geológico regional de las planchas 411 La Cruz, 412 San Juan de Villalobos, 430 Mocoa, 431 Piamonte, 448 Monopamba, 449 Orito Y 465 Churuyaco. Escala 1: 100000. INGEOMINAS. Bogotá

Núñez, A., Fuquen, J. A., & Ruiz, S. (2003). Memoria explicativa de geología, recursos geológicos y amenazas geológicas del Departamento del Putumayo. Escala 1:400000. INGEOMINAS. Bogotá.

Ogg, J. G., Ogg, G. M., & Gradstein, F. M. (2016). Cretaceous. En *A Concise Geologic Time Scale* (Vol. 6, pp. 167–186).

Patarroyo G. D., Ceolin D., Fauth G., Torres GA, Cárdenas CP, Rincón DA (2019) Foraminíferos béticos del Cretácico Inferior y Ostracods de la cuenca media del Magdalena, Colombia: Inferencias bioestratigráficas y paleoambientales. En: Cusminsky G., Bernasconi E., Concheyro G. (eds) *Avances en la micropaleontología sudamericana* (pp 21-45)

Patarroyo, G. D., Torres, G. A., Rincón, D. A., Cárdenas, C. P., & Márquez, R. E. (2017). Bioestratigrafía e inferencias paleoambientales de las asociaciones de foraminíferos en las formaciones cretácicas la Luna-Colón (Cuenca del Catatumbo, Colombia). *Revista Boletín de Geología*, 39(3), 25–40.

- Petrizzo, M. R. (2002). Palaeoceanographic and palaeoclimatic inferences from Late Cretaceous planktonic foraminiferal assemblages from the Exmouth Plateau (ODP Sites 762 and 763, eastern Indian Ocean). *Marine Micropaleontology*, 45(2), 117–150.
- Perch-Nielsen, K. (1985). Mesozoic calcareous nannofossils. En H. M. Bolli, J. B. Saunders, & K. Perch-Nielsen (Eds.), *Plankton Stratigraphy* (pp. 329–426).
- Pérez, J. P., Parra, F. J., Navarrete, R. E., Sánchez, C., Daza, D., Rodriguez, M., & Prince, M. (2019). Turonian–Santonian Calcareous Nannofossil Biozonation for La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Northern Colombia. En *Advances in South American Micropaleontology* (pp. 46–66).
- Piovesan, E. K., Fauth, G., & Bergue, C. T. (2009). Cretaceous ostracodes from Pará-Maranhão Basin, Brazil. *Revue de Paléobiologie*, 28, 437–456.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia*, 31(1), 583–590.
- Premoli, I., & Sliter, W. V. (1999). Cretaceous paleoceanography: Evidence from planktonic foraminiferal evolution. *Geological Society of America*, 301–328.
- Premoli, S., & Verga, D. (2004). *Practical Manual of Cretaceous Planktonic Foraminifera*. International School on Planktonic Foraminifera, 3<sup>o</sup> Course: Cretaceous. Universities of Perugia and Milan
- Rio, D., Fornaciari, E., & Raffi, I. (1990). Late Oligocene through Early Pleistocene Calcareous Nannofossils from Western Equatorial Indian Ocean (Leg 115). En *Proceedings of the Ocean Drilling Program, 115 Scientific Results* (Vol. 115, pp. 175–235).
- Robertson, K., Flórez, A., & Ceballos, J. L. (2002). Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 11(1–2), 37–76.
- Rodriguez-Lazaro, J., & Ruiz-Muñoz, F. (2012). A General Introduction to Ostracods: Morphology, Distribution, Fossil Record and Applications. En *Developments in Quaternary Science*, 17, 1–14.
- Rodríguez, G., Arango, M. I., Zapata, G., & Bermúdez, J. G. (2016). Formación Saldaña Cordilleras Central y Oriental Departamentos de Tolima, Huila, Cauca y Putumayo. En *catálogo de unidades litoestratigráficas de Colombia* (pp. 1–60).

Rodríguez, G., Zapata, G., & Bermúdez, J. G. (2015). Características petrográficas, geoquímicas y edad U-Pb de los plutones jurásicos del Valle Superior del Magdalena. Conferencia. Servicio Geológico Colombiano.

Roncancio, J., & Martínez, M. (2011). Upper Magdalena Basin. En F. Cediél & F. Colmenares (Eds.), *Petroleum geology of Colombia* (Vol. 14, pp. 1–182).

Royo y Gómez, J. (1941). *Ensayo de geología económica de Nariño y Alto Putumayo*. Informes técnicos Bogotá: Ministerio de Minas y Petróleos.

Sarmiento, L. F., & Rangel, A. (2004). Petroleum systems of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Marine and Petroleum Geology*, 21(3), 373–391.

Scotese, C. R. (2014). Atlas of Early Cretaceous Paleogeographic Maps, PALEOMAP Atlas for ArcGIS , volume 2 , The Cretaceous , Maps 23 - 31 ,. 2(May).

Seeling, J., Colin, J. P., & Fauth, G. (2004). Global Campanian (Upper Cretaceous) ostracod palaeobiogeography. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 213(3–4), 379–398.

Sepkoski, J. J. (2000). the marine fossil record. *Contributions to Zoology*, 69(4), 213–222.

Servicio Geológico Colombiano. (2013). *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa*. Plancha 430. Escala 1:100.000. Bogotá.

Shamrock, J. L., Muñoz, E. J., & Carter, J. H. (2015). An improved sample preparation technique for calcareous nannofossils in organic-rich mudstones. *Journal of Nannoplankton Research*, 35(2), 1–10.

Smith, A. J., & Park, L. E. (2003). An introduction to ostracoda. *paleontological society papers*, 9, 11–18.

Verbeek, J. W. (1977). Calcareous nannoplankton biostratigraphy of Middle and Upper Cretaceous deposits in Tunisia, Southern Spain and France. *Utrecht micropaleontological bulletins*, 16, 5–298.

Vergara, L., Rodríguez, G., Martínez, I., Rodríguez, G., & Martínez, I. (1997). Agglutinated Foraminifera and Sequence Stratigraphy from the Chipaque Formation (Upper Cretaceous) of El Crucero Section, Colombia, South America. *Micropaleontology*, 43(2), 185

Velandia, F., Acosta, J., Terraza, R., & Villegas, H. (2005). The current tectonic motion of the Northern Andes along the Algeciras Fault System in SW Colombia. *Tectonophysics*, 399(1–4), 313–329.

Villamil, T. (1998). Chronology relative sea level history and a new sequence stratigraphic model for turbidite deposits These Caqueza dynamics and depositional history Stratigraphic Concepts stratigraphic interpretations, Paleogeographic evolution and non-glacial eustacy, northern South America: *Society for Sedimentary Geology*, 58,161- 216.

Villamil, T., & Arango, C. (1998). Integrated stratigraphy of Latest Cenomanian and Early Turonian facies of Colombia, Paleogeographic evolution and non-glacial eustacy, northern South America: *Society for Sedimentary Geology*, 58, 129-159.

Viviers, M. C., Koutsoukos, E. A. M., da Silva-Telles, A. C., & Bengtson, P. (2000). Stratigraphy and biogeographic affinities of the late Aptian–Campanian ostracods of the Potiguar and Sergipe basins in northeastern Brazil. *Cretaceous Research*, 21(2–3), 407-455.

Young, J. R., Bergen, J. A., Bown, P. R., Burnett, J. A., Fiorentino, A., Jordan, R. W., Kleijne, A., Niel, B. E., Romein, A. J., Salis, K. (1997). Guidelines for coccolith and calcareous nannofossil terminology. *Palaeontology*, 40(4), 875–912.

Young, J. R., Geisen, M., Cros, L., Kleijne, A., Sprengel, C., Probert, I., & Østergaard, J. (2003). A guide to extant coccolithophore taxonomy. *Journal of Nannoplankton Research*, (Special Issue 1), 125.

Zapata-García, G., Rodríguez-García, G., & Arango-Mejía, M. I. (2017). Petrography, geochemistry and geochronology of metamorphic rocks outcropping in San Francisco Putumayo and the Palermo-San Luis road associated with the La Cocha - River Tellez and Aleluya complexes. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 41, 48–65.

#### Referencias web

Young, J.R., Wade, B.S., & Huber B.T. (2017a). pforams@mikrotax website.URL: <http://www.mikrotax.org/pforams>

Young, J.R., Bown P.R., Lees J.A. (2017b). Nannotax3 website. International Nannoplankton Association. URL: <http://www.mikrotax.org/Nannotax3>

## ANEXOS.

### ANEXO 1. Cuento de foraminíferos planctónicos de la Sección A.

Especies	Muestras													
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
Heterohelicidae spp.	14	0	0	4	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0
<i>Planoheterohelix globulosa</i>	160	0	0	0	8	5	0	58	0	0	0	25	0	15
<i>Planoheterohelix</i> cf. <i>P. globulosa</i>	1	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	4	0	10
<i>Planoheterohelix paraglobulosa</i>	57	0	0	0	0	0	0	89	0	0	0	20	0	5
<i>Planoheterohelix</i> cf <i>P.paraglobulosa</i>	12	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	9	0	7
<i>Planoheterohelix praunatalli</i>	45	0	0	0	12	3	0	2	0	0	0	11	0	7
<i>Planoheterohelix</i> cf <i>P. praunatalli</i>	10	0	0	4	1	3	0	3	0	0	0	1	0	4
<i>Planoheterohelix</i> cf. <i>P. reussi</i>	8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	1
<i>Protoheterohelix</i> sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoheterohelix washitensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Protoheterohelix</i> cf. <i>P. washitensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6
<i>Laeviheterohelix</i> cf. <i>L. pulchra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Planoheterohelix</i> cf. <i>P. postmoremani</i>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Heterohelix</i> cf. <i>H. americana</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Laeviheterohelix pulchra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Hedbergellidae spp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Whiteinella</i> sp.	24	0	0	3	2	4	0	73	0	0	0	0	0	22
<i>W. aprica</i>	47	0	0	1	20	0	0	2	0	0	0	0	0	28
<i>Whiteinella</i> cf. <i>W. aprica</i>	14	0	0	4	4	1	0	4	0	0	0	2	0	2

<i>W.archeocretacica</i>	2	0	0	2	1	1	0	2	0	0	0	2	0	2
<i>Whiteinella</i> cf. <i>W archeocretacica</i>	2	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	3
<i>W.baltica</i>	14	0	0	0	4	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Whiteinella</i> cf. <i>W.baltica</i>	8	0	0	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0	2
<i>Muricohedbergella angolae</i>	0	0	0	2	4	1	0	26	0	0	0	0	0	12
<i>Muricohedbergella crassa</i>	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Blefucusiana</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Microhedbergella</i> cf. <i>M.pseudodelrioensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Muricohedbergella</i> cf. <i>M.angolae</i>	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2
<i>Whiteinella</i> cf. <i>W baltica</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ticinella</i> cf. <i>T madecassiana</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hedbergella</i> cf <i>H tuniensis</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Hedbergella tuniensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Ticinella madecassiana</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ticinella raynaudi aperta</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ticinella raynaudi</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ticinella primula</i>	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ticinella</i> sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinelloides</i> sp.	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ticinella</i> cf. <i>Traynaudi</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hedbergalle</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hedbergella</i> cf. <i>H. gorbachikae</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clavihedbergella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Clavihedbergella</i> cf. <i>C amabilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Microhedbergella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Indeterminados	120	0	0	6	12	3	0	3	0	4	0	4	0	3
TOTAL	594	0	0	28	79	30	0	298	0	4	0	89	0	139

ANEXO 2. Abundancias relativas y preservación de las especies de nanofósiles calcáreos en la Sección A.

PERIODO	EPOCA	PISO	Grupo	Muestra de roca	Preservación	Abundancia	<i>Lithastrinus septenarius</i>	<i>Eprolithus moratus</i>	<i>Eprolithus octopetalus</i>	<i>Eprolithus floralis</i>	<i>Quadrum cf. gartneri</i>	<i>Quadrum</i> spp.	<i>Eiffelithus</i> spp.	<i>Eiffelithus eximius</i>	<i>Watznaueria fossacincta</i>	<i>Watznaueria barnesae</i>	<i>Retacapsa</i> spp.	<i>Zeugrhabdotus</i> spp.	<i>Prediscosphaera</i> spp.	<i>Nannoconus circularis</i> group		
CRETÁCICO	SUPERIOR	TURONIANO	GRUPO VILLETA	S14	M	A	0	0	0	0	R	R	R	0	A	A	A	R	R	R		
				S13	M	R	0	R	0	R	R	0	0	0	0	R	R	0	R	0	0	
				S12	ESTERIL																	
				S11	P	R	0	R	0	0	0	0	0	0	0	0	R	R	0	R	0	0
				S10	ESTERIL																	
				S9	B	C	0	0	C	P	R	R	0	R	0	R	C	C	C	0	C	R
				S8	ESTERIL																	
				S7	ESTERIL																	
				S6	P	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R	R	0	0	0	0
				S5	P	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R	R	0	0	0	0
				S4	B	C	0	C	0	C	0	R	R	0	R	0	C	R	0	0	C	0
				S3	ESTERIL																	
				S2	P	R	0	0	0	0	0	0	P	0	0	0	P	P	0	0	P	0
				S1	P	P	R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P	P	P	0	P	0

**ANEXO 3.** Conteo de foraminíferos de la Sección B

Muestra	SBY5
Especies	Conteo
<i>Heterolicidae</i> spp.	13
<i>Planoheterohelix</i> sp	21
<i>Planoheterohelix globulosa</i>	4
<i>Planoheterohelix reussi</i>	7
<i>P. cf. P. globulosa</i>	1
<i>P. paraglobulosa</i>	6
<i>P. cf. P. paraglobulosa</i>	13
<i>P.cf P. praunatalli</i>	2
<i>H. cf. H. stenops</i>	1
<i>Pseudotextularia nuttalli</i>	4
<i>Ventilabrella eggeri</i>	2
<i>Archeoglobigerina cretacea</i>	7
<i>Globigerinelloides</i> sp.	25
<i>Globigerinelloides bolli</i>	21
<i>Marginotruncanta</i> sp.	2
<i>Dicarinella primitiva</i>	5
<i>Globigerinelloides ehrenbergi</i>	2
<i>Globotruncana lapparenti</i>	1
<i>Gavelinella</i> spp.	122
Indeterminados	7
Total	266



**ANEXO 4.** Material fotográfico de los foraminíferos encontrados en la Sección A.

Lamina 1

1. a-b-c *Whiteinella archeocretacea*
2. a-b-c *Whiteinella baltica*
3. a-b-c *Whiteinella aprica*
4. a-b-c *Planoheterohelix globulosa*
5. a-b-c *Planoheterohelix praeunatalli*

Lamina 2

1. a-b-c *Planoheterohelix cf. P postmoremani*
2. a-b-c *Planoheterohelix reussi*
3. a-b-c *Lavieheterohelix sp*
4. a-b-c *Protoheterohelix washitensis*
- 5.a-b-c *Planoherohelix paraglobulosa*

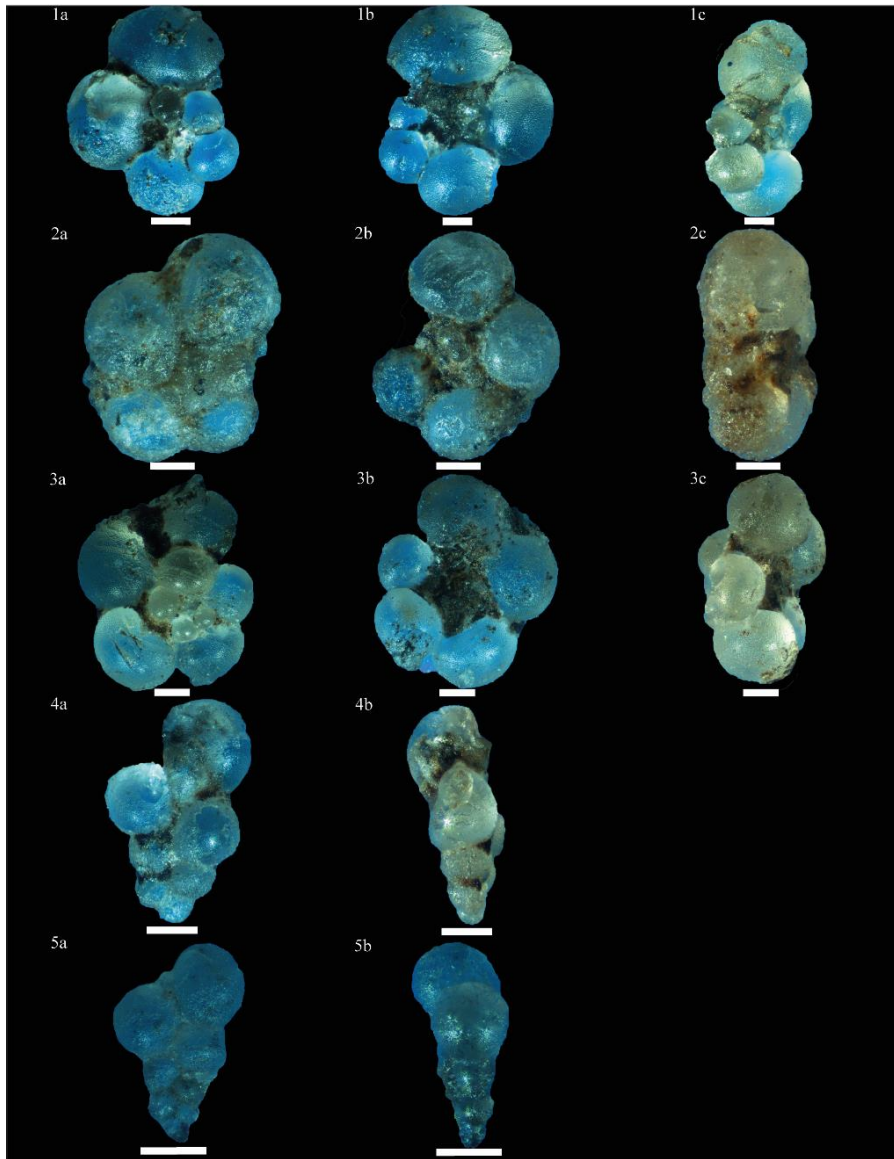
Lamina 3

- 1 a-b-c *Heterohelix cf. H americana*
- 2 a-b-c *Muricohedbergella angolae*
- 3 a-b-c *Hedbergella tunisiensis*
- 4 a-b-c *Muricohedbergella crassa*
- 5 a-b-c *Microhedbergella pseudodelrioensis*

Lamina 4

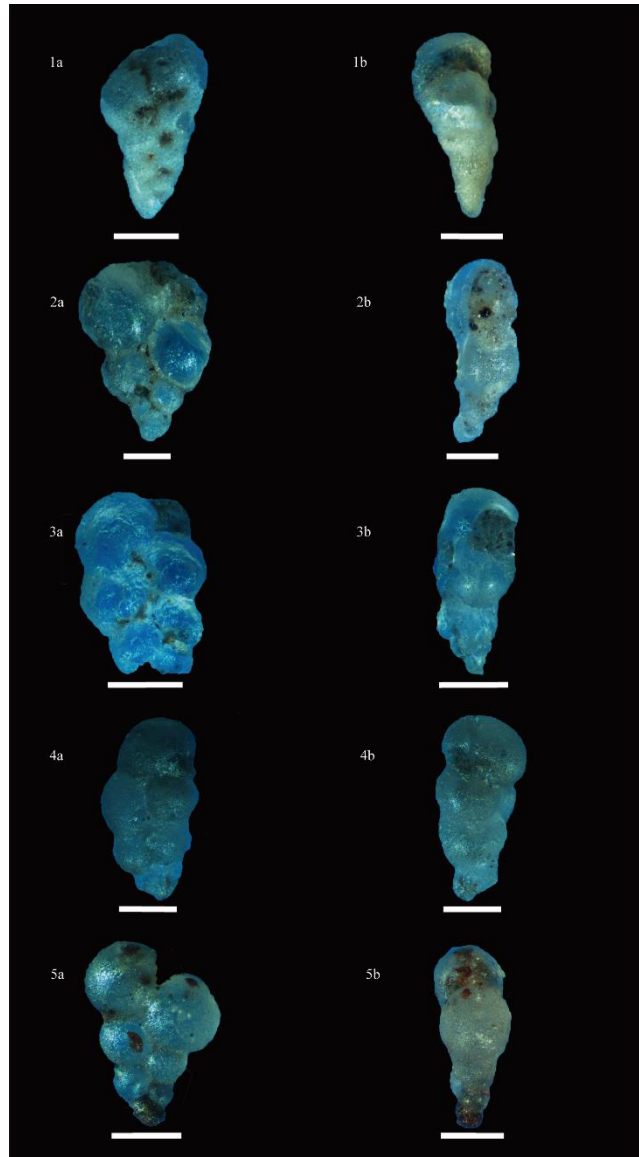
- 1 a-b-c *Ticinella cf. T madecassiana*
- 2 a-b-c *Ticinella raynaudi*
- 3 a-b-c *Ticinella primula*

LAMINA 1



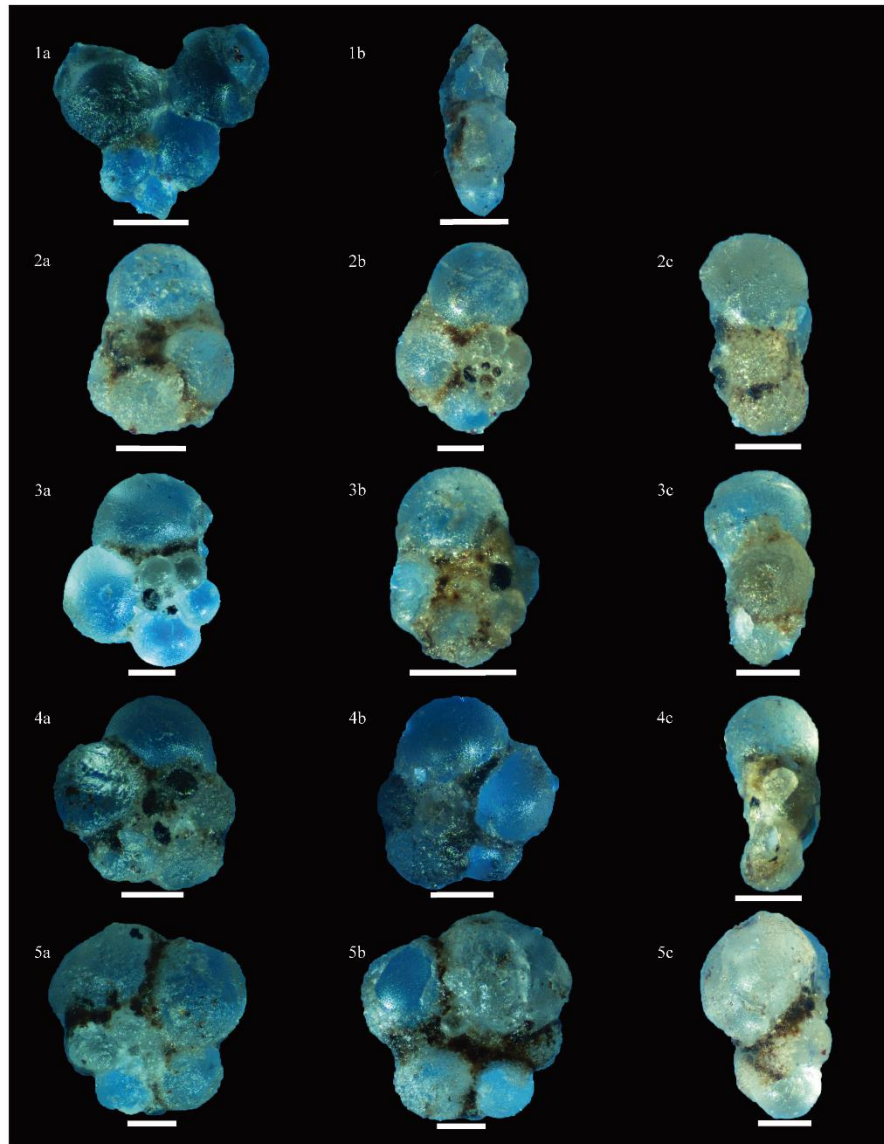
Barra de escala: 100  $\mu$ m.

LAMINA 2



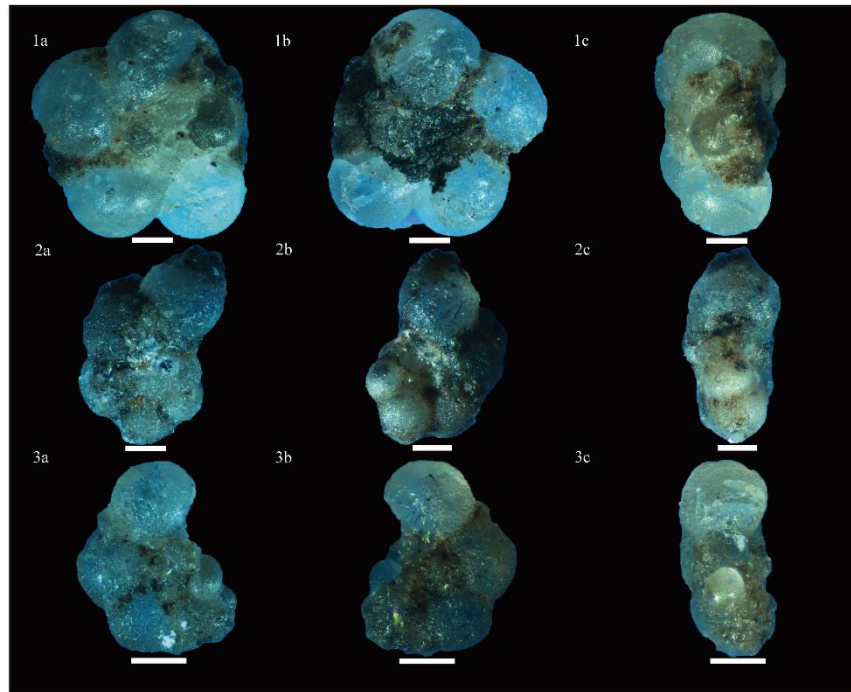
Barra de escala: 100  $\mu$ m.

LAMINA 3



Barra de escala: 100  $\mu$ m.

LAMINA 4



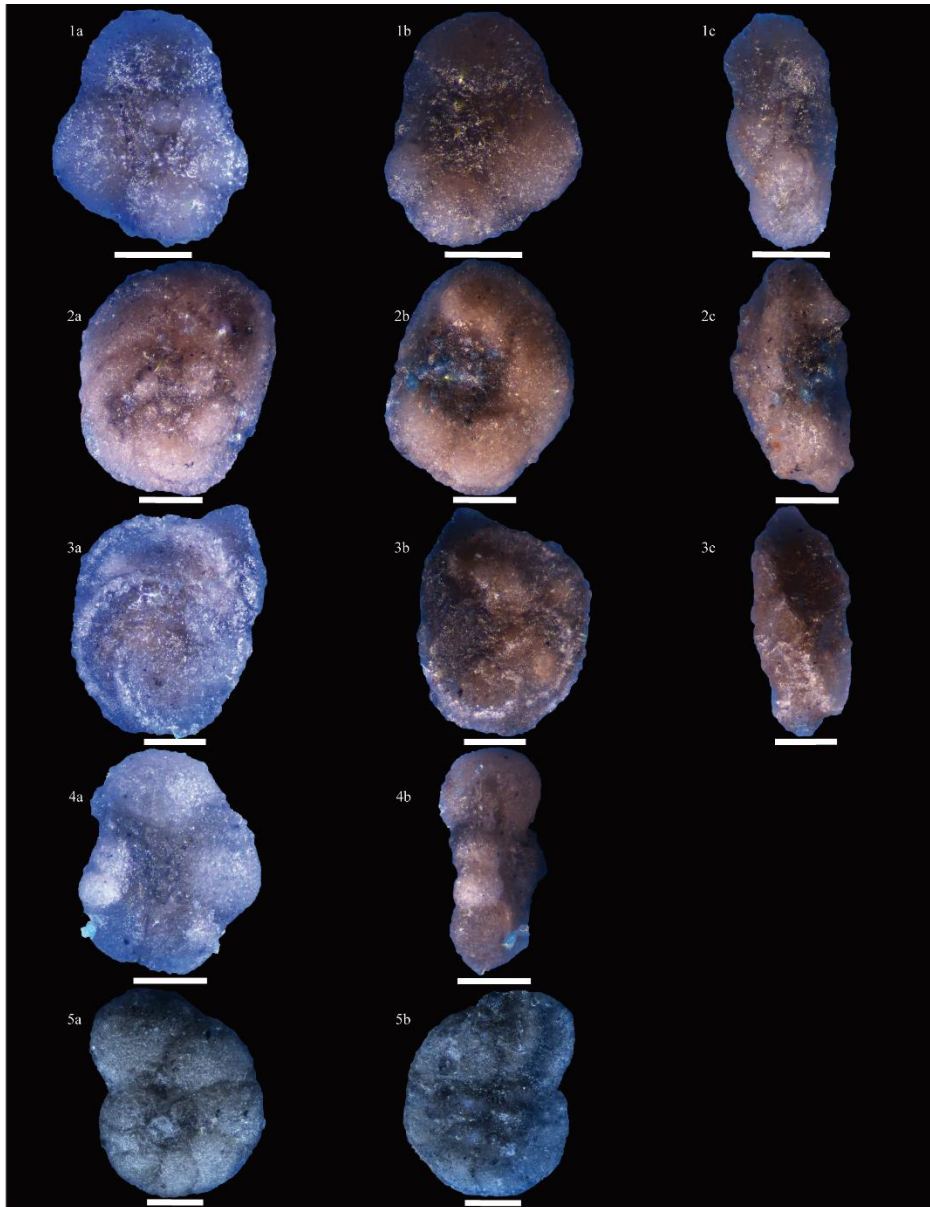
Barra de escala: 100  $\mu$ m.

**ANEXO 5.** Material fotográfico de los foraminíferos encontrados en la Sección B.

Lamina 5

1. a-b-c *Archeoglobigerina bolli*
2. a-b-c *Dicarinella primitiva*
3. a-b-c *Globotruncana laparenti*
4. a-b-c *Globigerinelloides bolli*
5. a-b-c *Gavelinella* sp.

LAMINA 5.



Barra de escala: 100  $\mu$ m

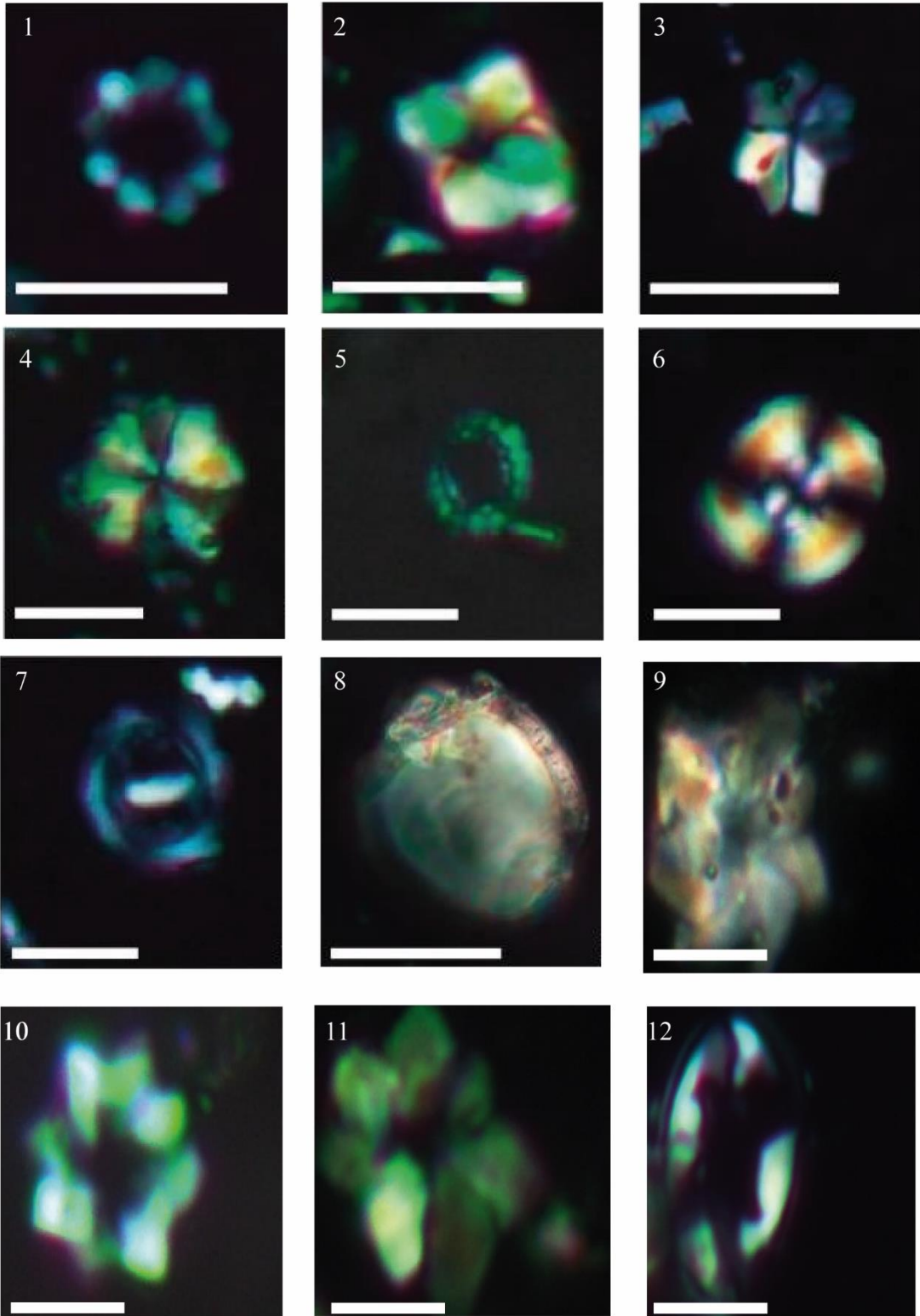
**ANEXO 6.** Material fotográfico de los nanofósiles calcáreos encontrados en la Sección A.

Lamina 6.

1. *Eprolithus floralis*
2. *Quadrum* cf. *gartneri*
3. *Quadrum* spp.
4. *Quadrum* spp.
5. *Prediscosphaera* spp.
6. *Watznaueria barneasae*
7. *Zeugrhabdotus* spp.
8. *Nannoconus circularis* group.
9. *Lithastrinus septenarius*
10. *Eprolithus octopetalus*
11. *Eprolithus moratus*
12. *Eiffellithus eximius*



LAMINA 6



Barra de escala: 5  $\mu$ m

**ANEXO 7. MATERIAL FOTOGRÁFICO DE OSTRÁCODOS ENCONTRADOS EN LA SECCIÓN B.**

Lamina 7.

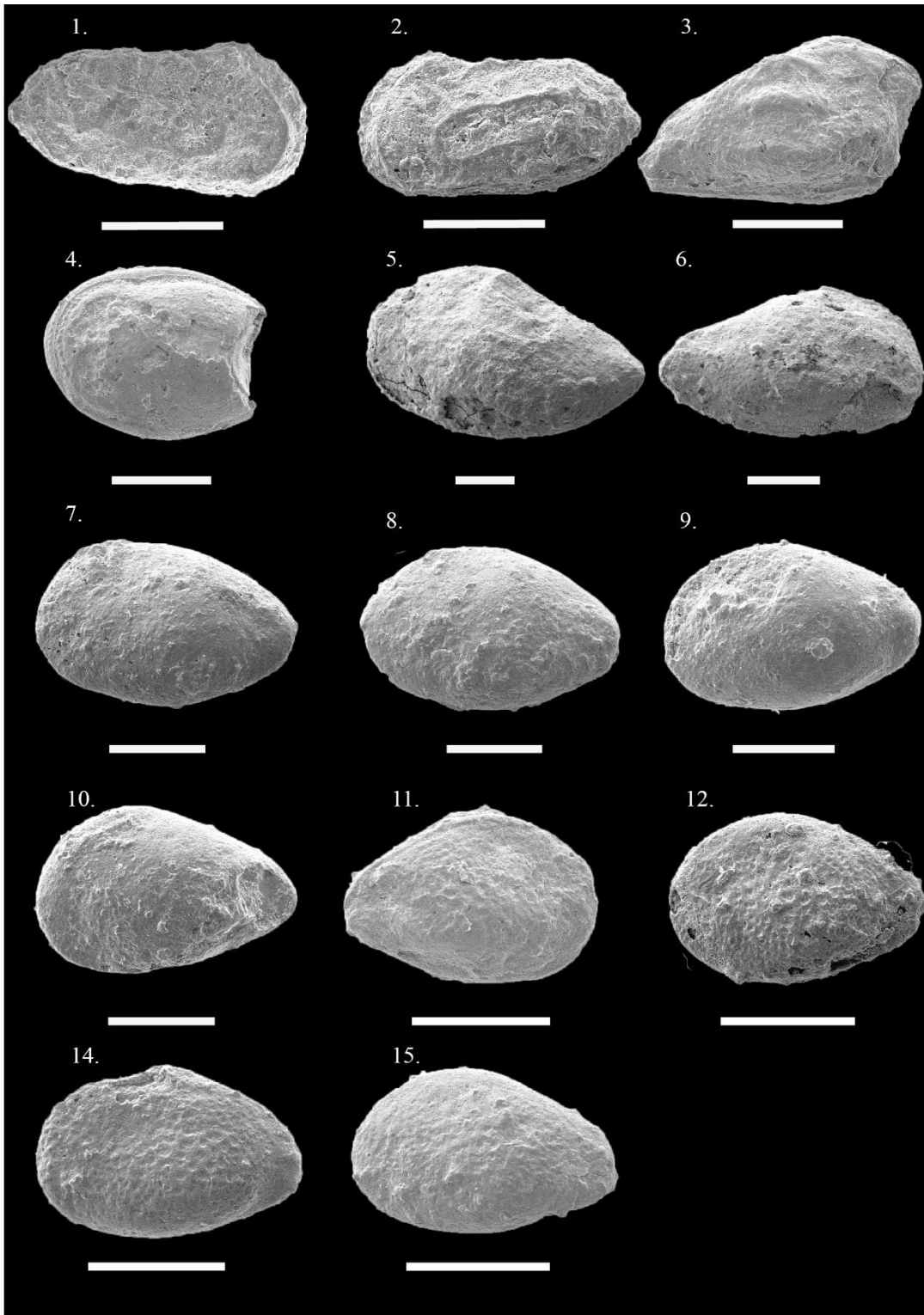
1-2. *Trachileberididea* spp.

3. *Veenia* spp.?

4. *Cytherella* sp.

5-14. *Protobuntonia* sp.

LAMINA 7



Barra de escala: 200  $\mu$ m.

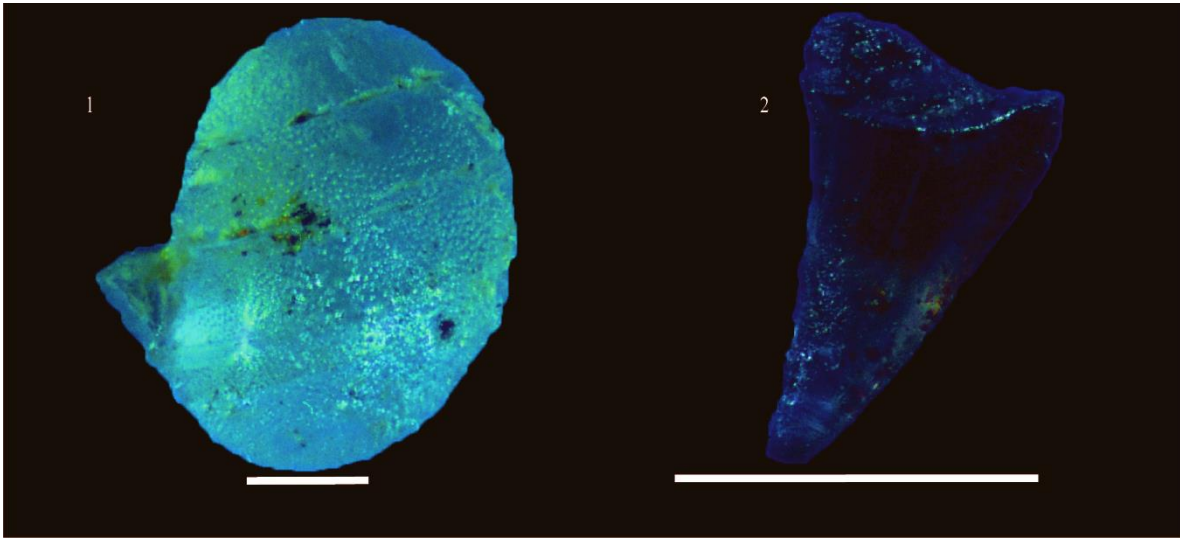
**ANEXO 8.** Material fotográfico de carofitas de la Sección A y restos de dientes encontrados en las dos secciones (A y B).

Lamina 8.

1. Carofitas

2. Diente

LAMINA 8



Barra de escala: 100  $\mu\text{m}$ .