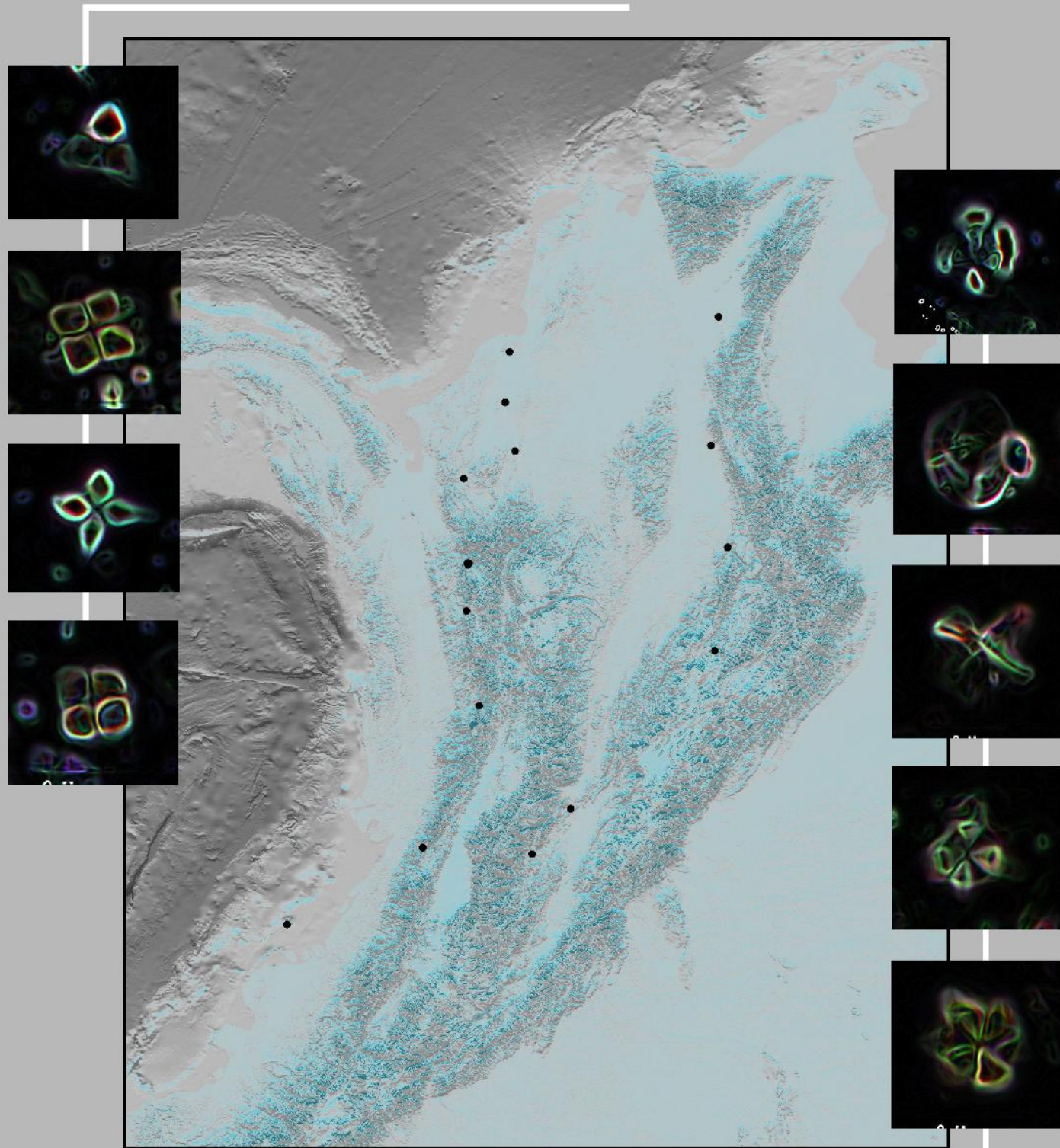


Asociaciones de nanofósiles calcáreos del Cretácico Tardío en algunos sectores de Colombia: cordillera Oriental, Occidental, Caribe y Pacífico Colombiano



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



**Asociaciones de nanofósiles calcáreos del Cretácico Tardío en algunos sectores de
Colombia: Cordillera Oriental, Occidental, Caribe y Pacífico Colombiano**

Estefanía Angulo Pardo

Manizales, Colombia

Noviembre, 2022

**Asociaciones de nanofósiles calcáreos del Cretácico Tardío en algunos sectores de
Colombia: Cordillera Oriental, Occidental, Caribe y Pacífico Colombiano**

Estefanía Angulo Pardo

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias de la Tierra

Director:

M.Sc. Diego Felipe Vallejo Hincapíe

Codirector:

Ph.D. Rodrigo Do Monte Guerra

Asesor:

Ph.D. Andrés Pardo Trujillo

Universidad de Caldas

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Maestría en Ciencias de la Tierra

Manizales, Colombia

2022

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada al investigador que con gran fervor se ocupa en aportar conocimiento geo-científico. Quién su curiosidad y pasión por lo nuevo y desconocido lo hace un gran maestro y al mismo tiempo un modesto aprendiz.

Agradecimientos

Agradezco el crecimiento académico y personal que produjo en mi esta investigación. A mi familia por ser canal de inspiración y convicción de que lo hecho con amor, vale cada proceso. A Felipe Vallejo por enseñarme que la verdad absoluta no es real y que cuestionarse todo es la forma más vivida del progreso.

*“La ausencia de evidencia, no es evidencia de
ausencia”*

Carl Sagan

Resumen

Los depósitos del Cretácico Superior del noroeste de Colombia forman parte de dos regiones con contextos geológicos contrastantes. La región oriental, que incluye unidades geológicas del Turoniano al Maastrichtiano de las cuencas del Valle Superior del Magdalena y Cesar-Ranchería, se acumuló en un mar epicontinental que cubrió parcialmente la Placa Suramericana. La región occidental está representada por un conjunto de depósitos fallados y plegados del Campaniano al Maastrichtiano que afloran entre las cuencas del Pacífico y el Caribe del noroeste de América del Sur. Estos depósitos se depositaron sobre un basamento oceánico de la Placa Caribe cerca de la zona de colisión entre las Placas Caribe y Suramericana. Se colectaron un total de 119 muestras de rocas de estos depósitos para el análisis de nanofósiles calcáreos. Ambas regiones muestran nanofósiles pobres a moderadamente preservados, a excepción de algunas asociaciones bien preservadas de la cuenca Cesar-Ranchería. Las muestras del Valle Superior del Magdalena mostraron los marcadores bioestratigráficos *Quadrum gartneri*, *Micula concava*, *Micula staurophora*, *Lithastrinus septenarius*, *Lithastrinus grilli*, *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Uniplanarius trifidus*, *Uniplanarius sissinghii* y *Reinhardtites anthophorus* y en la cuenca Cesar-Ranchería *Arkhangelskiella cymbiformis*, un acme de *Kamptnerius magnificus*, y formas esporádicas de *Lithraphidites* cf. *L. praequadratus*. Esto indica edades de acumulación que van desde el Turoniano – Coniaciano hasta el Campaniano – Maastrichtiano y el Campaniano hasta el Maastrichtiano tardío para las cuencas del Valle Superior del Magdalena y Cesar-Ranchería, respectivamente. Los marcadores bioestratigráficos de la región occidental, sin embargo, fueron más limitados, observándose únicamente *Uniplanarius trifidus* y *Uniplanarius sissinghii*. Esto significa una edad enmarcada entre finales del Campaniano hasta principios del Maastrichtiano para las rocas plegadas analizadas de las cuencas del Caribe y el Pacífico. Nuestros resultados se correlacionan bien con los modelos de edad anteriores y revelan que los depósitos del Campaniano superior – Maastrichtiano inferior cercanos a la zona de colisión pueden correlacionarse con los últimos depósitos marinos del mar epicontinental en el Valle Superior del Magdalena. Aunque los nanofósiles calcáreos de la cuenca Cesar Ranchería mostraron la mejor

preservación, los marcadores bioestratigráficos de baja latitud del Campaniano – Maastrichtiano fueron muy escasos, lo que dificultó la correlación. Nuestra hipótesis es que esta singularidad puede explicarse por cambios en las condiciones del agua oceánica durante el Maastrichtiano tardío en Colombia.

Palabras clave: Micropaleontología, Nanofósiles del Craibe, La Luna Sea, nanofósiles del Pacífico Ecuatorial oriental.

Abstract

Upper Cretaceous deposits from northwestern Colombia are part of two regions with contrasting geological contexts. The eastern region, which includes Turonian to Maastrichtian geologic units from the Upper Magdalena Valley and the Cesar-Rancheria basins, accumulated in an epicontinental sea that partially covered the South American Plate. The western region is represented by a set of faulted and folded Campanian to Maastrichtian deposits outcropping between the Pacific and the Caribbean basins of northwestern South America. These deposits were deposited over a Caribbean Plate oceanic basement close to the collision zone between the Caribbean and South American Plates. A total of 119 rock samples from these deposits were collected for analysis of calcareous nannofossils. Both regions show poorly to moderately preserved calcareous nannofossils, excepting for some well-preserved assemblages from the Cesar-Rancheria Basin. Samples from the Upper Magdalena Valley showed the biostratigraphic markers *Quadrum gartneri*, *Micula concava*, *Micula staurophora*, *Lithastrinus septenarius*, *Lithastrinus grilli*, *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Uniplanarius trifidus*, *Uniplanarius sissinghii*, and *Reinhardtites anthophorus* and in the Cesar-Rancheria Basin *Arkhangelskiella cymbiformis*, an acme of *Kamptnerius magnificus*, and sporadic forms of *Lithraphidites* cf. *L. praequadratus*. This indicates accumulation ages ranging from Turonian – Coniacian to Campanian – Maastrichtian and Campanian to late Maastrichtian for the Upper Magdalena Valley and Cesar-Rancheria basins, respectively. Biostratigraphic markers from the western region, however, were more limited, observing only *Uniplanarius trifidus* and *Uniplanarius sissinghii*. This signifies an age of accumulation between late Campanian and early Maastrichtian for the analyzed folded rocks from the Caribbean and Pacific basins. Our results correlate well with previous age models and reveal that upper Campanian – lower Maastrichtian deposits close to the collision zone can be correlated with the last marine deposits of the epicontinental sea in the Upper Magdalena Valley. Although calcareous nannofossils from the Cesar-Rancheria Basin displayed the best preservation, low-latitude biostratigraphic markers of the Campanian – Maastrichtian were very scarce, which made correlation difficult. We

hypothesize that this singularity can be explained by changes in oceanic water conditions during the late Maastrichtian in Colombia.

Keywords: Micropaleontology, Caribbean nannofossils, La Luna Sea, Eastern equatorial Pacific nannofossils.

Tabla de contenido

1. Introducción	14
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo general.....	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
2. Contexto geológico	18
2.1 Marco paleoceanográfico de los depósitos analizados	18
2.2 Descripción litológica	20
2.2.1 Región oriental.....	20
2.2.2 Región occidental.....	22
2.3 Previa información paleontológica y edad de los depósitos analizados	24
2.3.1 Cuenca del Valle Superior del Magdalena.....	24
2.3.2 Cuenca Cesar-Ranchería.....	32
2.3.3 Cuenca Valle Superior del Magdalena	34
2.3.4 Cuenca Tumaco <i>Offshore</i>	36
2.3.5 Cordillera Occidental	37
2.4 Marco bioestratigráfico de los depósitos estudiados	37
3. Nanofósiles calcáreos	41
3.1 Ecología	42
3.2 Diferenciación latitudinal en la distribución de los nanofósiles calcáreos	43
4. Metodología de estudio	45
4.1 Recolección de muestras	45
4.2 Preparación de las muestras para análisis micropaleontológico	45
4.3 Consideraciones taxonómicas y bioestratigráficas	47
4.4 Lista alfabética de nanofósiles calcáreos	47
5. Resultados	50
5.1 Sección Quebrada Aico	56
5.2 Sección Cantera San Carlos	59

5.3	Sección Isla Gorgonilla	61
5.4	Estratos plegados de la Cordillera Occidental	62
6.	Discusión.....	65
6.1	Correlación bioestratigráfica con estudios previos de <i>La Luna Sea</i>	65
6.2	Nanofósiles calcáreos del Maastrichtiano	68
6.3	Correlación bioestratigráfica entre depósitos del oriente y occidente	69
7.	Conclusiones.....	71
8.	Referencias	72
	Anexo A.....	94

Lista de figuras

Figura 1. Localización geográfica de los depósitos estudiados	16
Figura 2. Evolución geodinámica del NW de América del Sur.....	19
Figura 3. Registro fotográfico de las unidades litoestratigráficas estudiadas.....	23
Figura 4. Marco cronoestratigráfico y litoestratigráfico de los yacimientos estudiados ...	39
Figura 5. Anatomía de una célula de Cocolitofórido.....	41
Figura 6. Microfotografías de nanofósiles calcáreos del núcleo ANH-LA LOMA-1	51
Figura 7. Microfotografías de nanofósiles calcáreos de la sección Quebrada Aico	52
Figura 8. Microfotografías de nanofósiles calcáreos de la sección Cantera San Carlos ...	53
Figura 9. Microfotografías de anofósiles calcáreos de la sección Isla Gorgonilla	53
Figura 10. Microfotografías de nanofósiles calcáreos de la Cordillera Occidental.....	54
Figura 11. Distribución de los nanofósiles calcáreos del núcleo ANH-LA LOMA-1	55
Figura 12. Distribución de los nanofósiles calcáreos de la Quebrada Aico	58
Figura 13. Distribución de los nanofósiles calcáreos de la Cantera San Carlos.....	60
Figura 14. Distribución de los nanofósiles calcáreos de la Isla Gorgonilla.....	62
Figura 15. Distribución de los nanofósiles calcáreos de la Cordillera Occidental	64
Figura 16. Rangos temporales de los intervalos estratigráficos analizados.....	70

Lista de tablas

Tabla 1. Información paleontológica del Valle Superior del Magdalena	24
Tabla 2. Información paleontológica del Cesar-Ranchería.....	32
Tabla 3. Información paleontológica del Cintnurón Plegado del Sinú-San Jacinto	34
Tabla 4. Información paleontológica de la Isla Gorgonilla	36
Tabla 5. Información paleontológica de las capas plegadas de la Cordillera Occidental ..	37
Tabla 6. Definición de las provincias paleobiogeográficas de Burnett (1998).....	44
Tabla 7. Localidades estudiadas con su respectiva información geográfica.....	46

1. Introducción

El registro sedimentario del Cretácico Superior del noroeste de América del Sur se caracteriza por entornos paleoambientales y tectónicos contrastantes (Figura 1). Los depósitos de la región oriental, incluidas las cuencas del Valle del Magdalena, Cesar-Ranchería y la Cordillera Oriental, se acumularon sobre el basamento de la Placa Suramericana en paleoambientes marinos someros (plataformas, sistemas costeros y deltas) asociados a un mar epicontinental que se extendía desde Colombia hasta Venezuela conocido como *La Luna Sea* (Villamil, 1998; Villamil y Arango, 1998; Mora-Bohórquez et al., 2017; Erlich et al., 2000; Páez-Reyes et al., 2021). En contraste, los depósitos occidentales expuestos en el Cinturón Plegado Sinú-San Jacinto (CPSSJ), Tumaco Offshore y la Cordillera Occidental indican sedimentación marina variable, principalmente acumulada en ambientes profundos en la gran provincia ígnea de la Placa Caribe, que colisionó con la Placa Suramericana durante el Cretácico Tardío – Paleógeno (Duque-Caro, 1972a, 1990; Mann, 1999; Iturralde-Vinent, 2005; Kerr y Tarney, 2005; Villagómez et al., 2011; Spikings et al., 2015; Buchs et al., 2018; Pardo-Trujillo et al., 2020; Giraldo-Villegas et al., 2022).

Uno de los microfósiles más útiles para realizar interpretaciones bioestratigráficas y paleoecológicas son los nanofósiles calcáreos. Estos son un grupo de microfósiles exclusivamente marinos y planctónicos que abundan en el registro estratigráfico desde finales del Triásico (Bown y Young, 1998). Su amplia distribución, alta diversidad morfológica, pequeño tamaño y alta abundancia, así también como su calibración en secciones bien datadas del Cretácico Superior, los convierten en una valiosa herramienta bioestratigráfica para datar y correlacionar sedimentos marinos a escala latitudinal (Odin, 2001; Odin y Lamaurelle, 2001; Lamolda et al., 2014; Walaszczyk et al., 2021). Los patrones biogeográficos bien documentados de estos microfósiles revelan variaciones entre latitudes altas y bajas durante el Cretácico Tardío (Thierstein, 1981; Concheyro, 1995;

Watkins et al., 1996; Lees, 2002; Moore, 2016). Como resultado, se han construido diferentes biozonaciones para depósitos del Cretácico Superior, siendo los esquemas zonales de Sissingh (1977, 1978), modificados por Perch-Nielsen (1985) y Burnett (1998) algunos de los más utilizados para áreas de baja latitud.

La información publicada sobre las asociaciones de nanofósiles calcáreos de secciones estratigráficas de superficie de Colombia y el norte de América del Sur es limitada. Por ende, su potencial bioestratigráfico y nivel de correspondencia con otros grupos micropaleontológicos es aún desconocido. Trabajos pioneros en la región han reportado depósitos con nanofósiles calcáreos desde el Cenomaniano hasta el Campaniano (De Romero et al., 2003; Pérez et al., 2018; Patiño et al., 2019; Barrantes et al., 2019; Pardo-Trujillo et al., 2020; Páez-Reyes et al., 2021). La mayoría de estos datos provienen de rocas sedimentarias de las cuencas del Valle del Magdalena y Maracaibo (Figura 1), demostrando que, aunque los nanofósiles calcáreos pueden ser particularmente abundantes y diversos cerca del límite Cenomaniano/Turoniano (Páez-Reyes et al., 2021), generalmente se encuentran mal preservados en depósitos del Cretácico Superior (De Romero et al., 2003; Pérez et al., 2018). Debido a esta mala preservación, algunos de estos estudios sugieren esquemas biozonales locales para la Cuenca del Valle del Magdalena Medio (VMM) (Pérez et al., 2018).

Este estudio tiene como objetivo documentar y correlacionar nuevas asociaciones de nanofósiles calcáreos de las cuencas oriental y occidental de Colombia y contribuir a los marcos cronoestratigráficos previos para ambas regiones en el Cretácico Tardío, mediante el análisis micropaleontológico de 119 muestras.

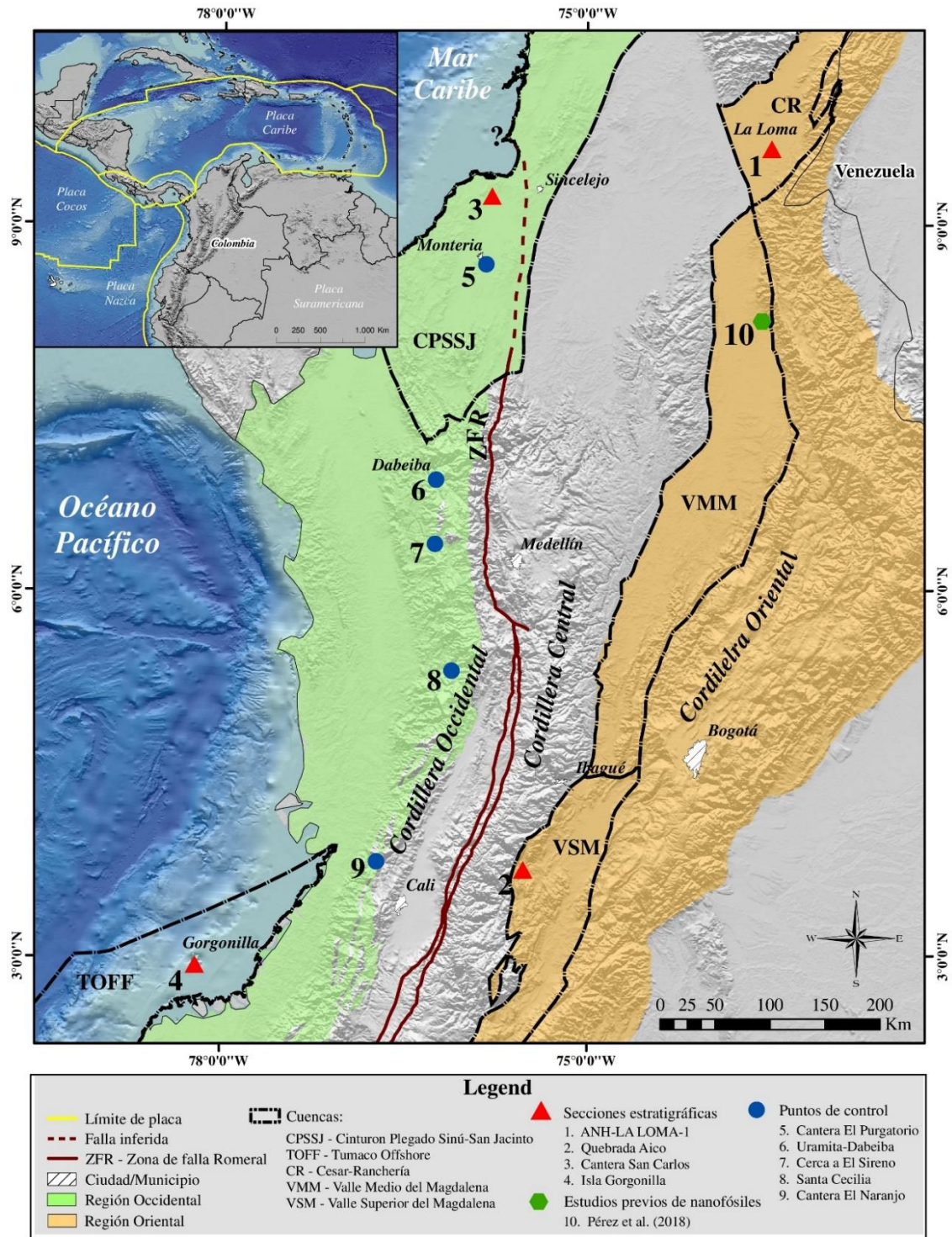


Figura 1. Localización geográfica de los depósitos estudiados de las regiones occidental y oriental de Colombia y estudios previos relacionados con los nanofósiles calcáreos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Realizar un análisis bioestratigráfico y paleobiogeográfico de las asociaciones de nanofósiles calcáreos de algunas secciones estratigráficas del Cretácico Superior Colombiano.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis taxonómico y tafonómico de las especies de nanofósiles calcáreos presentes en el material de estudio.
- Llevar a cabo un conteo de 300 ejemplares de nanofósiles calcáreos presentes en las muestras analizadas, examinados en ocho transectas, con el fin de estimar abundancia y preservación.
- Establecer un análisis bioestratigráfico de las asociaciones de nanofósiles calcáreos.
- Establecer correlaciones bioestratigráficas entre las biozonas de nanofósiles del oriente y occidente colombiano y en resultados bioestratigráficos previos conocidos.

2. Contexto geológico

2.1 Marco paleoceanográfico de los depósitos analizados

El noroeste de América del Sur estuvo influenciado por la única conexión tropical entre los océanos Pacífico (occidente) y Tetis (oriente) durante el Cretácico Tardío (Iturralde-Vinent, 2005). Las aguas oceánicas de este pasaje cubrieron ambientes marinos contrastantes de las regiones oriental (mar epicontinental) y occidental (mar abierto) (Forero, 1990; Caballero et al., 2010; Bayona et al., 2018; Pardo-Trujillo et al., 2020). En la región oriental, se acumularon gruesos depósitos ricos en materia orgánica en un mar epicontinental que se extendía desde Colombia hasta Venezuela, conocido como *La Luna Sea*, proporcionando las condiciones ideales para el origen de algunas de las más extensas rocas generadoras de hidrocarburos del norte de América del Sur (Talukdar y Marcano, 1994; Mann et al., 2006). *La Luna Sea* experimentó la máxima inundación entre el Turoniano y el Coniaciano y posteriormente comenzó a retroceder durante el Campaniano y el Maastrichtiano (Villamil, 1998; Villamil y Arango, 1998; Erlich et al., 2000). Se considera que el fin de estas condiciones marinas fue ocasionado por ajustes tectónicos relacionados con la llegada de la Placa Caribe al margen occidental de la Placa Suramericana (Figura 2) y la caída del nivel del mar durante el Campaniano tardío al Maastrichtiano (Villagómez et al., 2011; Villagómez y Spikings, 2013; Haq, 2014; Bayona et al., 2018; Pardo-Trujillo et al., 2020). Según la evidencia micropaleontológica, las condiciones oceánicas de *La Luna Sea* fueron similares a las descritas para latitudes tropicales y subtropicales del océano Tetis durante la mayor parte del Cretácico Tardío (Petters, 1955; Martínez, 1989; Jaramillo y Yepes, 1994; Yepes, 2001; Dueñas y Gómez, 2013).

Los paleoambientes dominados por una oxigenación reducida, fueron registrados como eventos anóxicos entre el Cenomaniano/Turoniano y el Coniaciano (Martínez, 2003; Pérez et al., 2018; Páez-Reyes et al., 2021). Sin embargo, también se han reportado variaciones en

las condiciones marinas para *La Luna Sea*, evidenciando condiciones de Upwelling desde el Santoniano hasta el Maastrichtiano (Fabre, 1985; Föllmi et al., 1992; Etayo Serna, 1994; Villamil, 1998; Villamil y Arango, 1998; Erlich et al., 2000; Sarmiento, 2018). De manera similar, estudios micropaleontológicos en secciones de aguas profundas y terrestres del Mar Caribe y el norte de América del Sur han descrito cambios en las comunidades fitoplanctónicas, reflejando variaciones en la productividad oceánica (Yepes 2001, Martínez, 2003).

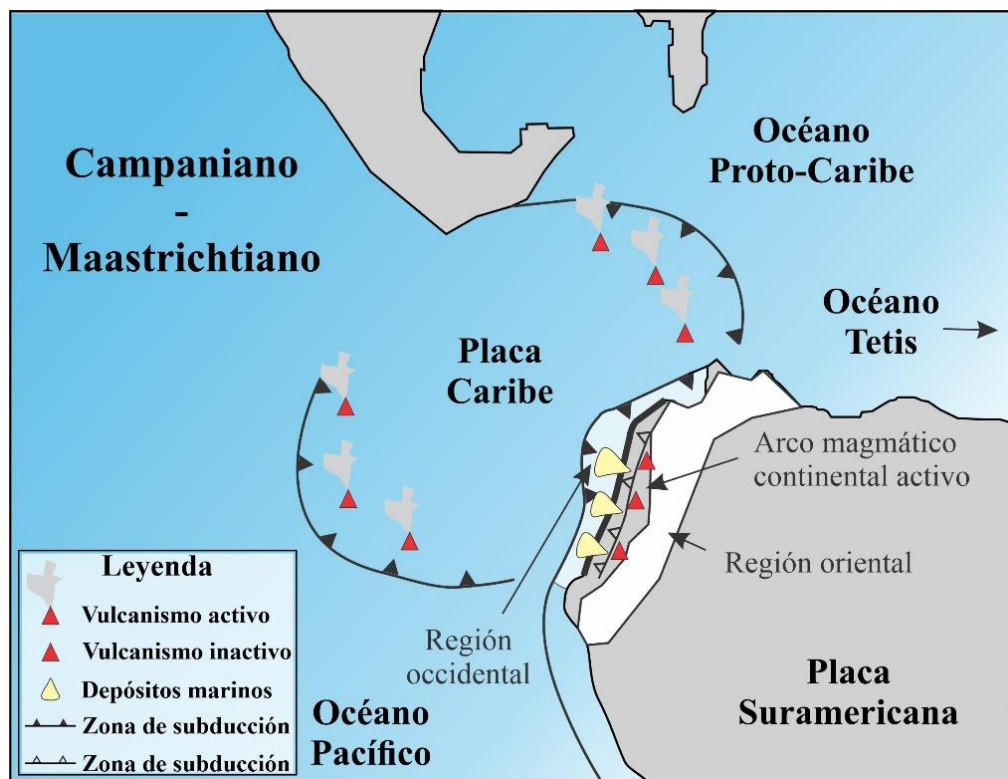


Figura 2. Evolución geodinámica del NW de América del Sur durante el Campaniano – Maastrichtiano. Tomado y modificado de Pardo et al. (2020).

Aunque el registro estratigráfico de la región occidental está menos documentado, algunos trabajos previos han evidenciado la existencia de depósitos turbidíticos y hemipelágicos asociados a ambientes marinos profundos durante el Campaniano – Maastrichtiano (Duque-Caro, 1972a, b, 1978, 1979, 1984; Duque-Caro y Dueñas, 1987; Guzmán et al., 1994, 2004; Clavijo y Barrera, 2001; Guzmán, 2007). Estos depósitos se acumularon sobre el basamento

alóctono de la Placa Caribe, que comenzaba a bloquear la única conexión marina entre el océano Pacífico y el Mar Caribe (Duque-Caro, 1972a, 1990; Mann, 1999; Moreno-Sánchez y Pardo-Trujillo, 2003; Guzmán et al., 2004; Iturralde -Vincent, 2005; Guzmán, 2007; Mora et al., 2017; Buchs et al., 2018; Pardo-Trujillo et al., 2020; Giraldo-Villegas et al., 2022) (Figura 2). En esta región, la sedimentación marina estuvo influenciada por la actividad volcánica de los arcos magmáticos construidos sobre las Placas Caribe y Suramericana y por la erosión del margen continental (Weber et al., 2015; Buchs et al., 2018; Pardo-Trujillo et al., 2020; Zapata-Villada et al., 2021) (Figura 2). Además, los depósitos marinos de la Isla Gorgonilla en el océano Pacífico muestran que el impacto del bólido de Chicxulub perturbó la sedimentación durante el final del Cretácico (Bermúdez et al., 2016; Renne et al., 2018). Aunque los efectos de la llegada de la Placa Caribe al margen suramericano aún son materia de estudio, se piensa que la compleja interacción tectónica provocó la deformación y obducción de un conjunto de rocas sedimentarias e ígneas marinas, que actualmente se encuentran expuestas a lo largo del occidente de Colombia (Cordillera Occidental, Isla Gorgona y Gorgonilla y Serranía de Baudó) y parcialmente cubierto en la CPSSJ (Duque-Caro, 1972a; Nivia, 1996; Villagómez et al., 2011; Echeverry et al., 2015; Patiño et al., 2019).

2.2 Descripción litológica

2.2.1 Región oriental

La sección Quebrada Aico (Figura 3A) cubre ~284 m de depósitos sedimentarios, agrupados en las unidades litoestratigráficas Formación Loma Gorda, Grupo Oliní (formaciones Lidita Inferior, "Aico Shale" y Lidita Superior) y Formación Buscavida (Hernández, 2021). La Formación Loma Gorda (Figura 3A-I) consta de ~23 metros de calizas laminadas (lodolitas, *wackestones* y *packstones*) intercaladas con depósitos de fosfato esporádicos, que están asociados con ambientes de baja energía por debajo de la acción de las olas (Hernández, 2021). Estas rocas están cubiertas por la Formación Lidita Inferior (Figura 3A-II), compuesta principalmente por ~49 metros de biomicritas laminadas (*wackestones*) y chert. Aunque en menor proporción, esta unidad también presenta lodolitas laminadas y lechos fosfáticos relacionados con ambientes marinos de baja energía por debajo de la acción de

las olas. Sobre esta, se reconoce un depósito de ~23 m de espesor denominado informalmente como Formación "Aico Shale" (Hernández, 2021) el cual es equivalente estratigráficamente a la Fm. El Cobre estudiada por Garzón et al. (2012) en la Quebrada Aico. Esta unidad consta de lodolitas laminadas depositadas en condiciones marinas. Sobre estas rocas, se acumularon los sedimentos de la Formación Lidita Superior (Figura 3A-III), la cual aflora a lo largo de la Quebrada Aico. Estas rocas están conformadas por una alternancia entre cherts laminados y biomicritas (*mudstones* y *wackestones*) depositadas en ambientes marinos abiertos. En la parte superior de la sección estratigráfica, rocas sedimentarias de la Formación Buscavida (Figura 3A-IV) miden hasta ~81 metros de espesor (Hernández, 2021). Esta formación está compuesta por biomicritas arcillosas laminadas, lodolitas, limolitas arenosas y areniscas de grano fino a muy fino con laminaciones horizontales y estratificación *flaser* acumuladas en *offshore* y *shoreface* respectivamente.

El núcleo ANH-LA LOMA-1 (Figura 3B) corresponde a depósitos de ~626 m de espesor de las formaciones Molino y Barco (Ucaldas-Minciencias-ANH, 2020). En la parte media-inferior del núcleo (~626 m a ~265 m), los depósitos se componen de intercalaciones de lodolitas macizas y laminadas, calizas (*mudstones*, *wackestones* y *packstones*) y lodolitas, con bivalvos, braquiópodos, gasterópodos y equinodermos asociados a ambientes de plataforma externa (Ucaldas-Minciencias-ANH, 2020). Asimismo, estos depósitos se encuentran en la parte media-superior del núcleo (~266 a ~117 m), junto con niveles de areniscas de grano muy fino a medio, que en ocasiones presentan laminación horizontal y niveles heterolíticos con laminación ondulada y lenticular. Esta asociación fue interpretada como depósitos que van desde plataforma externa (*offshore*) a planicie costera (Ucaldas-Minciencias-ANH, 2020). Hacia la parte superior del registro, suprayaciendo los sedimentos de la Formación Molino descritos anteriormente, se encuentran los sedimentos de la Formación Barco (~117 m), los cuales se caracterizan por la intercalación de lodolitas y areniscas (heterolitas) con laminación ondulada y estratificación *flaser*, con huellas de raíces y fragmentos leñosos carbonizados. Se registran niveles de carbón localmente masivo intercalados con lodolitas carbonáceas masivas y laminadas. Este intervalo se caracteriza

por la ausencia de microfósiles marinos, un alto registro de polen y esporas, y una escasa proporción de dinoflagelados. Las facies descritas han sido interpretadas como depósitos deltaicos (Ucaldas-Minciencias-ANH, 2020).

2.2.2 Región occidental

Los nanofósiles calcáreos en la región occidental provienen de depósitos moderadamente deformados que afloran en el CPSSJ e Isla Gorgonilla en la cuenca Tumaco *Offshore* y de rocas bastante deformadas de la Cordillera Occidental (Figura 1). Los afloramientos de la Cantera San Carlos (Figura 3C) en el CPSSJ poseen ~20 m de espesor y están conformados por estratos tabulares medio a delgados, de intercalaciones de lodolitas laminadas y calizas masivas (*mudstones*) y ocasionalmente, lodolitas silíceas bioturbadas. Estas rocas pertenecen a la Formación Cansona (Figura 3C) y representan los depósitos sedimentarios más antiguos documentados en las cuencas del Caribe (Duque-Caro, 1972; Geotec, 2003). Los afloramientos estudiados de la Cordillera Occidental consisten en una alternancia de delgados lechos tabulares de caliza y chert intercalados con lodolitas verdosas bioturbadas (Figura 3D). Estas rocas se encuentran fuertemente plegadas y afloran de manera discontinua en la Cordillera, en donde se incluye el Miembro Nutibara de la Formación Penderisco (Álvarez y Gonzáles, 1978). Según características sedimentológicas e icnológicas, (Giraldo-Villegas et al., 2022), estas rocas, junto con las de la Formación Cansona, se interpretan como depósitos hemipelágicos acumulados en ambientes de plataforma externa y planicies de cuenca. La sección Isla Gorgonilla (Figura 3E) tiene un espesor de ~11 m y consiste en una alternancia de lodolitas laminadas y areniscas (localmente conglomeráticas), con radiolaria, fragmentos de foraminíferos bentónicos, moluscos y corales. Bermúdez et al. (2016, 2019) describen estos depósitos como areniscas tobáceas intercaladas, margas, limolitas y arcillas tobáceas gris-amarillas masivas con estructuras sedimentarias blandas y tectitas, que han sido interpretadas como turbiditas acumuladas en ambientes pelágicos batiales. Estas rocas se conocen informalmente como "Sedimentos de Gorgonilla" (Bermúdez et al., 2019).

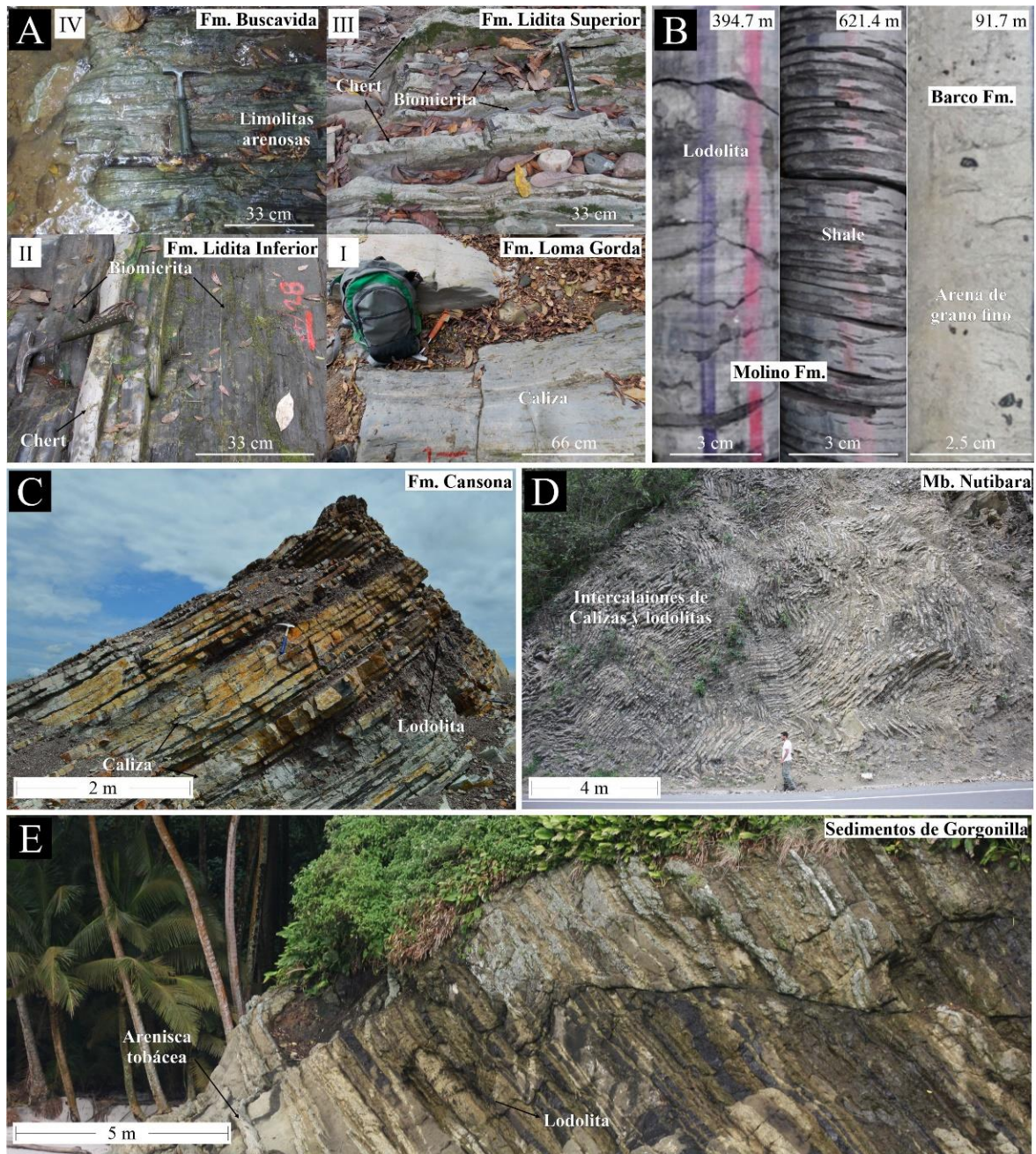


Figura 3. Registro fotográfico de las unidades litoestratigráficas estudiadas. **Región Oriental.** (A) **Sección Quebrada Aico:** I- calizas laminadas de la Fm. Loma Gorda, II- biomicritas laminadas y cherts de la Fm. Lidita Inferior, III- alternancia de cherts laminados y biomicritas de la Fm. Lidita Superior, IV- biomicritas, lodolitas, limolitas arenosas y areniscas de grano fino a muy fino de la Fm. Buscavida; (B) **Núcleo ANH-LA LOMA-1 (Fm. Molino):** Tres intervalos correspondientes a diferentes facies distribuidos en 625.8 m, que muestran variación de lodolitas y shales (base) y estratos arenosos (superior). **Región Occidental.** (C) **Cantera San Carlos (Fm. Cansona):** Intercalaciones de lodolitas y calizas; (D) **Cordillera Occidental (Mb. Nutibara de la Fm. Penderisco):** Estratos plegados de calizas y calizas silíceas y lodolitas del área Uramita-Dabebiba; (E) **Sección Isla Gorgonilla:** Areniscas tobáceas intercaladas con lodolitas.

2.3 Previa información paleontológica y edad de los depósitos analizados

A continuación, se relaciona la información paleontológica publicada de los depósitos analizados mediante tablas indicando autor(es), localización geográfica, grupo fósil y edad, seguidamente encontrará el contenido fósil que corresponde a cada estudio según la numeración de las tablas (Tablas 1 – 5), las cuales se llevarán a cabo por cuenca.

2.3.1 Cuenca del Valle Superior del Magdalena

Tabla 1. Información paleontológica previa de las formaciones Loma Gorda, Lidita Inferior, Lidita Superior y Buscavida. Grupo fósil: (P) Foraminíferos planctónicos, (B) Foraminíferos bentónicos, (N) Nanofósiles calcáreos, (Po) Polen, (E) Esporas, (D) Dinoflagelados, (A) Amonitas y (Bv) Bivalvos.

Autor(es)	Localización geográfica	Grupo fósil	Edad			
			Formación Loma Gorda	Formación Lidita Inferior	Formación Lidita Superior	Formación Buscavida
1 Búrgl y Dumit (1954)	Girardot - Nariño	P-A-Bv	Coniaciano temprano Turoniano	*Santoniano	Campaniano Santoniano?/ Campaniano	Maastrichtiano temprano Campaniano tardío
2 Petters (1955)	VSM	B	Turoniano-Maastrichtiano			
3 Búrgl (1961)	Río Ortega - Río Cucuana	P-A-Bv	Coniaciano y Turoniano		Campaniano tardío	
4 Jaramillo y Yepes (1994)	Quebradas Aico y Umbale	D		Coniaciano tardío- Santoniano	Campaniano	
5 Vergara (1997)	Vía Girardot-Melgar Quebrada Ocal	P-B	Santoniano		Campaniano tardío	Maastrichtiano
6 Guerrero et al. (2000)	Área de Piedras Este del Sinclinal de Guaduas Oeste del Sinclinal de Guaduas	P-B-D	Turoniano, Coniaciano y Santoniano temprano	Santoniano?	Campaniano tardío	Maastrichtiano temprano
7 Tchegliakova y Mojica (2001)	Girardot-Guataquí	P-N		Coniaciano?	Campaniano tardío	Maastrichtiano temprano-tardío

Tabla 1. Continuación.

Autor(es)	Localización Geográfica	Grupo fósil	Formación Loma Gorda	Edad		Formación Buscavida
				Formación Lidita Inferior	Formación Lidita Superior	
8 Terraza-Melo et al. (2002)	Río Vichía	Po-D		Santoniano?- Maastrichtiano ?	Campaniano?	Campaniano tardío- Maastrichtiano Coniaciano/Santoniano- Maastrichtiano
	Río Cucuana			Campaniano		
	Vereda Contreras					
9 Martínez (2003)	Pozo Michu-1 (Coyaima)	P-B	Coniaciano tardío, Turoniano- Coniaciano tardío y Turoniano		Campaniano	Maastrichtiano Campaniano tardío
10 Patarroyo (2011)	Quebrada Bambucá	A-Bv	Turoniano tardío- Coniaciano, Turoniano temprano-medio y Turoniano temprano			
11 Garzon et al. (2012)	Quebrada Aico Quebrada Buitrera	Po-E-D		Coniaciano- Santoniano	Campaniano	Campaniano- Maastrichtiano

* Bürgl (1961) aclara que, aunque el reporte original de Bürgl y Dumit (1954) designó una edad Coniaciense, hallazgos posteriores de amonites mostraron que este nivel representa la base del Santoniano (Vergara, 1994).

1. *Maastrichtiano temprano*: Foraminíferos: **(B)** *Siphogenerinoides bramlettei* y *Siphogenerinoides plummeri*.

Campaniano tardío: Foraminíferos: **(B)** *Siphogenerinoides clarki* y *Siphogenerinoides bermudezi*.

Campaniano: Foraminíferos: **(B)** *Bulimina exigna*, *Bulimina prolixa*, *Bulimina kickapoensis*, *Bulimina aspera*, *Bulimina reussi navarroensis*, *Recloguembelina* sp., *Siphogenerinoides bermudezi*, *Siphogenerinoides clarki*, *Siphogenerinoides cretacea*, *Siphogenerinoides reticulata* y *Siphogenerinoides landesi*. Amonites: **(A)** *Nostoceras* div. sp., *Pachydiscus?* sp., y *Turrilites* aff. *Splendidus*. Bivalvos: **(Bv)** *Gryphaeostrea vómer*. Otros: *Serpula* sp.

*Santoniano?/Campaniano: Foraminíferos: (B) *Buliminella carseyae*, *Gyroidina depressa*, *Neobulimina canadensis*, *Sporobulimina perforata* y *Wheelerella magdalenaensis*.*

*Santoniano: Foraminíferos: (P) *Archaeoglobigerina cretacea* (*Globigerina cretacea*). Amonites: (A) *Texanites* aff. *Serratomarginatus* (*Paratexanites* aff. *Serratomarginatus*).*

*Coniaciano temprano: Foraminíferos: (P) *Archaeoglobigerina cretacea* (*Globigerina cretacea*) y *Planoheterohelix globulosa* (*Guembelina globulosa*). Amonites: (A) *Barroisiceras subtuberculatum*, *Collignoniceras woollgari*, *Paratexanites* aff. *Serratomarginatus* (*Texanites* aff. *Serratomarginatus*), *Peroniceras moureti*, *Prionocycloceras guayabanum* y *Scaphites*. Bivalvos: (Bv) *Inoceramus* y *Sergipia* (*Monotis*) *roemeri*.*

*Turoniano: Foraminíferos: (P) *Archaeoglobigerina cretacea* (*Globigerina cretacea*), *Globotruncana marginata* and *Planoheterohelix globulosa* (*Guembelina globulosa*). (B) *Bulimina prolixa* y *Buliminella colonensis*. Amonites: (A) *Coilopoceras* aff. *colleti*, *Coilopoceras* aff. *Grassouvrei* y *Thomasites rallandi complanata*. Bivalvos: (Bv) *Inoceramus labiatus*.*

2. Zona de *Globigerinella guembelina*, zona de *Anomalina redmondi*, zona de *Bolivina explicata*, zona de *Siphogenerinoides cretacea* y zona de *Siphogenerinoides bramlettei*.
3. Campaniano tardío: Foraminíferos: (B) *Allomorphina trochoides*, *Bulimina prolixa*, *Buliminella carseyae*, *Dentalina* cf. *lorneina*, *Siphogenerinoides bermudezi*, *Siphogenerinoides revoluta*, *Sporobulimina perforata*, *Sporobulimina stainforthi* y *Wheelerella magdalenaensis*.

*Turoniano: Amonites: (A) *Coilopoceras colleti*, *Mammites* aff. *nodosoides*, *Pseudaspidoceras* sp., *Thomasites* sp. y *Vascoceras* cf. *gamai*. Bivalvos: *Inoceramus labiatus* y *Inoceramus peruanus*.*

*Coniaciano: Foraminíferos: (P) *Globigerina cretacea*, *Guembelina* cf. *globulosa* y *Ventilabrella eggeri*. Amonites: (A) *Prionocycloceras mediotuberculatum* y *Forresteria subtuberculatum*. Bivalvos: (Bv) *Inoceramus aequivalvis*, *Inoceramus labiatus*, *Inoceramus peruanus* y *Sergipia (Monotis) roemeri*.*

4. *Campaniano: Dinoflagelados: (D) *Andalusiella polymorpha*, *Cerodinium leptodermum*, *Isabelidinium* sp. y *Senegalinium laevigatum*.*

*Coniaciano tardío – Santoniano: Dinoflagelados: (D) *Alisogymnium euclaense*, *Dinogymnium* sp., *Dinogymnium acuminatum*, *Dinogymnium digitus*, *Dinogymnium nelsonense*, *Dinogymnium undulosum*, *Heterosphaeridium difficile*, *Odontochinia operculata*, *Oligosphaeridium complex* y *Xenascuc ceratioides*.*

5. *Maastrichtiano: Vía Girardot-Melgar: Foraminíferos: (P) *Rugoglobigerina macrocephala* y *Rugolibigerina ornata*. (B) *Siphogenerinoides bramlettei*.*

*Campaniano tardío: Vía Girardot-Melgar: Foraminíferos: (P) *Buliminella*, *Neobulimina*, *Pyramidina*, *Siphogenerinoides* y *Praebulimina*. (B) *Siphogenerinoides* sp. y *Siphogenerinoide bramlettei*.*

*Santoniano: Quebrada Ocal: Foraminíferos: (P) Zonas de *Globotruncanita elevata* y *Dicarinella asymetrica*: *Costellagerina* aff. *pilula* (*Rugoglobigerina* aff. *pilula*), *Marginotruncana sinuosa* y *Rugoglobigerina rugosa**

6. *Maastrichtiano temprano: Área de Piedras: Foraminíferos: (P) Zona de *Globotruncana aegyptica*: *Globigerinelloides prairiehillensis*, *Globotruncana Aegyptiaca*, *Globotruncana falsostuarti*, *Globotruncanella petaloidea*, *Globotruncanita subspinosa*, *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*),*

Pseudogüembelina excolata, *Pseudogüembelina palpebra*, *Rugoglobigerina hexacamerata*, *Rugoglobigerina macrocephala*, *Rugotruncana circumnodifer* (*Rugotruncata subpennyi*), *Rugotruncana subcircumnodifer*, *Spiroplecta americana* (*Heterohelix navarroensis*) y *Trinitella scotti* (*Rugoglobigerina scotti*). Sinclinal de Guaduas: Foraminíferos: (P) Zona de *Globotruncanella havanensis*: *Archaeoglobigerina cretacea*, *Globotruncanella havanensis* y *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*). Zona de *Globotruncana aegyptica*: *Guembelitra cretacea*. Dinoflagelados: (D) *Andalusiella gabonensis*, *Andalusiella mauthei*, *Alisogymnium euclaense* y *Dinogymnium acuminatum*.

Campaniano tardío: Área de Piedras: Foraminíferos: (B) *Buliminella colonensis*, *Bolivinooides draco*, *Bolivinooides decoratus* y *Haplophragmoides perexplicatus*. Sinclinal de Guaduas: Foraminíferos: (P) *Costellagerina bulbosa* (*Rugoglobigerina bulbosa*), *Globotruncana arca*, *Globotruncana lapparenti*, *Globotruncana ventricosa*, *Globotruncanita elevata*, *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*) y *Ruglobigerina rugosa*. (B) *Bolivinooides decoratus*, *Buliminella colonensis* and *Haplophragmoides perexplicatus*. Dinoflagelados: (D) *Andalusiella mauthei*, *Alisogymnium euclaense*, *Dinogymnium digitus* y *Trichodinium castanea*.

Santoniano?: Área de Piedras: Foraminíferos: (P) *Achaeoglobigerina blowi*, *Achaeoglobigerina cretacea*, *Hastigerinooides* sp. y *Planoheterohelix reussi* (*Heterohelix reussi*).

Turoniano, Coniaciano y Santoniano temprano: Área de Piedras y el este del Sinclinal de Guaduas: Foraminíferos: (P) *Archaeoglobigerina cretacea*, *Archaeoglobigerina blowi*, *Archaeoglobigerina bosquensis*, *Contusotruncana fornicata*, *Marginotruncana sinuosa*, *Muricohedbergella delrioensis* (*Hedbergella delrioensis*), *Muricohedbergella flandrini* (*Hedbergella flandrini*), *Planoheterohelix moremani* (*Heterohelix moremani*), *Planoheterohelix reussi* (*Heterohelix reussi*), *Pseudogüembelina costulata*, *Whiteinella archaeocretacea* y *Whiteinella Inornata*.

7. *Maastrichtiano temprano-tardío*: Foraminíferos: (P) Zona de *Globotruncana aegyptiaca*: *Globotruncana aegyptiaca*, *Globotruncana stuarti* (*Globotruncanita stuarti*), *Rugoglobigerina hexacamerata*, *Rugoglobigerina pennyi* y *Trinitella scotti* (*Rugoglobigerina scotti*). Zona de *Gansserina gansseri*: *Gansserina gansseri*, *Globotruncanella havanensis*, *Globotruncanella petaloidea*, *Pseudotextularia elegans* y *Racemiguembelina fructicosa*. Nanofósiles: (N) biozona CC24a-CC25: *Reinhardtites levis*, *Uniplanarius gothicus* (*Quadrum gothicus*) y *Arkhangelskiella cymbiformis*.

Campaniano tardío: Foraminíferos: Zona de *Globigerinelloides multispinus*: *Globigerinelloides multispinus*, *Globigerinelloides prairiehillensis*, *Laeviheterohelix pulchra* y *Pseudoguembelina constulata*. Nanofósiles: (N) biozona CC22b: *Reinhardtites levis* y *Reinhardtites anthophorus*.

Coniaciano?: Foraminíferos: (P) Zona de *Dicarinella concavata*: *Archaeoglobligerina blowi*, *Archaeoglobligerina cretacea*, *Contusotruncana fornicata*, *Dicarinella concavata*, *Dicarinella primitiva*, *Muricohedbergella planispira* (*Hedbergella planispira*), *Laeviheterohelix pulchra*, *Marginotruncata angusticarinata*, *Marginotruncana sigali* y *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*).

8. *Campaniano tardío – Maastrichtiano*: Vereda Contreras: Dinoflagelados: (D) *Alisogymnium euclaense*, *Andalusiella polymorpha*, *Areoligera senonensis* y *Senegaliium bicavatum*.

Campaniano: Río Vichía: Dinoflagelados: (D) *Alisogymnium euclaense*, *Dinogymnium* cf. *digitus*, *Fromea fragilis*, *Trithyrodinium* cf. *fragile*, *Andalusiella polymorpha*, *Senegaliium bicavatum* y *Senegaliium laevigatum*. Río Cucuana: Dinoflagelados: (D) *Alisogymnium euclaense* y *Dinogymnium* sp. Polen: (Po) *Araucariacites australis* y *Psilamonocolpites* sp.

Santoniano? – Maastrichtiano?: Río Vichía: Dinoflagelados: **(D)** *Alisogymnium euclaense* y *Dinogymnium* sp.

Coniaciano/Santoniano – Maastrichtiano: Vereda Contreras: Dinoflagelados: **(D)** *Dinogymnium acuminatum*. Esporas: **(E)** *Cicatricosisporites* sp.? y *Psilatriletes* sp.? (retrabajado).

9. *Maastrichtiano:* Foraminíferos: Zona de *Siphogenerinoides bramlettei/Rugoglobigerina rugosa:* **(P)** *Globotruncana aegyptiaca*, *Globotruncanita pattersi*, *Heterohelix striata*, *Rugoglobigerina macrocephala* y *Rugoglobigerina rugosa*. **(B)** *Bolivina incrassata*, *Gavelinella nacatochensis*, *Gavelinella sandidgei*, *Gyroidina depressa*, *Praebulimina kickapooensis*, *Siphogenerinoides bramlettei* y *Siphogenerinoides clarki*.

Campaniano tardío: Foraminíferos: Zona de *Siphogenerinoides bermudezi:* **(P)** *Globigerinelloides* sp. **(B)** *Gavelinella sandidgei*, *Siphogenerinoides bermudezi*, *Praebulimina kickapooensis* y *Praebulimina cushmani*.

Campaniano: Foraminíferos: **(B)** Zona de *Bolivina explicata:* *Bolivina explicata*, *Dentalina* sp., *Gavelinella sandidgei*, *Gyroidinoides* sp., *Hoeglundina supracretacea*, *Nodosaria* sp., *Praebulimina kickapooensis*, *Siphogenerinoides bermudezi*, *Siphogenerinoides revoluta* y *Siphogenerinoides uhli*.

Coniaciano tardío: Foraminíferos: **(P)** Zona de *Whiteinella baltica/Marginotruncana sinuosa:* *Marginotruncana sinuosa*, *Marginotruncana renzi*, *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Whiteinella aprica* y *Whiteinella baltica*.

Turoniano – Coniaciano tardío: Foraminíferos: **(P)** Zona de *Heterohelix globulosa:* *Muricohedbergella flandrini* (*Hebdergella flandrini*), *Muricohedbergella* cf. *delrioensis* (*Hebdergella* cf. *delrioensis*), *Muricohedbergella planispira*

(*Hebdergella planispira*), *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Whiteinella archaeocretacea* y *Whiteinella archaeocretacea*.

Turoniano: Foraminíferos: **(P)** Zona de *Whiteinella archaeocretacea*: *Clavhedbergella simplex* (*Hastigerinella simplex*), *Muricohedbergella* cf. *delrioensis* (*Hebdergella* cf. *delrioensis*), *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Planoheterohelix moremani* (*Heterohelix moremani*), *Whiteinella archaeocretacea* y *Whiteinella baltica*.

10. *Turoniano tardío* – *Coniaciano*: Amonites: **(A)** *Anagaudryceras?* sp., *Ankinatsytes venezolanus*, *Barroisiceras* cf. *onilahyense*, *Eulophoceras jacobii*, *Forresteria* (F.) sp., *Gauthiericeras* sp., *Hauericeras* cf. *madagascarensis*, *Paralenticeras sieversi*, *Peroniceras* (P.) *subtricarinatum*, *Prionocycloceras* sp., *Prionocycloceras guayabanum*, *Reesidites subtuberculatum* y *Subprionotropis colombianus*.
Bivalvos: **(Bv)** *Dydimotis* sp. y *Mytiloides scupini*.

Turoniano temprano-medio: Amonites: **(A)** *Allocrioceras* sp., *Codazziceras ospinae*, *Hoplitoides* sp., *Hoplitoides ingens*, *Hoplitoides* cf. *lagiraldae* y *Paramammites?* sp.

Turoniano temprano: Bivalvos: **(Bv)** *Anomia* sp, *Mytiloides kossmati* y *Mytiloides goppelnensis*.

11. *Campaniano* – *Maastrichtiano*: Quebrada Aico y Buitrera: Polen: **(Po)** *Buttinia andreevi*, *Echimonocolpites protofranciscoi*, *Monocolpopollenites ovatus* y *Monocolpopollenites spheroidites*. Esporas: **(E)** *Foveotriletes margaritae* y *Gabonispuris vigorouxii*. Dinoflagelados: **(D)** *Andalusiella gabonensis*, *Andalusiella polymorpha* y *Cerodinium diebeli*.

Campaniano: Quebrada Aico y Buitrera: Polen: **(Po)** *Araucariacites asutralis*. Esporas: **(E)** *Callialasporites dampieri*. Dinoflagelados: **(D)** *Dinogymnium lamarense*, *Dinogymnium digitus* y *Trithyrodinium fragile*.

Coniaciano – Santoniano: Quebrada Aico: Polen: **(Po)** *Araucariacites australis*.
Dinoflagelados: **(D)** *Dinogymnium acuminatum*, *Dinogymnium digitus*,
Odontochitina porifera, *Odontochitina operculata* y *Odontochitina costata*.

2.3.2 Cuenca Cesar-Ranchería

Tabla 2. Información paleontológica reportada para la Formación Molino. Grupo fósil: (P) Foraminíferos planctónicos, (B) Foraminíferos bentónicos, (N) Nanofósiles calcáreos, (Po) Polen, (E) Esporas y (D) Dinoflagelados.

	Autor(es)	Localización geográfica	Formación Molino	
			Grupo fósil	Edad
12	Gandolfi (1955)	Río Molino	P	Campaniano-Maastrichtiano
12	Petters (1955)	Río Molino	B	*Maastrichtiano
14	Cáceres et al. (1980) en Hernández (2000, 2003)	Pozo El Cerrejon-1	P-B	Santoniano- Maastrichtiano
15	Dueñas (1989)	Cuenca Cesar	Po-E-D	Maastrichtiano
16	Martínez (1989)		P	Maastrichtiano
17	Martínez y Hernández (1992)	**Río Molino	P	Campaniano tardío- Maastrichtiano temprano
18	Yepes (2001)		D	Maastrichtiano tardío, Maastrichtiano temprano y Campaniano tardío
19	Patarroyo et al. (2022)	Núcleo Diablito-1	P-B-N	Maastrichtiano tardío

* La zona de *Siphogenerinoides cretacea* en su referencia original (Petters, 1955) se ubica durante el Santoniano – Campaniano, sin embargo, Martínez (1989) identifica que esta zona forma parte del Maastrichtiano según la recuperación de foraminíferos planctónicos.

** Formación Colón originalmente descrita por los autores en la sección Río Molino.

12. Foraminíferos: **(P)** *Gansserina gansseri* (*Globotruncana gansseri*), *Globotruncana arca*, *Globotruncana bollii* (*Globotruncanita stuartiformis*), *Globotruncana linneiana* (*Globotruncana tricarinata colombiana*), *Globotruncanita pettersi* (*Globotruncana rosetta pettersi*), *Globotruncana rosetta* (*Globotruncana caliciformis sarmientoi*) y *Globotruncana stuarti*.

13. Foraminíferos: **(B)** Zonas de *Ammobaculites colombianus*, *Siphogenerinoides bramlettei* y *Siphogenerinoides cretacea*.

14. Foraminíferos: **(P)** *Archaeoglobigerina cretacea* (*Globigerina cretacea*), *Contusotruncana fornicata* (*Globotruncana fornicata*), *Gaudrina navarroana*,

Globotruncana ventricosa (*Globotruncana canaliculata ventricosa*), *Guembelitra cretacea*, *Planoheterohelix globulosa* (*Gumbelina globulosa*) y *Pseudoguembelina excolata* (*Guembelina excolata*). **(B)** *Dorothia bullata*, *Haplophragmoides eggeri*, *Haplophragmoides excavata*, *Pullenia bulloides*, *Siphogenerinoides bramlettei*, *Siphogenerinoides cretacea* y *Siphogenerinoides parva*.

15. Polen: **(Po)** *Bacumorphomonocolpites tausae*, *Buttinia andreevi*, *Proteacidites dehaani*, *Tetradites umirensis*, *Spinizonocolpites baculatus*, *Spinizonocolpites echinatus* y *Syncolporites lisamae*. Esporas: **(E)** *Foveotriletes margaritae*. Dinoflagelados: **(D)** *Dinogymnium acuminatum* y *Senegalinium bicavatum*.

16. Foraminíferos: **(P)** Zona de *Abathomphalus mayaroensis*: *Abathomphalus mayaroensis*, *Globigerinelloides volutus*, *Contusotruncana contusa* (*Rosita contusa*), *Pseudoguembelina* cf. *kempensis*, *Contusotruncana* cf. *plicata* (*P.* cf. *navarroensis*) y *Rugoglobigerina macrochepala*. Zona de *Gansserina gansseri*: *Gansserina gansseri*, *Gansserina wiedenmayeri*, *Globotruncana orientalis* y *Globotruncanita stuarti*. Zona de *Globotruncana aegyptiaca*: *Globotruncana aegyptiaca*, *Globotruncana linneiana*, *Globotruncana ventricosa*, *Contusotruncana patelliformis* (*Rosita* cf. *patelliformis*), *Contusotruncana fornicata* (*R. fornicata*) y *Archeoglobigerina cretacea*.

17. Foraminíferos: **(P)** *Globotruncana calcarata* y *Globotruncana ventricosa*.

18. *Maastrichtiano tardío*: Dinoflagelados: **(D)** *Kenleyia* sp., *Disphaerogena carposphaeropsis*, *Glaphyrocysta perforata*, *Manumiella seelandica* y *Thalassiphora patula*.

Maastrichtiano temprano: Dinoflagelados: **(D)** *Areoligera* sp., *Senegalinium* sp., *Palaeocystodinium* spp. acme, *Phelodinium tricuspe*, *Florentinia mantelli*, *F. radiculata* acme, *Glaphyrocysta reticulosa*, *Yolkinidinium lanceolatum*, *Trithyrodinium evittii*, *Cerodinium diebeli*, *Areoligera* spp., *Cerodinium* spp., *Palaeohystrichophora infusorioides* y *Odontochitina operculata*.

Campaniano tardío: Dinoflagelados: (D) Andalsiella spp, Xenascus ceratioides y Trichodinium castanea.

19. Foraminíferos: **(P)** *Spiroplecta americana*, *Pseudoguembelina excolata* y *Rugoglobigerina macrocephala*. **(B)** *Ammobaculites colombiana*, *Plummerita hantkeninoides?* y zona de *Siphogenerinoides bramletti*. Nannofossils: **(N)** *Arkhangelskiella maastrichtiensis* y *Arkhangelskiella cymbiformis*.

2.3.3 Cuenca Valle Superior del Magdalena

Tabla 3. Información paleontológica reportada para la Formación Cansona. Grupo fósil: (P) Foraminíferos planctónicos, (B) Foraminíferos bentónicos, (N) Nanofósiles calcáreos, (R) Radiolarios, (Po) Polen, (E) Esporas, (D) Dinoflagelados y (A) Amonites.

	Autor(es)	Localización geográfica	Formación Cansona	
			Grupo fósil	Edad
20	Chenevart (1963)	Cerro Maco	P-B	Campaniano-Maastrichtiano
21	Duque-Caro (1967a,b, 1968)	Quebrada Columbita (Chalán)	P-B	Cretácico Tardío
22	Etayo et al. (1969)	Cerro Cansona	A	Coniaciano
23	Duque-Caro (1972 a,b)	Quebrada Alferez (Cerro Cansona)	P-A	Coniaciano y Campaniano-Maastrichtiano
24	Guzmán et al. (1994, 2004), Clavijo y Barrera (2001)	Quebrada Columbita	P-B	Santoniano-Campaniano y Campaniano-Maastrichtiano
25	Geotec (1997, 2003)	Sector San Carlos	P-R	Campaniano-Maastrichtiano
26	Herrera et al. (2009)	Quebradas Peñitas y El Salto	P-E-D	Campaniano y Maastrichtiano
27	Dueñas y Gómez (2013)	Quebrada Peñitas (Chalán)	Po-D	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano y Maastrichtiano tardío
28	Barrantes et al. (2019)	Vereda Arroyón	N	Santoniano tardío-Maastrichtiano

20. Foraminíferos: **(P)** *Globotruncana arca*, *Globotruncana* aff. *bulloides* (*Globotruncana* aff. *austinensis*), *Globotruncana plummeri* (*Contusotruncana plummerae*), *Globigerina* sp. y *Guembelina* sp. **(B)** *Bulimina* sp.

21. Foraminíferos: **(P)** Zona de *Globotruncana-Guembelina*: *Globotruncana* spp., *Guembelina* sp., *Globigerina* spp. y *Rugoglobigerina* spp.

22. Amonites: *Reesidites subtuberculatum* y *Baculites* sp.

23. Foraminíferos: **(P)** Zonas de *Globotruncana* sp. y *Heterohelix* sp.: *Dicarinella concavata* (*Marginotruncana concavata*). **(A)** Amonitas del Coniaciano.
24. *Santoniano – Campaniano*: Foraminíferos: **(B)** *Siphonogenerinoides cretacea*.
- Campaniano – Maastrichtiano*: Foraminíferos: **(P)** *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Globotruncana* sp. y *Globigerinoides* sp. **(B)** *Bulimina* sp.
25. Foraminíferos: **(P)** *Contusotruncana fornicata* (*Globotruncana fornicata*), *Globotruncanella havanensis*, *Guembellina* sp., *Heterohelix* sp. y *Dictyomitia* sp. Radiolarios: **(R)** Zonas *Amphipyndax tylotus* y *Amphipyndax pseudoconulus*.
26. *Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano*: Foraminíferos: **(P)** *Archaeoglobigerina cretacea*, *Globotruncana arca*, *Contusotruncana fornicata*, *Planoheterohelix reussi* (*Heterohelix reussi*), *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Globotruncanella havanensis*, *Globotruncanella petaloidea*, *Archaeoglobigerina blowi* y *Clavishedbergella subdigitata* (*Hastigerinoides subdigitata*).
- Maastrichtiano tardío*: Foraminíferos: **(P)** Zonas de *Globotruncana aegyptiaca* y *Gansserina gansseri*: *Planoheterohelix globulosa* (*Heterohelix globulosa*), *Rugoglobigerina macrocephala* y *Globigerinelloides prairiehillensis*. Esporas: **(E)** *Zlivisporites blannensis*. Dinoflagelados: **(D)** *Ulmoideipites krempii*.
27. *Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano*: Dinoflagelados: **(D)** Zona *Andalusiella Cerodinium*: *Andalusiella mauthei*, *Cerodinium diebelli*, *Cerodinium granulastriatum*, *Odontochitina operculata*, *Palaeocystodinium australinum*, *Palaeohystrichophora infusorioides*, *Senegalinium bicavatum*, *Spiniferites multibrevis* y *Xenascus ceratoide*.

Maastrichtiano tardío: Polen: (Po) Zona Proteacidites dehaani: Buttinia andreevi, Echimonocolpites ruedae, Proxapertites humberoides, Spinizonocolpites baculatus, Spinizonocolpites echinatus, Ulmoideipites krempii y Zlivisporites blanensis.

28. Nanofósiles: (N) *Watznaueria barnesiae, Uniplanarius spp. y Retecapsa spp.*

2.3.4 Cuenca Tumaco Offshore

Tabla 4. Información paleontológica reportada para los sedimentos de Gorgonilla. Grupo fósil: (P) Foraminíferos planctónicos.

Autor(es)	Localización geográfica	Sedimentos de Gorgonilla	
		Grupo fósil	Edad
29 Bermúdez et al. (2016)		P	Maastrichtiano tardío
30 Renne et al. (2018)	Islas Gorgona y Gorgonilla	P	Maastrichtiano
31 Bermúdez et al. (2019)		P	Maastrichtiano

29. Foraminíferos: (P) Zona CF1: *Globotruncanita insignis (Globotruncana insignis), Globotruncana dupeblei, Globotruncana ventricosa, Plummerita hantkeninoide, Pseudoguembelina hariaensis, Kuglerina rotundata (Rugoglobigerina rotundata) y Rugoglobigerina hexacamerata.*

30. Foraminíferos: (P) *Planoheterohelix globulosa (heterohelix globulosa), Pseudotextularia elegans, Gublerina cuvillieri, Globigerinelloides praevolutus, Rugoglobigerina rugosa y Pseudoguembelina palpebra.*

31. Foraminíferos: (P) *Pseudoguembelina palpebra.*

2.3.5 Cordillera Occidental

Tabla 5. Información paleontológica reportada para el Miembro Nutibara de la Formación Penderisco. Grupo fósil: (P) Foraminíferos planctónicos, (B) Foraminíferos bentónicos, (N) Nanofósiles calcáreos y (R) Radiolarios.

	Autor(es)	Localización geográfica	Miembro Nutibara (Fm. Penderisco)	
			Grupo fósil	Edad
32	Com. oral Duque (1981) en Etayo-Serna et al. (1982)	Puente Rio Sucio (Antioquia)	P	Santoniano-Maastrichtiano
33	Duque-Caro (1989, 1990)	Dabeiba (Antioquia)	P-B-R	Cretácico Tardío
34	Patiño et al. (2019)	Quebrada El Limón	N	Santoniano temprano-Maastrichtiano
35	Pardo et al. (2020)	Vía Uramita-Dabeiba (Antioquia)	N	Santoniano-Maastrichtiano
		Vía Uramita-El Sireno (Antioquia)	N	Batoniano-Maastrichtiano

32. Foraminíferos: (P) *Rugoglobigerina* sp.

33. Foraminíferos: (P) *Globotruncana* sp., *Hedbergella* sp. y *Rugoglobigerina* sp. (B) *Rzehakina epigona*. Radiolaria: *Dictyomitra multicostata* y *Dictyomitra torquata*.

34. Nanofósiles: (N) *Watznaueria barnesae*, *Watznaueria fossacincta* y *Uniplanarius gothicus*.

35. Vía Uramita-Dabeiba: Nanofósiles: (N) *Watznaueria barnesae*, *Watznaueria fossacincta*, *Micula staurophora* y *Uniplanarius gothicus*. Vía Uramita-El Sireno: Nanofósiles: (N) *Watznaueria fossacincta* y *Watznaueria barnesae*.

2.4 Marco bioestratigráfico de los depósitos estudiados

La edad asignada a la sedimentación de los depósitos marinos estudiados corresponde al intervalo Turoniano – Maastrichtiano y se basa en amonites, bivalvos, foraminíferos, palinomorfos y nanofósiles calcáreos (Figura 4 y subcapítulo 2.3 con referencias en el mismo). Los depósitos orientales cuentan con mayor información bioestratigráfica que los depósitos occidentales debido al alto interés en la industria de hidrocarburos (Figura4). En la región oriental, el control de edad de los depósitos estudiados (Turoniano – Santoniano)

se basa inicialmente en amonites y bivalvos bien preservados (Bürgl y Dumit, 1954; Bürgl, 1961; Etayo et al., 1969; Etayo-Serna, 1979; Patarroyo, 2011; Patarroyo y Bengtson, 2017; Patarroyo et al., 2017), que posteriormente se complementan con palinología (Solé de Porta, 1972; Jaramillo y Yepes, 1994), foraminíferos (Bürgl y Dumit, 1954; Petters, 1955; Vergara, 1994, 1997; Guerrero et al., 2000; Martínez, 2003; Navarrete et al., 2018) y con nanofósiles calcáreos (De Romero et al., 2003; Pérez et al., 2018; Páez-Reyes et al., 2021) (Figura 4). No obstante, los depósitos del Campaniano – Maastrichtiano se han datado principalmente mediante foraminíferos, palinología (Bürgl y Dumit, 1954; Bürgl, 1961; Gandolfi, 1955; Petters, 1955; Martínez, 1989; Dueñas, 1989; Martínez y Hernández, 1992; Jaramillo y Yepes, 1994; Vergara, 1997; Guerrero et al., 2000; Tchegliakova y Mojica, 2001; Yepes, 2001; Terraza-Melo et al., 2002; Martínez, 2003) y escasos nanofósiles calcáreos (Tchegliakova y Mojica, 2001) (Figura 4). Entre estos estudios previos, el esquema biozonal propuesto por Martínez (2003) y la información palinológica de Jaramillo y Yepes (1994) y Garzón et al. (2012) en el Valle Superior del Magdalena (VSM) han contribuido a definir un marco bioestratigráfico robusto para abalizar los depósitos del Turoniano – Maastrichtiano. Del mismo modo, Pérez et al. (2018) han realizado una contribución significativa al describir nanofósiles del Coniaciano – Campaniano para los depósitos cercanos de la Formación La Luna en el VMM. Finalmente, los estudios de Martínez (1989) y Yepes (2001), basados en foraminíferos y palinomorfos, respectivamente, proporcionan información bioestratigráfica útil para analizar los depósitos del Maastrichtiano en la cuenca Cesar-Ranchería (Figura 4).

Resulta escasa la evidencia bioestratigráfica reconocida de los depósitos pre-Campanianos en la región occidental y la mayoría de los datos se refieren a depósitos del Campaniano – Maastrichtiano (Figura 4 y subcapítulo 2.3 con referencias en el mismo). Las determinaciones de edad publicadas para aquellos depósitos marinos en la cuenca CPSSJ se basan principalmente en la presencia de foraminíferos (Chenevart, 1963; Duque-Caro, 1967a, b, 1972a, b; Guzmán et al., 1994; 2004; Geotec, 1997, 2003; Clavijo y Barrera, 2001;

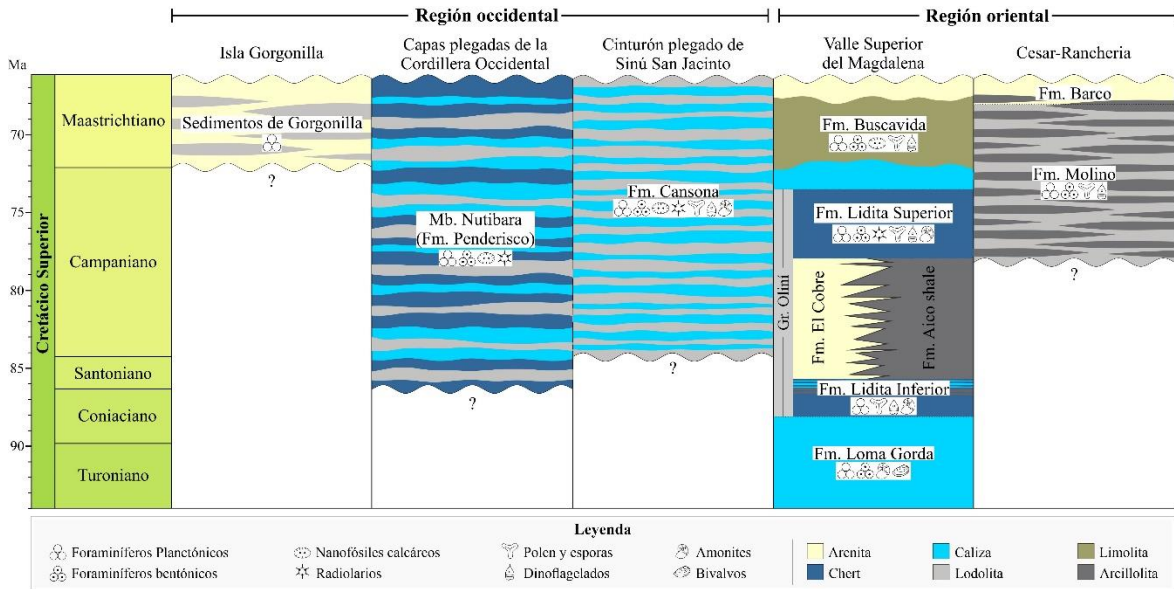


Figura 4. Marco cronoestratigráfico y litoestratigráfico de los yacimientos estudiados. Consulte los capítulos 2.2 a 2.4 para obtener más información sobre los autores y modelos de edad.

Guzmán, 2007; Herrera et al., 2009; Barrantes et al., 2019), aunque existen escasos datos disponibles derivados de estudios palinológicos realizados por Dueñas y Gómez (2013). Estos depósitos marinos también han sido considerados por uso de amonites y bivalvos con fines bioestratigráficos (Etayo-Serna et al., 1969; Duque-Caro, 1972a, b, 1973). Sin embargo, se cuestiona su valor bioestratigráfico porque se ha comprobado que están redepositados (Etayo-Serna, 1989; Duque-Caro, 1967b, 1972a, b) (Figura 4). En la Isla Gorgonilla, los estudios bioestratigráficos son mínimos y los datos publicados hasta el momento se basan en asociaciones de foraminíferos de edad cerca al límite K/Pg (Bermúdez et al., 2016; Renne et al., 2018; Bermúdez et al., 2019) (Figura 4). Las determinaciones de edad de los depósitos marinos al noroccidente de la Cordillera Occidental se basan en amonites, bivalvos (Etayo-Serna et al., 1982; Etayo-Serna, 1985, 1989; Moreno-Sánchez et al., 2002; Gómez-Cruz et al., 2002; Pardo-Trujillo et al., 2002a, b; Rodríguez y Arango, 2013; Díaz-Cañas y Patarroyo, 2014) y algunas menciones sobre foraminíferos y asociaciones de nanofósiles calcáreos, que parecen ser particularmente escasos en estos depósitos (Nelson, 1957, 1962; Théry, 1980; Etayo-Serna, 1982; Pardo-Trujillo et al., 2002b; Patiño et al., 2019; Pardo-Trujillo et al., 2020) (Figura 4). Estos trabajos han

informado edades que comprenden del Coniaciano? al Maastrichtiano (Figura 4). No obstante, hacia el norte de la Cordillera Occidental se han evidenciado amonites del Albiano interdigitados con rocas volcánicas de la Formación Barroso (Etayo-Serna et al., 1980; 1983).

3. Nanofósiles calcáreos

Los nanofósiles calcáreos son restos fósiles de composición calcárea de algas unicelulares menores de 30 μm . Están incluidos en un grupo muy heterogéneo de formas (e.g. cocolitofóridos, nanolitos, dinoflagelados calcáreos y otras formas semejantes). Muchos de los nanofósiles calcáreos se caracterizan por formar cocósferas, las cuales son exoesqueletos formados por los cocolitofóridos, un grupo de algas marinas que pertenecen al Phylum Haptophyta (Young, 1992; ver <http://ina.tmsoc.org/terminology/index.htm>). El registro estratigráfico de los nanofósiles calcáreos comprende el Triásico hasta la actualidad (Bown y Young, 1998).

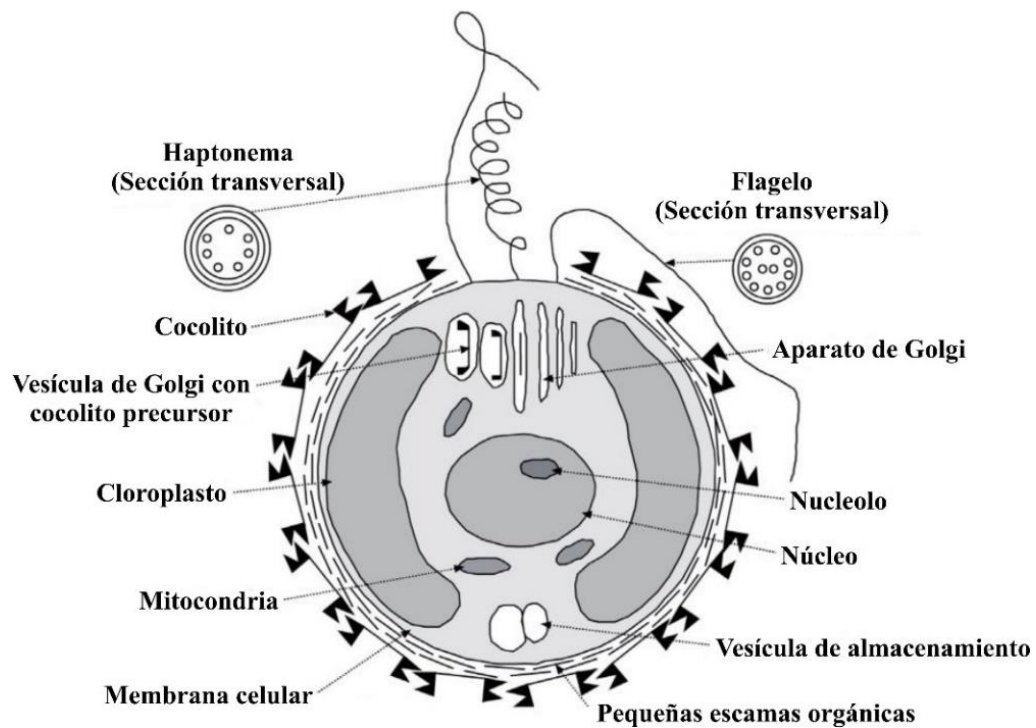


Figura 5. Anatomía de una célula de Cocolitofórido. Tomado y modificada de Bown (1998).

Comúnmente algunos autores presentan confusión con la terminología empleada para los nanofósiles calcáreos y organismos relacionados como los cocolitofóridos (Figura 5). A continuación, se describen de manera general algunos términos empleados.

Nanoplancton: Referente al plancton viviente de 2 a 63 μm de diámetro (Lohmann, 1909).

Nanoplancton calcáreo: Plancton viviente o nanopláncton con concha de composición calcárea (Lohmann, 1909).

Cocolitofórido: Fracción más importante del nanoplancton calcáreo y pertenece a algas unicelulares flageladas del Phylum Haptophyta, Clase Coccolithophyceae (Figura 5). Cuando se hace referencia a los fósiles, éstos corresponden a los restos esqueléticos calcáreos del alga, se pueden preservar completos formando cocosferas o más comúnmente como desagregados en forma de cocolitos individuales (Lohmann, 1902).

Cocolito: Unidad básica que rodea una cocosfera. Son estructuras calcáreas producidas por algas de la Clase Coccolithophyceae (Huxley, 1868).

Cocosfera: Cubierta esquelética calcárea de las algas de la Clase Coccolithophyceae (Wallich, 1860).

Nanofósiles: Fósiles menores a 63 μm de diámetro (Stradner, 1961).

Nanofósiles calcáreos: Nanofósiles de origen calcáreo menores a 30 μm (Bown y Young, 1999).

3.1 Ecología

Los cocolitofóridos son muy susceptibles a los factores que conforman su entorno tales como temperatura superficial del agua, disponibilidad de nutrientes, posición en la columna de agua y/o salinidad (Shackleton y Kennett, 1975; Raffi y Flores, 1995; Farrell et al., 1995; Backman y Raffi, 1997; Raffi et al., 2006; Holbourn et al., 2007). Los cocolitóforos en su estadio de vida son autótrofos, es decir, requieren de la luz del sol para sobrevivir, son exclusivamente marinos, habitan en la zona fótica (primeros 200 m de la columna de agua)

y juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono debido a su habilidad para realizar el proceso de fotosíntesis, durante este último proceso, la célula de un cocolitofórido segrega diminutos cristales de calcita en forma de placas (cocolitos) que juntos, seguidos unos del otro, forman una cocósfera que lo rodea (Figura 5) (Lohmann, 1902; Bown, 1998). La mayoría de las especies pueden vivir en condiciones diferentes de salinidad, lo que hace que sean mayormente cosmopolitas (Molina, 2004). Prefieren condiciones de temperatura de agua superficial cálida, lo que hace que proliferen en bajas a medias latitudes, algunas especies pueden migrar latitudinalmente cuando ocurren cambios en la temperatura (Haq, 1980). Los cocolitóforos se reproducen por división asexual, razón por la que se atribuye su rápida evolución (Molina, 2004).

3.2 Diferenciación latitudinal en la distribución de los nanofósiles calcáreos

Los trabajos realizados por Worsley y Martini (1970) en depósitos marinos del Cretácico Superior evidencian por primera vez una distribución latitudinal de los nanofósiles calcáreos en los océanos de acuerdo a la presencia de *Micula murus* (limitada a latitudes bajas) y *Nephrolithus frequens* (restringida a latitudes altas) (Tabla 1). Estas diferencias latitudinales se han delimitado en tres provincias paleobiogeográficas (Burnett, 1998), "Austral" que corresponde a paleolatitudes altas del sur $>40^{\circ}\text{S}$, "Boreal" a paleolatitudes altas del norte $>50^{\circ}\text{N}$ y "Tetiana" a paleolatitudes bajas-media entre $45^{\circ}\text{N} - 10^{\circ}\text{S}$ (Tabla 1). Siguiendo esta idea, el término Tetis es sinónimo de bajas latitudes y hace referencia a un amplio corredor ecuatorial (40°N-S) con asociaciones de nanofósiles de aguas más cálidas que se correlacionan entre sí (Wagreich, 1992). Esta diferenciación paleobiogeográfica parece ser más notoria durante el Campaniano – Maastrichtiano (Thierstein, 1976; Wise y Wind, 1977; Wise, 1988) y es factible que de manera similar a como sucede con el nanopláncton actual, ésta se deba principalmente a la temperatura y el contenido de nutrientes, (Roth y Berger, 1975; Roth y Bowdler, 1981; Thierstein, 1981). De esta forma, los nanofósiles de latitudes altas se interpretan como taxones de aguas frías y viceversa (Mutterlose et al., 2005). Ésto los convierte en una poderosa herramienta para realizar reconstrucciones

paleobiogeográficas y paleoceanográficas (Haq y Lohmann, 1976; Ruddiman y McIntyre, 1976; Haq, 1980).

Tabla 6. Definición aproximada de las provincias paleobiogeográficas de la nanoflora durante el Cretácico Tardío propuestas por Burnett (1998).

Provincia/Latitud	Países y/o regiones considerados
Boreal = $>50^{\circ}\text{N}$	Escandinavia, N Comunidad de Estados Independientes, Dinamarca, Alemania, N Reino Unido, Océano Ártico, N EE.UU.
Intermedia = $50\text{-}45^{\circ}\text{N}$	N Francia, S Inglaterra, Los Países Bajos, Bulgaria, República Checa, S Comunidad de Estados Independientes, EE.UU. central
Tetiana = $45^{\circ}\text{N}\text{-}10^{\circ}\text{S}$	Caribe, N América del Sur, S EE.UU., S Europa, N África, Arabia, Indonesia
Austral = $>35^{\circ}\text{S}$, pero generalmente $>40^{\circ}\text{S}$	Parte más S de América del Sur, S África y Australia; Nueva Zelanda; Islas Kerguelen y Malvinas; Antártida

4. Metodología de estudio

4.1 Recolección de muestras

Los resultados de nanofósiles calcáreos provienen del análisis de 119 muestras colectadas en las regiones del oriente y occidente de Colombia (Figura 1; Tabla 2). La región oriental incluye dos secciones estratigráficas, una sección expuesta a lo largo de la Quebrada Aico en la Cuenca VSM y un núcleo denominado ANH-LA LOMA-1 perforado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en la cuenca Cesar-Ranchería (Figura 1). La región occidental consta de dos secciones estratigráficas, la Cantera San Carlos en el CPSSJ en el Caribe y la Isla Gorgonilla en la cuenca de Tumaco *Offshore* en el Océano Pacífico (Figura 1). Debido a la presencia de depósitos altamente deformados y fragmentados de la Cordillera Occidental, fue imposible realizar un muestreo sistemático. Por ello, se analizaron doce muestras micropaleontológicas (cinco puntos de control) en busca de nanofósiles calcáreos para realizar correlaciones bioestratigráficas (Tabla 2). La resolución del muestreo varía según el espesor y grado de conservación de las secciones. En la Cantera San Carlos (20 m de espesor) se colectaron muestras cada metro, mientras que en la Isla Gorgonilla (~11 m de espesor) el muestreo fue de una a dos muestras/metro. En la Quebrada Aico (~284 m de espesor) recolectó una muestra cada 15 metros aproximadamente. Finalmente, en el material analizado del núcleo ANH-LA LOMA-1 (~626 m de espesor) se recolectó 1 muestra cada ~10 metros.

4.2 Preparación de las muestras para análisis micropaleontológico

Las muestras fueron preparadas por medio de la técnica estándar de frotis (Bown y Young, 1998), la cual consiste en colocar sobre un portaobjetos debidamente rotulado una porción de roca pulverizada no mayor a 2 gramos, agregar 1 a 2 gotas de agua destilada y esparcir con un palillo. Llevar a la plancha caliente a temperatura $\leq 70^{\circ}\text{C}$ (evitar ebullición) por 30

segundos y trasponer un cubreobjetos con bálsamo de Canadá. Finalmente, las placas se dejan sellar por un mínimo de 12 horas a temperatura entre 90 y 105°C aprox.

Tabla 7. Localidades estudiadas con su respectiva información, litoestratigráfica, número de muestras colectadas y espesor alcanzado. Las muestras se analizaron según tres tipos de depósito: sección estratigráfica (A: afloramientos), muestras de núcleo (N: núcleo) y estratos plegados (C: punto de control).

Región	Ubicación	Localidad	Unidad litoestratigráfica	Coordenadas	Número de muestras	Sección estratigráfica
Región	1	Núcleo ANH-LA LOMA-1	Fm. Molino	9°37'56.26"N 73°28'36,01"W	58	N (~626m)
	2	Quebrada Aico	Fms. Loma Gorda, Buscavida y Grupo Oliní	3°42'49.62"N 75°31'25.13"O	20	A (~284m)
	3	Cantera San Carlos	Fm. Cansona	9°14'38.28"N 75°47'18.07"W	21	A (~20m)
	4	Isla Gorgonilla	Mb. Nutibara (Fm. Penderisco)	2°56'00"N 78°12'00"W	8	A (~11m)
Región occidental	5	Cantera El Purgatorio	Fm. Cansona	8°41'11.26"N 75°50'0.85"W	1	C
	6	Vía Uramita – Dabeiba	Mb. Nutibara (Fm. Penderisco)	6°54'47.38"N 76°13'19.97"W	6	C
	7	Vereda El Sireno	Mb. Nutibara (Fm. Penderisco)	6°23'20.42"N 76°14'51.99"W	1	C
	8	Vía Santa Cecilia	Mb. Nutibara (Fm. Penderisco)	5°20'51.50"N 76° 6'28.33" W	1	C
	9	Cantera El Naranjo	Fm. Cisneros (Fm. Penderisco)	3°46'56.14"N 76°43'12.88"W	3	C

El análisis y conteo se realizó utilizando un microscopio de luz polarizada Nikon con aumento de 100x. En cada muestra se examinaron ocho transectas (aprox. 800 campos visuales), contando hasta 300 ejemplares (Anexo A). En los casos en que la abundancia fuese muy baja, se agregaron tres transectas para buscar especies con valor bioestratigráfico. La preservación de los nanofósiles calcáreos se evaluó siguiendo la escala cualitativa de Roth y Thierstein (1972), considerando como buena preservación buena: escasa o ninguna evidencia de disolución y/o recristalización, moderada: microfósiles poco disueltos y/o recristalizados, y pobre: ejemplares fuertemente disueltos y/o microfósiles recristalizados. Se consideraron cinco parámetros de abundancia relativa según Pérez et al. (2018): MA:

Muy Abundante (>10 especímenes por campo visual), A: Abundante (1 – 10 especímenes por campo visual), C: Común (1 espécimen por 2 – 10 campos visuales), P: Pobre (1 espécimen por 11 – 100 campos visuales) y R: Raro (1 espécimen por >101 campos visuales).

4.3 Consideraciones taxonómicas y bioestratigráficas

La clasificación de los nanofósiles calcáreos se basó en los esquemas taxonómicos de Bown y Young (1997) y Perch-Nielsen (1985), así también como en la información disponible en la base de datos en línea Nannotax (Young et al., 2017). Nuestros análisis bioestratigráficos se describieron de acuerdo a las biozonaciones estándar para aquellos depósitos de áreas de baja latitud del Cretácico Superior de Sissingh (1977, 1978) y Burnett (1998). Se utilizó el marco cronoestratigráfico y la nomenclatura de la Subcomisión Internacional de Estratigrafía del Cretácico <https://stratigraphy.org/> (Gale et al., 2020).

4.4 Lista alfabética de nanofósiles calcáreos

Los taxones identificados en este estudio, siguen las características morfológicas de acuerdo a los autores que se encuentran en la siguiente lista de acuerdo a la especie:

1. *Ahmuellerella octoradiata* (Gorka, 1957) Reinhardt (1964)
2. *Arkhangelskiella cymbiformis* Vekshina (1959)
3. *Braarudosphaera bigelowii* (Gran y Braarud, 1935) Deflandre (1947)
4. *Calculites obscurus* (Deflandre, 1959) Prins y Sissingh en Sissingh (1977)
5. *Ceratolithoides* cf. *C. dongenii* Lees (2007)
6. *Cribracorona* cf. *C. gallica* (Stradner, 1963) Perch-Nielsen (1973)
7. *Cribrosphaerella circula* (Risatti, 1973) Lees (2007)
8. *Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky, 1912) Deflandre en Piveteau (1952)
9. *Cyclagelosphaera margerelii* Noël (1965)

-
10. *Eiffellithus eximius* (Stover, 1966) Perch-Nielsen (1968)
 11. *Eiffellithus parallelus* Perch-Nielsen (1973)
 12. *Eiffellithus perch-nielseniae* Shamrock in Shamrock y Watkins (2009)
 13. *Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre en Deflandre y Fert, 1954) Reinhardt (1965)
 14. *Eprolithus* cf. *E. moratus* (Stover, 1966)
 15. *Eprolithus floralis* (Stradner, 1962) Stover (1966)
 16. *Gartnerago* cf. *G. costatum* (Gartner, 1968) Bukry (1969)
 17. *Kamptnerius magnificus* Deflandre (1959)
 18. *Lithastrinus grilli* Stradner (1962)
 19. *Lithastrinus septenarius* Forchheimer (1972)
 20. *Lithraphidites* cf. *L. praequadratus* Roth (1978)
 21. *Manivitella pemmatoidea* (Deflandre en Manivit, 1965) Thierstein (1971)
 22. *Microrhabdulus belgicus* Hay y Towe (1963)
 23. *Microrhabdulus decoratus* Deflandre (1959)
 24. *Microrhabdulus undosus* Perch-Nielsen (1973)
 25. *Micula adumbrata* Burnett (1997)
 26. *Micula concava* (Stradner en Martini y Stradner, 1960) Verbeek (1976)
 27. *Micula cubiformis* Forchheimer (1972)
 28. *Micula staurophora* (Gardet, 1955) Stradner (1963)
 29. *Micula swastica* Stradner y Steinmetz (1984)
 30. *Octocyclus* cf. *O. magnus* Black (1972)
 31. *Placozygus* cf. *P. fibuliformis* (Reinhardt, 1964) Hoffmann (1970)

-
32. *Prediscosphaera columnata* (Stover, 1966) Perch-Nielsen (1984)
 33. *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky, 1912) Gartner (1968)
 34. *Prediscosphaera spinosa* (Bramlette and Martini, 1964) Gartner (1968)
 35. *Quadrum gartneri* Prins y Perch-Nielsen en Manivit et al. (1977)
 36. *Reinhardtites anthoporus* (Deflandre, 1959) Perch-Nielsen (1968)
 37. *Reinhardtites levis* Prins Sissingh en Sissingh (1977)
 38. *Retecapsa angustiforata* Black (1971)
 39. *Retecapsa crenulata* (Bramlette y Martini, 1964) Grün en Grün y Allemann (1975)
 40. *Retecapsa surirella* (Deflandre y Fert, 1954) Grün en Grün y Allemann (1975)
 41. *Rhagodiscus angustus* (Stradner, 1963) Reinhardt (1971)
 42. *Staurolithites* (Caratini, 1963)
 43. *Tetrapodorhabdus decorus* (Deflandre en Deflandre y Fert, 1954) Wind y Wise en Wise y Wind (1977)
 44. *Uniplanarius gothicus* (Deflandre, 1959)
 45. *Uniplanarius sissinghii* (Perch-Nielsen, 1986) Farhan (1987)
 46. *Uniplanarius trifidus* Stradner en Stradner y Papp (1961)
 47. *Watznaueria barnesae* (Black en Black y Barnes, 1959) Perch-Nielsen (1968)
 48. *Watznaueria fossacincta* (Black, 1971) Bown en Bown y Cooper (1989)
 49. *Zeugrhabdotus diplogrammus* (Deflandre en Deflandre y Fert, 1954) Burnett en Gale et al. (1996)
 50. *Zeugrhabdotus embergeri* (Noël, 1959) Perch-Nielsen (1984)
 51. *Zeugrhabdotus scutula* (Bergen, 1994) Rutledge y Bown (1996)

5. Resultados

Los análisis micropaleontológicos muestran 35 (morfo) géneros y 50 (morfo) especies de nanofósiles calcáreos (Láminas 1-5, Anexo A). Los nanofósiles de los depósitos orientales fueron raros a abundantes y las asociaciones estaban dominadas por *Watznaueria* y *Micula*. Esta asociación estuvo acompañada por *Prediscosphaera*, *Cribrosphaerella*, y *Retecapsa*, en la sección de la Quebrada Aico y por picos de abundancia de *Kamptnerius magnificus* en el núcleo ANH-LA LOMA-1 (Láminas 1 y 2, Anexo A-Tablas A1 y A2). La abundancia de nanofósiles de las secciones estratigráficas occidentales varió de común a muy abundante y los nanofósiles calcáreos estuvieron dominados por los géneros *Watznaueria*, *Micula* y *Uniplanarius* (Láminas 3-5, Anexo A-Tablas A3-A5). La preservación de los microfósiles varió entre pobre y bien preservados en los depósitos orientales y pobremente preservados en los depósitos occidentales (Anexo A). Observamos que los depósitos orientales producen una mayor variedad de taxones (73 %) en comparación con los nanofósiles recuperados de las rocas occidentales (27 %). En contraste, nuestros conteos muestran que las muestras occidentales tienen una mayor abundancia de nanofósiles calcáreos (54%) que las muestras orientales (46%) (Anexo A). Entre las secciones estudiadas de la región oriental, los conjuntos micropaleontológicos del núcleo ANH-LA LOMA-1 fueron más diversos, pero menos abundantes que en la Quebrada Aico, mientras que las secciones analizadas de la Cantera San Carlos y la Cantera El Purgatorio, junto con la Isla Gorgonilla, registraron los nanofósiles más abundantes y diversos entre las secciones occidentales (Anexo A).

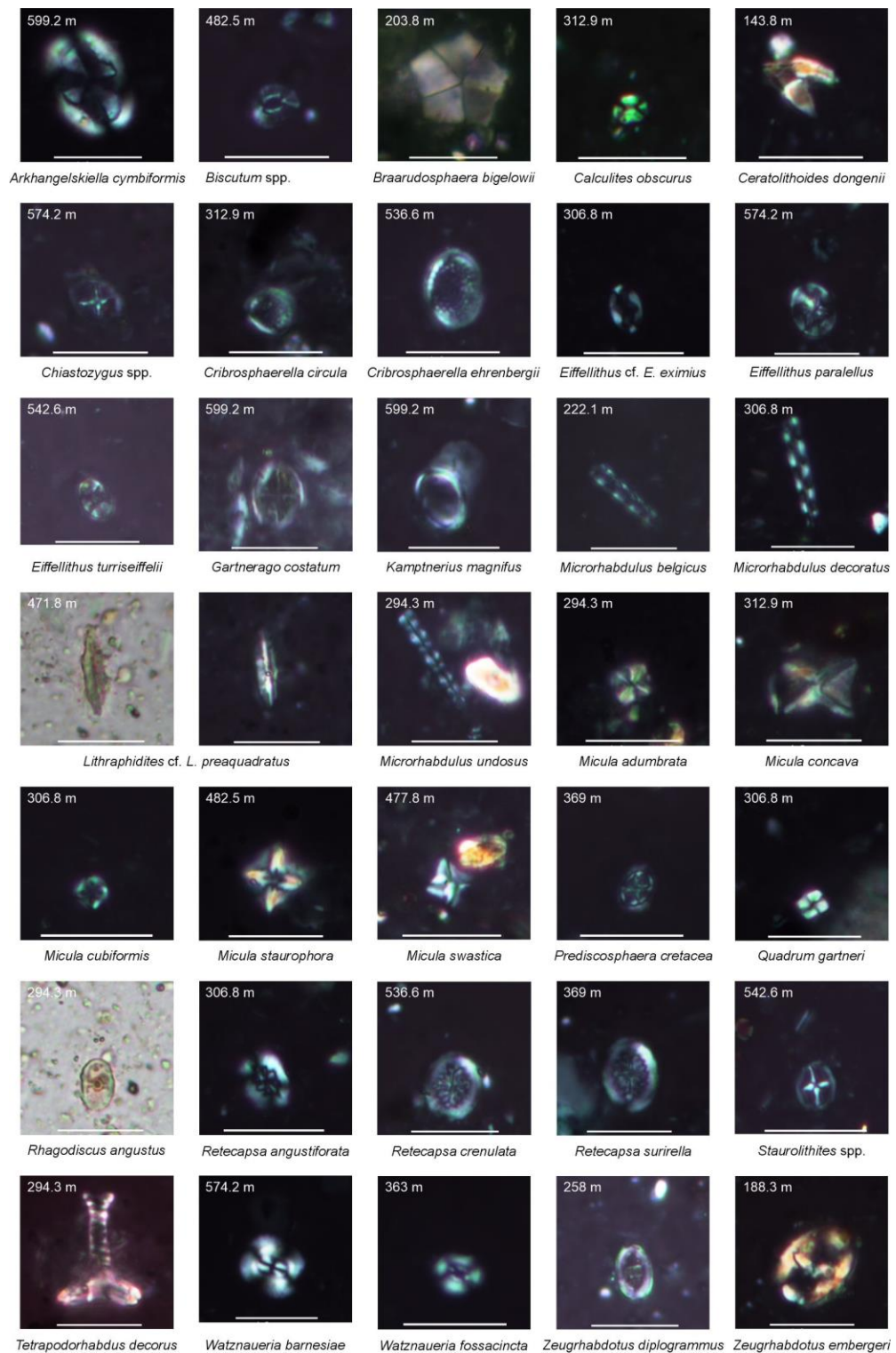


Figura 6. Microfotografías de algunos nanofósiles calcáreos recuperados en el núcleo ANH-LA LOMA-1 en la región oriental de Colombia

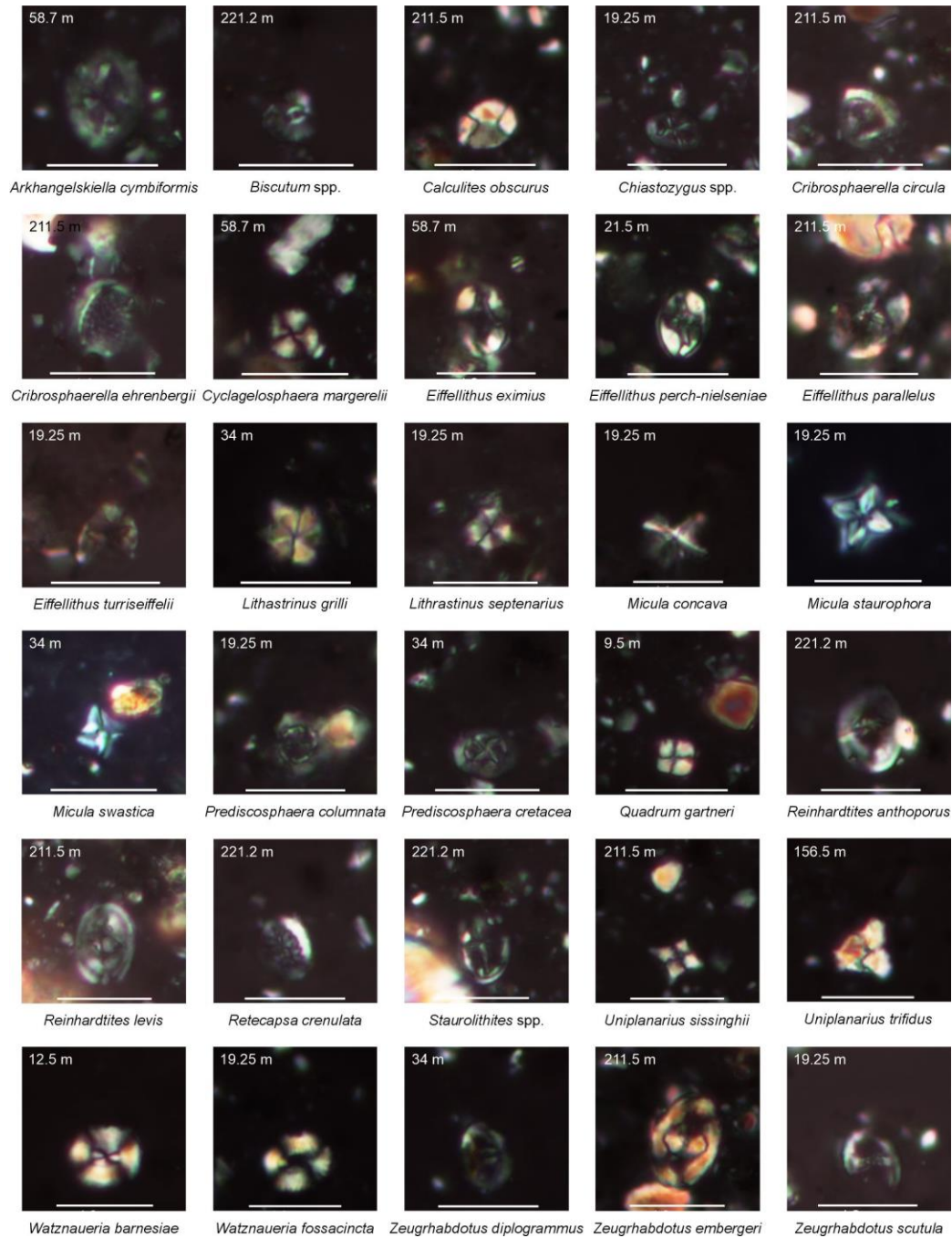


Figura 7. Microfotografías de algunos nanofósiles calcáreos recuperados en la sección Quebrada Aico en la región oriental de Colombia.

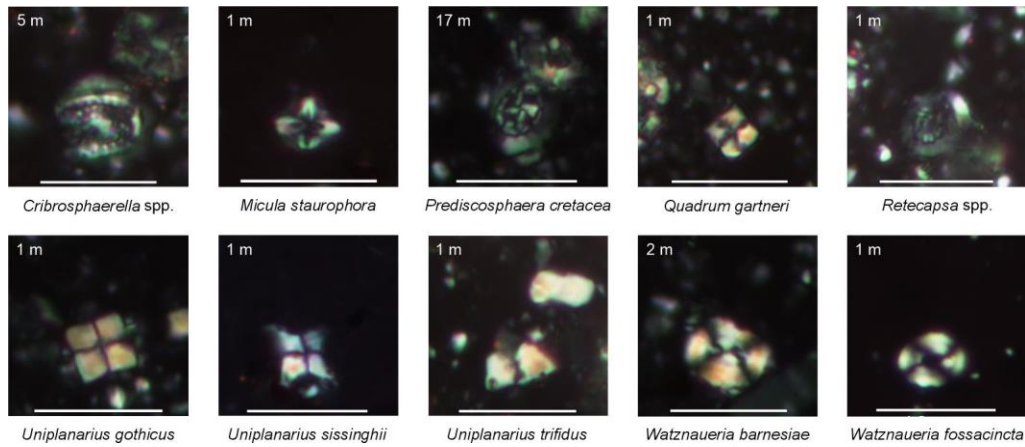


Figura 8. Microfotografías de algunos nanofósiles calcáreos recuperados en la sección Cantera San Carlos en la región occidental de Colombia.

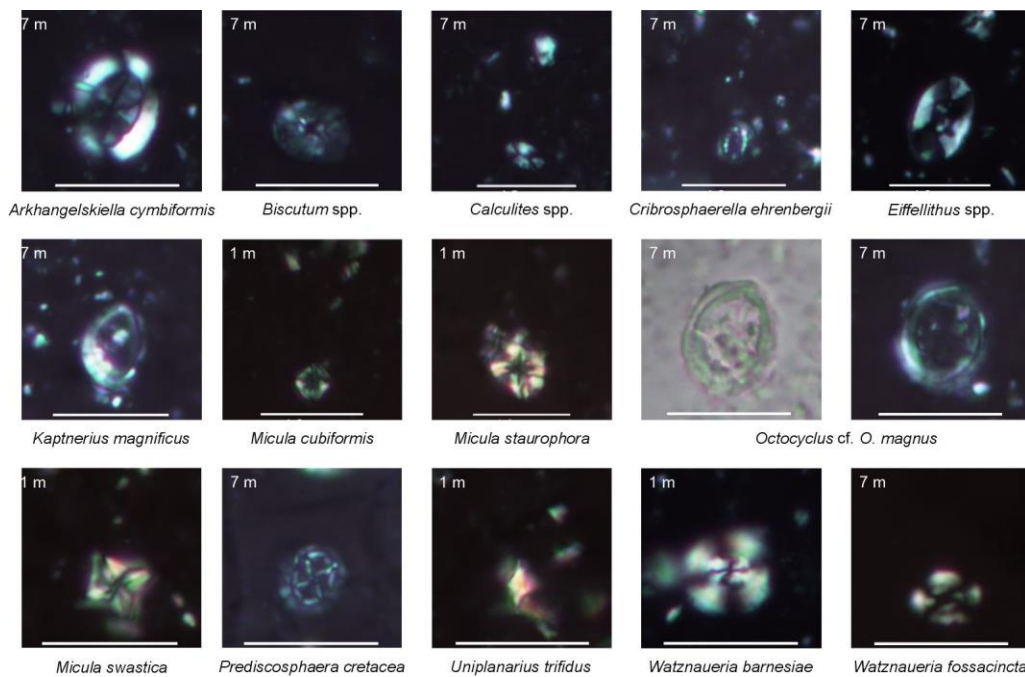


Figura 9. Microfotografías de algunos nanofósiles calcáreos recuperados en la sección Isla Gorgonilla en la región occidental de Colombia.

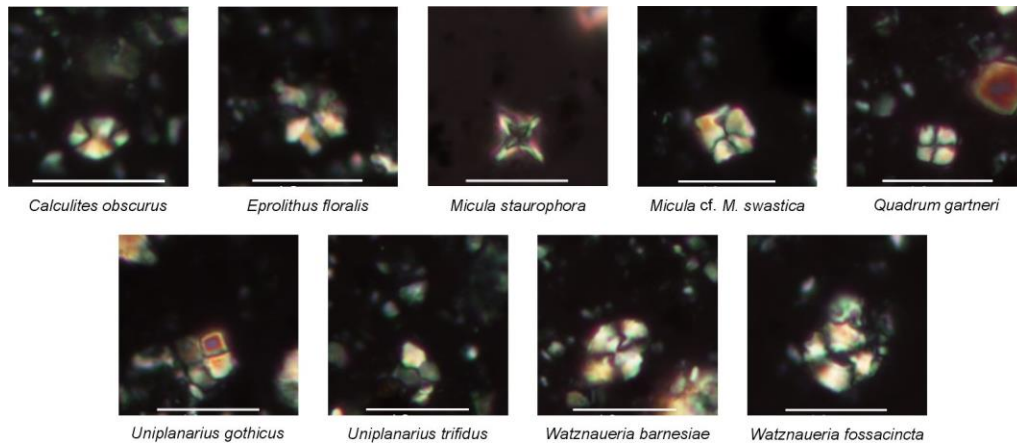


Figura 10. Microfotografías de algunos nanofósiles calcáreos recuperados en las capas plegadas de la Cordillera Occidental en la región occidental de Colombia.

Los resultados bioestratigráficos de este núcleo mostraron que 26 muestras fueron estériles en nanofósiles calcáreos y 32 fueron productivas con una preservación moderada a buena y abundancia escasa a común (Anexo A-Tabla A1). Esta sección estratigráfica presentó la mayor variedad morfológica encontrada en este estudio (29 géneros). Los géneros más comunes fueron *Micula* (29%) y *Watznaueria* (20%), y se encontraron junto con abundantes especímenes *K. magnificus* (19%). Otros géneros frecuentes fueron *Prediscosphaera* (4%), *Chiastozygus* (4%), *Cribrosphaerella* (3%), *Retecapsa* (3%), *Zeughrabdodus* (3%), *Eiffelithus* (3%), *Microrhabdulus* (2%), *Calculites* (2%) y *Staurolithites* (1%) (Figura 6, Anexo A-Tabla A1). En los primeros ~21 m, a la base del núcleo, las muestras de nanofósiles calcáreos fueron estériles, los picos de abundancia se presentaron entre ~144 m y ~599 m, Sin embargo, la abundancia y preservación de microfósiles mejoró entre ~204 m a ~313 m (Anexo A-Tabla A1). Los últimos ~138 m del núcleo carecen de microfósiles calcáreos (Figura 11). Los análisis bioestratigráficos revelaron que esta sección no presenta los marcadores bioestratigráficos clásicos de baja latitud. Se identificaron los microfósiles con valor bioestratigráfico *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Calculites obscurus*, *Micula staurophora* y *Prediscosphaera cretacea* indicativos de las biozonas UC13 (UC13a^{PB}) a UC20 (CC17 – CC26) del Campaniano temprano – Maastrichtiano (Figura 11).

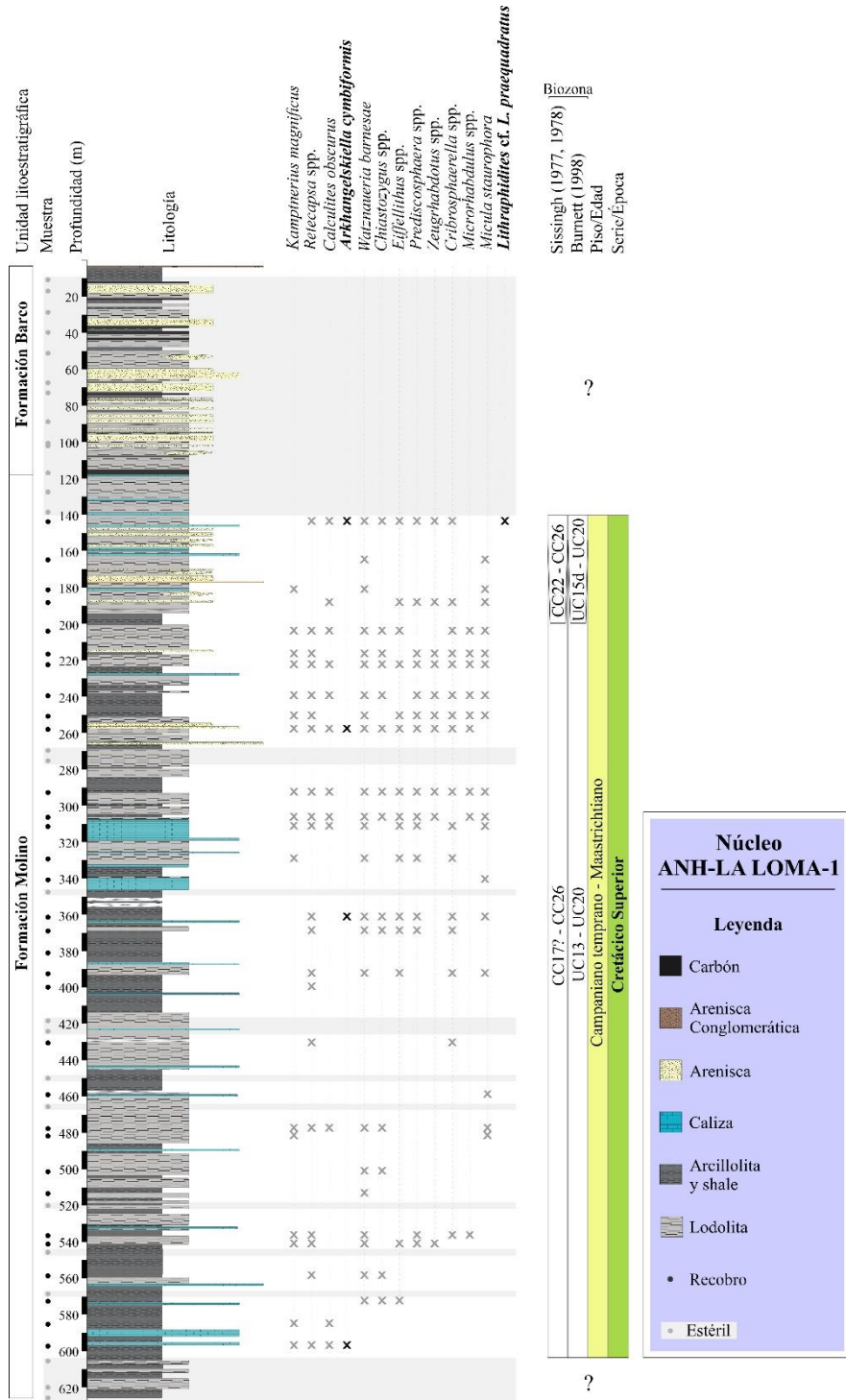


Figura 11. Distribución de los nanofósiles calcáreos más comunes en la sección estratigráfica del núcleo ANH-LA LOMA-1. La presencia de especies en la muestra está representada por una X, las especies con valor bioestratigráfico se presentan en negrita. Registro estratigráfico tomado de Ucaldas-Minciencias-ANH (2020).

Esta asignación biozonal está acompañada por *Lithraphidites* cf. *L. praequadratus* a ~144 m, una especie comúnmente utilizada en biozonaciones de latitudes altas durante el Campaniano – Maastrichtiano (Roth, 1978; Burnett, 1998). Los resultados cuantitativos mostraron que *Micula adumbrata*, exclusiva del Coniaciano (Burnett, 1998; Sissingh, 1977), se encontró irregularmente entre ~144 m y ~295 m y se consideró una especie redepositada. Asimismo, la presencia de *Prediscosphaera columnata* a ~313 m, cuya última aparición se ha registrado en el Turoniano (Burnett, 1998), también indicaría retrabajamiento (Anexo A-Tabla A1).

5.1 Sección Quebrada Aico

Los resultados micropaleontológicos de la sección Quebrada Aico mostraron que los nanofósiles calcáreos están de pobre a moderadamente preservados y la abundancia puede variar de rara a muy abundante. El número de taxones observados corresponde a 20 géneros. Los géneros más abundantes corresponden a *Watznaueria* (63%) y *Micula* (19%) y las siguen en menor abundancia *Prediscosphaera* (4%), *Retecapsa* (3%), *Cribrosphaerella* (2%), *Zeugrhadotus* (2%), *Eiffelithus* (1%), *Uniplanarius* (1%), *Reinhardtites* (1%) (Figura 7, Anexo A-Tabla A2). En esta sección, se diferenciaron un total de seis asociaciones, lo que permitió identificar biozonas del Turoniano temprano al Maastrichtiano (Figura 12). En la base de la sección (~7 m a ~13 m), los nanofósiles calcáreos fueron escasos y su preservación fue pobre, observándose la aparición esporádica de *Quadrum gartneri* desde ~9 m. Este marcador biozonal, cuya primera aparición ocurre al inicio de la biozona UC7 (CC11), indica que la primera muestra con recuperación de nanofósiles no es más antigua que el Turoniano temprano (Figura 12). La abundancia y preservación de las asociaciones de nanofósiles mejoró después de ~19 m, apareciendo por primera vez el marcador biozonal *Micula concava*, que tiene su primera aparición en la biozona UC11c (CC16) del Coniaciano superior (Burnett, 1998 y Sissingh 1977). Ésto restringe el intervalo entre ~9 y ~19 m (~10 m) a las biozonas UC7 – UC11b (CC11 – CC15), equivalente al rango Turoniano inferior – Coniaciano (Figura 12). En esta sección, la biozona UC11c (CC16) está delimitada por la primera aparición de *M. concava* y la última aparición de *Lithastrinus septenarius* (Burnett, 1998). La co-ocurrencia de estas dos especies solo se encontró a ~34 m, ratificando la

presencia de esta biozona y asignando una edad coniaciano superior – santoniano inferior a esta parte de la sección. El marcador biozonal *Lithastrinus grilli*, que aparece por primera vez en la base de la zona UC11, se encontró de manera similar a ~34 m, lo que respalda nuestra asignación zonal de UC11c (Figura 12). Por encima de este intervalo, el recuento de nanofósiles reveló la primera aparición de *A. cymbiformis* a ~59 m y la ausencia de *L. septenarius* y *L. grilli* en el resto de la sección. La primera aparición de *A. cymbiformis* define la base de la biozona UC13 cerca del límite Santoniano/Campaniano dentro de la biozona CC17 (Sissingh, 1977). Así, el intervalo comprendido entre ~34 y ~59 m (~25 m), se encuentra dentro de la biozona UC12 (Burnett, 1998) y el rango biozonal CC16 – CC17, que se extiende desde el Santoniano hasta la base del Campaniano inferior (Figura 12). La recuperación micropaleontológica desde ~59 hasta ~156 m (~97 m de espesor) se caracterizó por dos muestras que contienen nanofósiles mal preservados de *Eiffellithus*, *Micula*, *Prediscosphaera*, *Retecapsa* y *Watznaueria*, lo que dificulta las interpretaciones bioestratigráficas. Sin embargo, la aparición de *Uniplanarius trifidus* a ~156 m indica que este nivel no puede ser más antiguo que la biozona UC15d del Campaniano superior y ayuda a asignar tentativamente un rango biozonal de UC13 a UC15c (CC17 – CC21), equivalente a la parte inferior del Campaniano (Figura 12). Un aumento en la preservación y abundancia después de ~221 m nos permite observar la concurrencia de *Reinhardtites anthophorus* y *U. trifidus* y confirmar que el intervalo entre ~156 y ~221 m (~65 m) pertenece a las subzonas UC15d – UC15e (CC22) del Campaniano superior (Figura 12). Posteriormente, los nanofósiles calcáreos mostraron una disminución en la preservación y abundancia, lo que resulta en patrones de distribución de continuidad irregulares de los taxones *U. trifidus*, *Uniplanarius sissinghii* y *Reinhardtites levis* de ~237 a ~259 m (~22 m) (Figura 12). La última aparición de *U. trifidus* y *R. levis* define el tope de las biozonas UC17 (CC23b) y UC18 (CC24), respectivamente, en el Maastrichtiano temprano. Estos marcadores bioestratigráficos y la ausencia de *R. anthophorus* indican que la parte superior de la sección abarca las biozonas UC16 – UC17 (Burnett, 1988) y CC23 (Sissingh, 1977), equivalentes al Campaniano superior – Maastrichtiano inferior (Figura 12). La edad también está respaldada por la ocurrencia común de *U. sissinghii*, que tiene su última aparición en el Maastrichtiano temprano (Burnett, 1998).

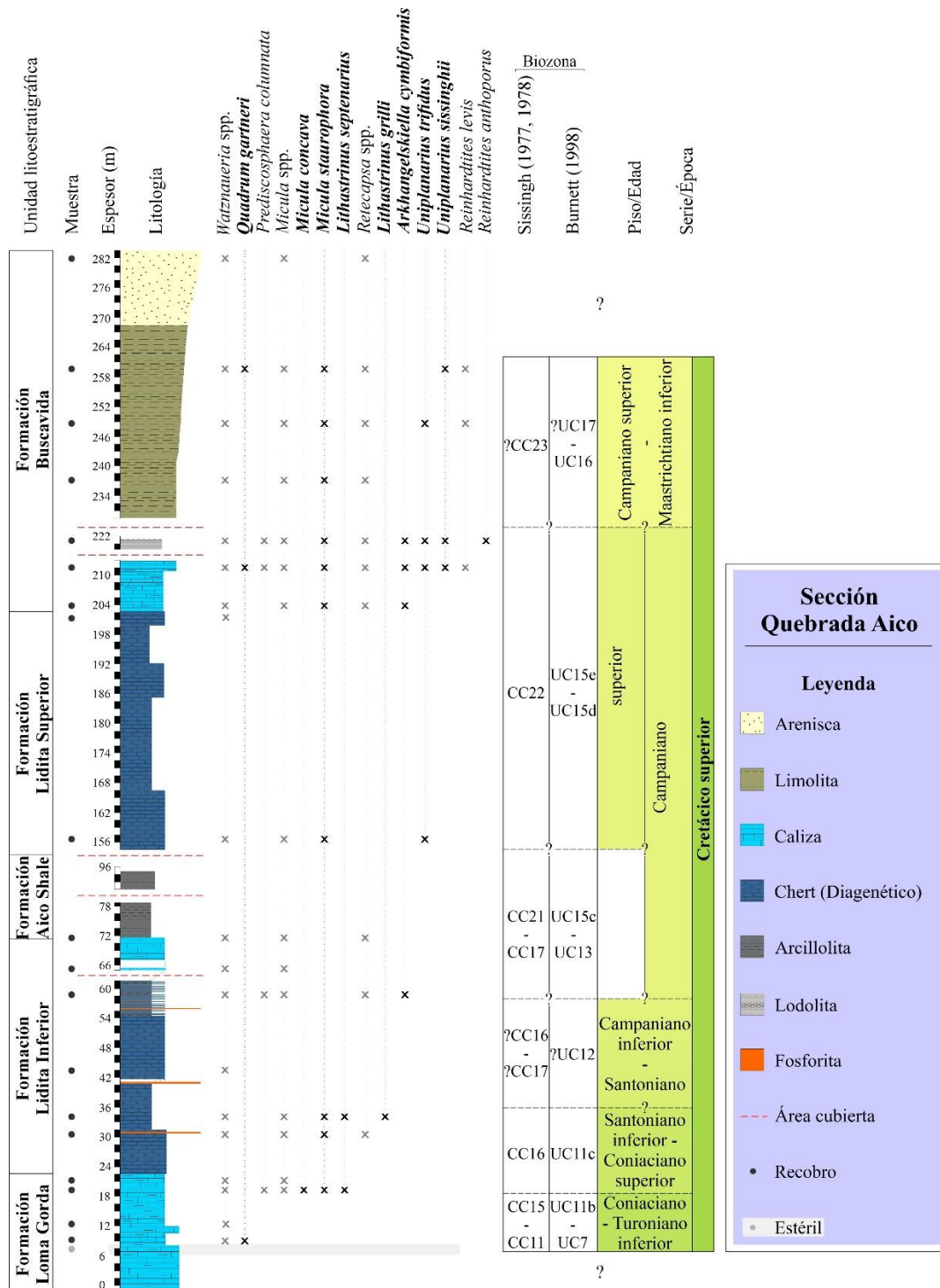


Figura 12. Distribución de los nanofósiles calcáreos más comunes en la sección estratigráfica de la Quebrada Aico. La presencia de especies en la muestra está representada por una X, las especies con valor bioestratigráfico se presentan en negrita. Registro estratigráfico tomado de Hernández (2021).

En la última muestra analizada a ~282 m, los nanofósiles calcáreos estaban pobremente preservados y son escasos, con una asociación compuesta por *Micula* spp., *Retecapsa* spp. y *Watznaueria* spp. (Anexo A-Tabla A2). Estos taxones se caracterizan por su amplio rango bioestratigráfico durante el Cretácico Tardío, lo que dificulta establecer con mayor precisión la edad de sedimentación. Aunque el número de taxones redepositados en la sección fue bajo, algunos ejemplares de *P. columnata* aparecen esporádicamente entre ~19 m y ~221 m. Este taxón, que tiene una distribución bioestratigráfica que va desde el Albiano hasta el Turoniano (Bown et al., 1998; Burnett, 1998), se encontró junto con asociaciones más jóvenes desde el Coniaciano hasta el Maastrichtiano (Figura 12). En resumen, la sección Quebrada Aico entre ~9 m y ~259 m cubre un intervalo bioestratigráfico desde la biozona UC7 (CC11), equivalente al Turoniano, hasta UC16 – ?UC17 (?CC23), que va desde el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano (Figura 12).

5.2 Sección Cantera San Carlos

El patrón de abundancia de los nanofósiles de esta sección osciló principalmente de común a muy abundante en los primeros ~13 m y de poco a raro de los ~14 m hacia arriba, con cuatro muestras estériles en este último intervalo (Figura 13). La preservación fue generalmente pobre y la mayoría de los especímenes se vieron afectados por el crecimiento excesivo y la recristalización; no obstante, en algunos casos donde la preservación fue moderada, se pudieron describir las características taxonómicas (Figura 8, Figura 13). Se identificaron ocho géneros los más abundantes correspondieron a *Watznaueria* (61%), *Micula* (23%) y *Uniplanarius* (11%), y en menor proporción *Quadrum* (3%) y *Retecapsa* (2%) (Figura 8, Anexo A-Tabla A3). Debido a que la asociación no cambia a lo largo de la sección, no es posible identificar bioeventos y por tanto límites biozonales (Figura 13). Sin embargo, en la base de la sección, la co-ocurrencia de *U. sissinghii* y *U. trifidus*, cuya aparición denota la base de la biozona UC15d, indica que la sección no puede ser más antigua que la biozona UC15d (CC22) del Campaniano superior (Burnett, 1998 y Sissingh, 1977) (Figura 13). Asimismo, el registro continuo de *U. trifidus* y *U. gothicus* hasta los ~13m

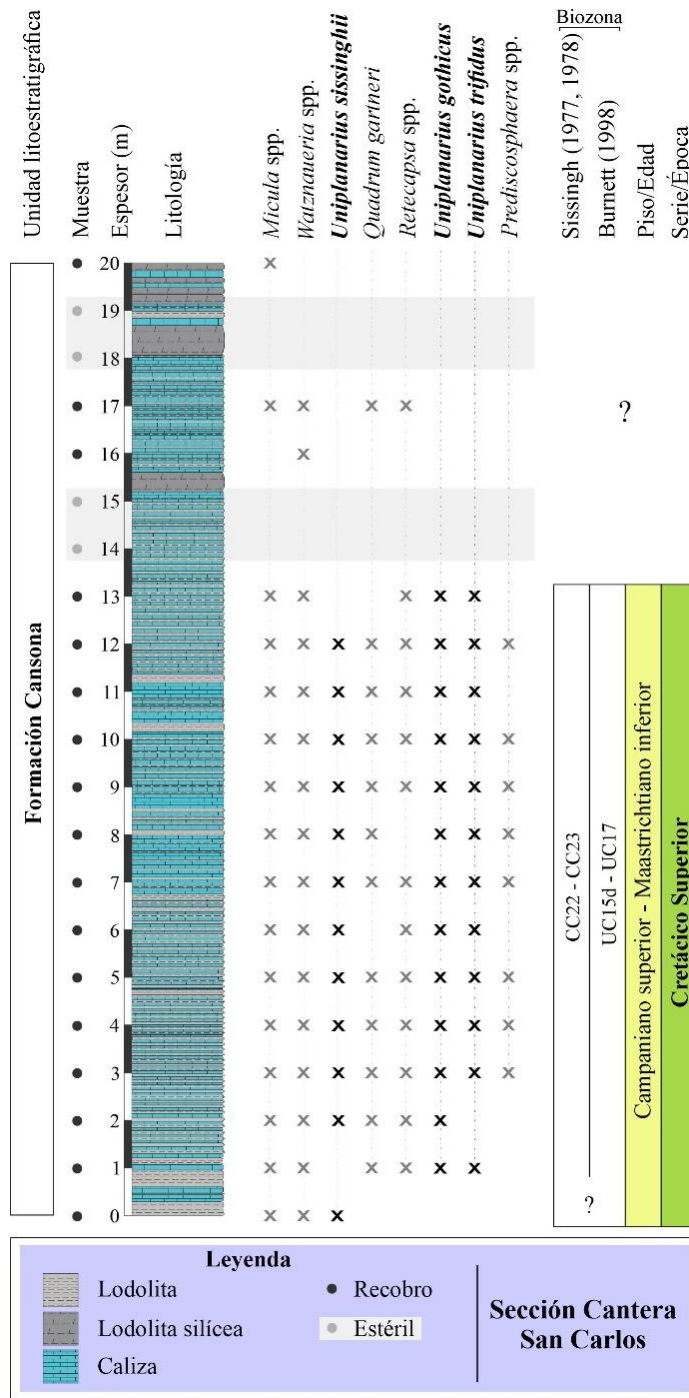


Figura 13. Distribución de los nanofósiles calcáreos más comunes en la sección estratigráfica de la Cantera San Carlos. La presencia de especies en la muestra está representada por una X, las especies con valor bioestratigráfico se presentan en negrita. Registro estratigráfico tomado de Giraldo-Villegas et al. (2022).

sugiere que la biozona no es más joven que UC17 (CC23b) ya que estas especies tienen su última aparición en el Maastrichtiano temprano (Burnett, 1998 y Sissingh, 1977). A los ~14 m ocurrió un cambio en la recuperación de nanofósiles calcáreos, evidenciándose patrones de distribución menos continuos debido a la ausencia de nanofósiles en algunas muestras hasta el tope del tramo (Figura 13). La asociación observada en este intervalo (últimos ~6 m) consistió en formas esporádicas de *Micula* spp., *Watznaueria* spp., *Q. gartneri* y *Retecapsa* spp. Si bien esta asociación es exclusiva del Cretácico Tardío, la falta de un registro regular y más abundante no permite asignar con precisión un rango biozonal y/o descartar procesos de redepositación. En resumen, la concurrencia de *U. trifidus*, *U. sissinghii* y *U. gothicus* restringe los primeros 13 metros de la sección a las biozonas UC15d – UC17 (CC22 – CC23) que se extienden desde finales del Campaniano hasta principios del Maastrichtiano. Además, la baja recuperación de nanofósiles calcáreos a partir de los ~14 m impide realizar análisis bioestratigráficos más detallados.

5.3 Sección Isla Gorgonilla

La información bioestratigráfica de esta sección de ~11 m de espesor se basa en ocho muestras (Figura 14). Los análisis micropaleontológicos mostraron que cinco muestras tienen una recuperación rara a abundante de nanofósiles, y tres muestras fueron estériles (Figura 14, Anexo A-Tabla A4). La preservación en estas muestras osciló entre pobre y moderada, con algunos especímenes recristalizados y ocasionalmente disueltos (Figura 9). Al igual que en la Cantera San Carlos, los taxones más abundantes fueron *Micula* spp. (60%) y *Watznaueria* spp. (32%). Sin embargo, la variedad morfológica fue ligeramente mayor (13 géneros) en esta sección, encontrándose *Arkhnagelskiella cymbiformis*, *Kamptnerius magnificus* y *Microrhabdulus* spp. (Figura 14, Anexo A-Tabla A4). Algunos otros taxones se cuantificaron en menor proporción, como *Retecapsa* spp., *Cribrosphaerella* spp., *U. trifidus*, *Calculites* spp., *Biscutum* spp. y *Prediscosphaera* spp. El marcador biozonal *U. trifidus* se observó esporádicamente a uno y siete metros junto con *A. cymbiformis* y *M. staurophora* (Figura 14). La ocurrencia de estas especies enmarca este intervalo estratigráfico entre las biozonas UC15d y UC17 (CC22 – CC23), correspondientes al Campaniano superior – Maastrichtiano inferior (Figura 14). El análisis de nanofósiles

mostró una disminución en la abundancia por encima de los 7 metros, incluidas dos muestras estériles. La asociación observada entre ~7 m y ~11 m consistió en *Micula* spp. y *Watznaueria* spp., que son igualmente indicativas del Cretácico Tardío. Sin embargo, la pobre recuperación en este segmento no nos permitió discriminar con precisión entre biozonas del Cretácico Superior ni descartar procesos de redepositación (Figura 14).

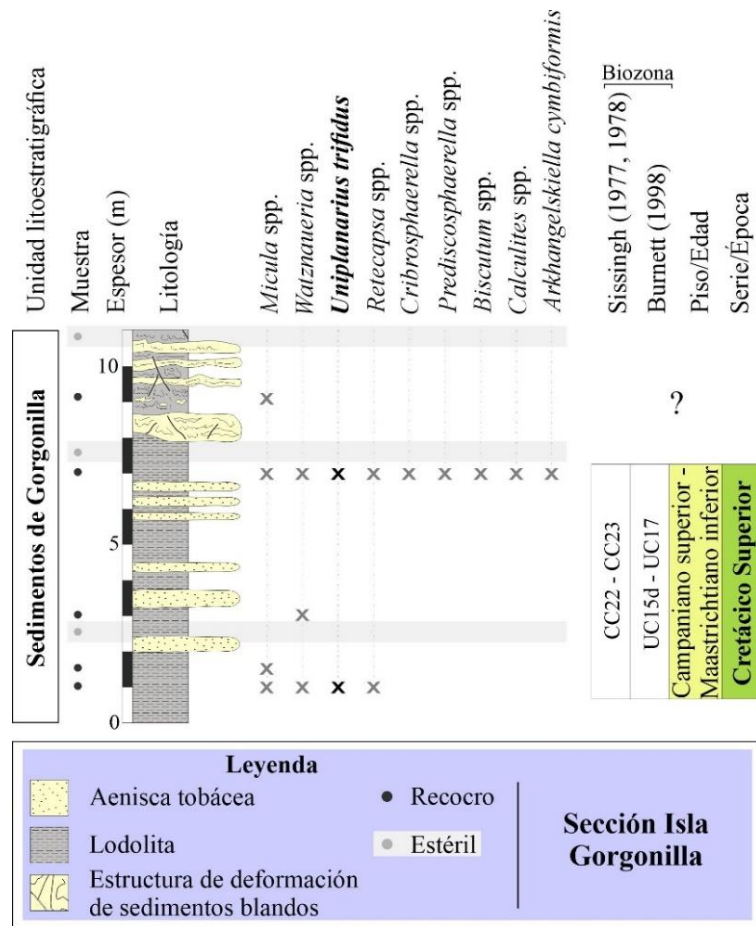


Figura 14. Distribución de los nanofósiles calcáreos más comunes en la sección estratigráfica de la Isla Gorgonilla. La presencia de especies en la muestra está representada por una X, las especies con valor bioestratigráfico se presentan en negrita. Registro estratigráfico tomado de Bermúdez et al. (2019).

5.4 Estratos plegados de la Cordillera Occidental

Nuestros análisis micropaleontológicos de los depósitos plegados de la Cordillera Occidental mostraron que las muestras de los afloramientos de la Cantera El Naranjo y la vía Santa Cecilia fueron estériles y los afloramientos de la Cantera El Purgatorio, vía

Uramita-Dabeiba y vereda El Sireno tuvieron recobro de nanofósiles calcáreos (Figura 15, Anexo A-Tabla A5). Esta recuperación se caracterizó por asociaciones pobremente preservadas. La muestra examinada de la Cantera El Purgatorio mostró abundantes nanofósiles de los géneros *Micula* (79%), y menor abundancia de *Watznaueria* (14%), *Retecapsa* (4%), *Uniplanarius* (3%) y *Quadrum* (1%) (Figura 10, Anexo A-Tabla A5). Los nanofósiles recuperados de muestras de la vereda El Sireno tuvieron igualmente un predominio del género *Watznaueria* (98%), que estuvo acompañado de escasa abundancia de *Uniplanarius* spp. (1,3%) y *Calculites obscurus* (0,4%) (Figura 15, Anexo A-Tabla A5). Las muestras recolectadas a lo largo de la vía Uramita-Dabeiba mostraron microfósiles raros a muy abundantes con abundantes especies del género *Watznaueria* (88%) y formas esporádicas de *Micula* spp. (9%), *Uniplanarius* spp. (3%) y *Quadrum gartneri* (0,2%) (Figura 15, Anexo A-Tabla A5). Las asociaciones micropaleontológicas de estas localidades se caracterizan por la concurrencia de los nanofósiles marcadores *U. trifidus* y *U. gothicus*. Éstos taxones coexistieron entre las biozonas UC15d y UC17 (Burnett, 1998) y CC22 y CC23 (Sissingh, 1977), lo que indica un rango de edad desde el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano (Figura 15). En la Cantera El Purgatorio, esta edad se corrobora con la presencia de *U. sissinghi*, cuya primera aparición se dio en la biozona UC15c y CC21 de Burnett (1998) y Sissingh (1977) respectivamente, indicando una edad no mayor al Campaniano tardío (Figura 15). Además, nuestros rangos biozonales y de edad sugieren que la presencia de *Eprolithus floralis*, cuyo intervalo bioestratigráfico se restringe desde el Albiano hasta el Campaniano temprano (Burnett, 1998), es indicativo de reelaboración en muestras de la vía Uramita-Dabeiba.

Unidad litoestratigráfica		Muestra										Biozona		Piso/Edad		Serie/Época	
Formación Cansona	FmCb 01	Uniplanarius gothicus	Uniplanarius trifidus	Uniplanarius spp.	Watznaueria spp.	Watznaueria fossacincta	Micula staurophora	Micula spp.	Quadrum gartneri	Retecapsa spp.	Uniplanarius sissinghii	CC23	UC17	Campaniano superior - Maastrichtiano inferior	Cretácico Superior	Cantera El Purgatorio	
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	CC22	UC15d				
Unidad litoestratigráfica	Muestra	Calculites obscurus	Uniplanarius gothicus	Uniplanarius trifidus	Uniplanarius spp.	Watznaueria spp.	Watznaueria fossacincta	Watznaueria barmesiae				Biozona				Vereda El Sireno	
			x	x	x	x	x	x	Sissingh (1977, 1978)	Burnett (1998)	CC23	UC17	Campaniano superior - Maastrichtiano inferior	Cretácico Superior			
	MbNc 01										CC22	UC15d					
Unidad litoestratigráfica	Muestra	Uniplanarius gothicus	Uniplanarius trifidus	Uniplanarius spp.	Watznaueria spp.	Watznaueria fossacincta	Watznaueria barmesiae	Micula staurophora	Micula spp.	Quadrum gartneri	Retecapsa spp.	Biozona				Vía Uramita-Dabeiba	
			x	x	x	x	x	x	x	x	x	Sissingh (1977, 1978)	UC: Burnett (1998)	NJT: Mattioli y Erba (1999)	CC23		UC17
	MbNb 06											CC22	UC15d	Campaniano superior - Maastrichtiano inferior	Cretácico Superior		
Miembro Nutibara (Formación Penderisco)	MbNb 01											CC26	UC20	Santoniano - Maastrichtiano	Cretácico Superior		
Miembro Nutibara (Formación Penderisco)	MbNb 05											CC16?	UC12				
Miembro Nutibara (Formación Penderisco)	MbNb 02											CC26	UC20	Batoniano - Maastrichtiano	Cretácico Superior		
	MbNb 03																
	MbNb 04												NJT11				

Figura 15. Distribución de los nanofósiles calcáreos más comunes en los estratos plegados de la Cordillera Occidental. La presencia de especies en la muestra está representada por una X, las especies con valor bioestratigráfico se presentan en negrita.

6. Discusión

6.1 Correlación bioestratigráfica con estudios previos de *La Luna Sea*

Las rocas sedimentarias de la sección Quebrada Aico en el VSM contienen el rango de edad más amplio y completo de los depósitos del Cretácico Superior estudiados. Estos resultados favorecen una correlación bioestratigráfica con los nanofósiles calcáreos del Turoniano – Campaniano tardío reportados previamente en el VMM por Pérez et al. (2018), quienes proponen una biozonación local para la Fm. La Luna debido a la ausencia de marcadores bioestratigráficos estándar de biozonaciones de baja latitud. Aunque las características tafonómicas observadas en esta investigación y el estudio de Pérez et al. (2018) son similares, nuestro análisis identificó marcadores bioestratigráficos de baja a media latitud (Figura 7), lo que facilita el uso de las biozonaciones estándar de Sissingh (1977, 1978) y Burnett (1998). Estudios previos basados en bioestratigrafía de amonites, bivalvos y foraminíferos indican un rango de edad desde el Turoniano hasta el Santoniano temprano para la Fm. Loma Gorda (Bürgl y Dumit, 1954, Bürgl, 1961; Martínez, 2003; Patarroyo, 2011). Martínez (2003) y Patarroyo (2011) ofrecen descripciones bioestratigráficas detalladas que sugieren una edad no mayor al Turoniano. Esto es consistente con nuestra edad turoniana de acuerdo a la aparición de *Q. gartneri* en la base de la sección, la cual incluye la biozona UC7 (CC11), equivalente al Turoniano temprano (Figura 12). Además, *M. concava* a ~19 m muestra que la biozona UC11c (CC16) se puede ubicar en el mismo intervalo estratigráfico, limitando la edad de la Fm. Loma Gorda al Coniaciano tardío – Santoniano temprano (Figura 12). Aunque nuestros datos impiden una interpretación bioestratigráfica más detallada para este intervalo, este rango de edad es similar a la edad bioestratigráfica documentada para la Fm. La Luna en el VMM y el VSM (Pérez et al., 2018; Páez-Reyes et al., 2021). Los depósitos ricos en materia orgánica y silíceos de la Fm. Lidita Inferior (base del Grupo Oliní), que descansa concordantemente sobre la Fm. Loma Gorda han sido datados como Coniaciano – Santoniano (Bürgl y Dumit, 1954, Jaramillo y Yepes,

1994; Guerrero et al., 2000; Tchegliakova y Mojica, 2001; Garzon et al., 2012). Además, datos palinológicos de la misma sección (Quebrada Aico) han sugerido que el límite Coniaciano/Santoniano se puede localizar en esta formación (Jaramillo y Yepes, 1994; Garzon et al., 2012). De acuerdo con nuestros resultados, la última aparición de *L. septenarius*, indicativa del tope de la biozona UC11c (CC16), sugiere que el intervalo estratigráfico en la base de la Fm. Lidita Inferior abarca un rango de edad entre el Coniaciano tardío y el Santoniano temprano (Figura 12). Este resultado sigue el modelo de Jaramillo y Yepes (1994) y Garzon et al. (2012), ofreciendo una oportunidad para que otros estudios adicionales de alta resolución caractericen el límite Coniaciano/Santoniano en esta sección. Una edad similar fue definida para la base de la Fm. La Luna (Pérez et al., 2018); sin embargo, su interpretación se basa en *Eprolithus* spp., el cual fue muy raro en la sección Quebrada Aico. La primera aparición de *A. cymbiformis* (~59 m), que marca la base de la biozona UC13 (parte superior de CC17), se observa en depósitos superiores de la Fm Lidita Inferior (Figura 12). Aunque este bioevento ha sido documentado como diacrónico, se ha observado regularmente cerca del límite Santoniano/Campaniano (Burnett, 1998; Dubicka et al., 2017; Kita et al., 2017; Wolfgring et al., 2018; Miniati et al., 2020). Sin embargo, información bioestratigráfica previa de la sección Aico Creek y otras localidades del Valle del Magdalena revelan que esta edad se atribuye a sedimentos de la Fm Aico Shale. (= formaciones El Cobre y Niveles de Lutitas) (Jaramillo y Yepes, 1994; Tchegliakova y Mojica, 2001; Martínez, 2003; Garzón et al., 2012). En consecuencia, proponemos que el límite litoestratigráfico entre las fms Lidita Inferior y Aico Shale propuesto por Hernández (2021), debe ser revisado y, si es necesario, posicionado en niveles estratigráficos más bajos en la sección Aico Creek debajo de la primera ocurrencia de *A. cymbiformis* (Figura 12). En la Fm. La Luna, este tiempo queda representado por un hiato que cubre el límite Santoniano/Campaniano (Navarrete et al., 2018; Guerrero et al., 2021). Debido a la baja resolución de muestreo para las formaciones Aico Shale y Lidita Superior (Figura 12), el único bioevento reconocido en la base de la Fm. Lidita Superior fue la primera aparición de *U. trifidus*, restringiendo esta parte de la sección al Campaniano superior (Figura 12). A pesar de la escasa recuperación, nuestra interpretación bioestratigráfica coincide con la de varios autores, que, de acuerdo con sus resultados bioestratigráficos derivados de

foraminíferos, dinoflagelados, amonites y nanofósiles calcáreos, han asignado a esta formación una edad campaniano tardío (Bürgl, 1961; Jaramillo y Yepes, 1994; Vergara, 1997; Guerrero et al., 2000; Tchegliakova y Mojica, 2001; Terraza-Melo et al., 2002; Martínez, 2003; Garzon et al., 2012). El contacto entre el tope del Grupo Oliní (Fm. Lidita Superior) y la Fm. Buscavida está marcada por un cambio litológico de rocas silicificadas a calcáreas (Hernández 2021). Los nanofósiles calcáreos en esta parte de la sección aumentaron en abundancia, mostrando los marcadores bioestratigráficos *U. trifidus* y *U. sissinghii*, que ocasionalmente se acompañan de *R. levis* y *R. anthophorus* (Figura 12). La concurrencia de *U. trifidus* y *U. sissinghii* se ha utilizado como indicador del intervalo desde UC15d a UC17 (CC22 a CC23), equivalente al Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano, mientras que *R. anthophorus* está restringido hasta la biozona UC15 a finales del Campaniano (Burnett, 1998). De acuerdo a esto, la determinación de la edad Campaniano tardío para la base de la Fm. Buscavida estaría en concordancia con estudios previos basados en palinología, foraminíferos y nanofósiles calcáreos (Bürgl y Dumit, 1954, Petters, 1955; Vergara, 1997; Guerrero et al., 2000; Tchegliakova y Mojica, 2001; Terraza-Melo et al., 2002; Martínez, 2003; Garzon et al., 2012). Sin embargo, esta edad basada en la presencia de *R. anthophorus* debe tomarse con cautela ya que la última aparición de este taxón ha sido documentada en secciones tipo del Maastrichtiano (Burnett en Cunha et al., 1997; Jelby et al., 2014; Thibault, 2016), provocando incertidumbre en su rango final durante el Campaniano tardío. Por lo tanto, recomendamos utilizar la coexistencia de *U. trifidus* y *U. sissinghii* como indicador del rango Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano entre las biozonas UC15d a UC17 (CC22 a CC23). En los depósitos del norte, en el VMM, a la Formación Umir se le ha asignado una edad campaniana tardía, basada en los nanofósiles calcáreos *Eifellithus parallelus* y *Broinsonia parca expansa* (Pérez et al., 2018). No obstante, la presencia de estos taxones no fue reconocida en las muestras analizadas.

6.2 Nanofósiles calcáreos del Maastrichtiano

Estudios previos de la Fm. Molino, han sugerido las edades maastrichtianas (Petters, 1955; Dueñas, 1989; Martínez, 1989) y campanianas – maastrichtianas (Gandolfi, 1955; Martínez y Hernández, 1992; Yepes, 2001). Los análisis micropaleontológicos realizados en el núcleo ANH-LA LOMA-1 mostraron que estos depósitos presentan nanofósiles calcáreos excepcionalmente bien preservados (Figura 11). A pesar de ésto, los marcadores bioestratigráficos tradicionales del Campaniano y Maastrichtiano no se observaron en el núcleo. Sin embargo, la edad del núcleo se basa en *A. cymbiformis*, que tiene un rango bioestratigráfico que se extiende desde la biozona UC13 (UC13a en provincia boreal) a UC20 (CC17 – CC26), lo que sugiere un rango de edad desde el Campaniano temprano hasta el Maastrichtiano (Figura 11). Una característica particular en la asociación de nanofósiles es la presencia de *Lithraphidites* cf. *L. praequadratus*, un indicador bioestratigráfico en biozonaciones de latitudes altas (Roth, 1978). Además, en este registro también se observaron valores de abundancia altos de *K. magnificus*, que en ocasiones dominó hasta el 19% de la asociación (Anexo A-Tabla A1). Diferentes sedimentos de aguas profundas recolectados en el océano Atlántico y el Mar Caribe han descrito una alta abundancia de este taxón en depósitos del Maastrichtiano tardío (Thibault y Gardin, 2006; Thibault et al., 2015a) como indicador de aguas oceánicas superficiales más frías (Thierstein, 1981; Thibault y Gardin, 2006, 2007; Thibault et al., 2015a, b; Sheldon et al., 2010; Guerra et al., 2016). Por lo tanto, interpretamos que la falta de indicadores bioestratigráficos de baja latitud en estos depósitos puede explicarse por condiciones más frías de las aguas superficiales, que afectaron las asociaciones de nanofósiles calcáreos en el norte de Colombia. La imposibilidad de reconocimiento hasta el momento de marcadores bioestratigráficos parece estar respaldada por condiciones particulares de surgencia durante este tiempo en otros lugares de la cuenca del Cesar Ranchería (Yepes, 2001; Martínez, 2003) y el norte de América del Sur a causa de la migración hacia el norte de la placa Suramericana con respecto al ecuador, que cambiaría el entorno paleoceanográfico de las aguas superficiales (Villamil, 1999).

6.3 Correlación bioestratigráfica entre depósitos del oriente y occidente

El análisis cuantitativo de nanofósiles calcáreos de las rocas sedimentarias plegadas de la Cordillera Occidental en la región occidental mostró una recuperación consistente de *U. trifidus*, ocasionalmente acompañado por *U. sissinghii* y *U. gothicus* (Figura 15). Estos nanofósiles coexistieron desde el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano, restringiendo aún más la edad coniaciana? – maastrichtiana previamente reportada para el Miembro Nutibara de la Formación Penderisco en la Cordillera Occidental (e.g. Mb. Nutibara) (Patiño et al., 2019; Pardo-Trujillo et al., 2020). La recuperación de *U. trifidus*, que también se encontró en depósitos de la sección Cantera San Carlos y la base de la sección Isla Gorgonilla en el Caribe y Pacífico, respectivamente, indica que estos depósitos situados en diferentes cuencas pueden ser correlacionados (Figura 16). Este hallazgo, aporta nueva evidencia para la correlación bioestratigráfica previamente propuesta entre las formaciones Cansona y el Miembro Nutibara de la Formación Penderisco, ambas ubicadas sobre la Placa del Caribe (Duque-Caro, 1972a; Patiño et al., 2019). Además, estos son los mismos nanofósiles de baja latitud observados en la Fm. Buscavida en el Valle Superior del Magdalena, lo que sugiere una correlación bioestratigráfica entre estos depósitos (Figura 16) y apoyaría interpretaciones previas de un océano tropical que conectaba ambas regiones (occidental y oriental) durante el Campaniano – Maastrichtiano (Etayo et al., 1969; Fabre, 1985; Díaz, 1994; Martínez, 2003; Dueñas y Gómez, 2013).

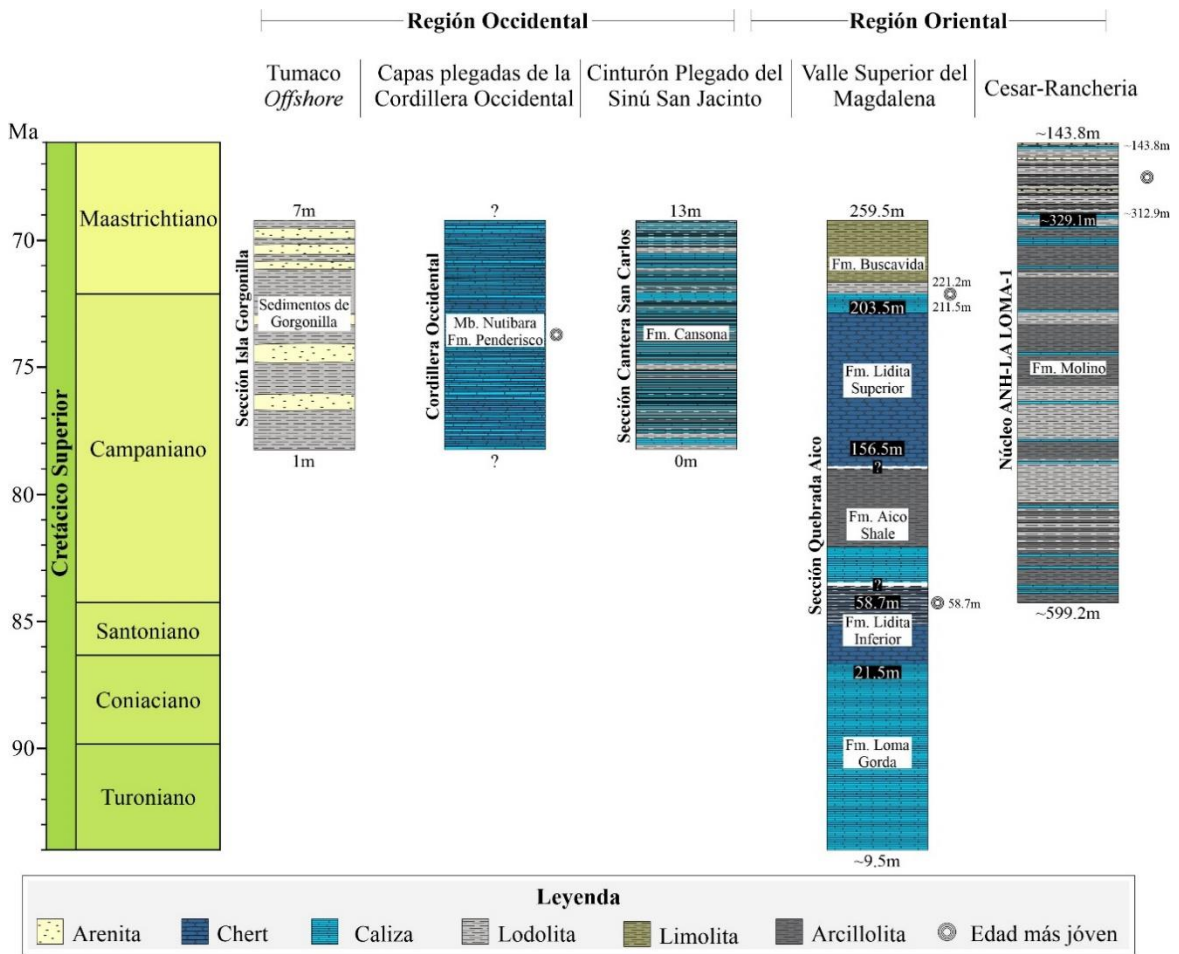


Figura 16. Rangos temporales dentro de los cuales se depositaron los intervalos estratigráficos analizados del Cretácico Tardío, de acuerdo a la resolución bioestratigráfica de los nanofósiles calcáreos.

7. Conclusiones

Los depósitos del Cretácico Superior estudiados en las regiones oriental y occidental de Colombia presentan asociaciones de nanofósiles calcáreos pobremente preservadas, excepto en el núcleo ANH-LA LOMA-1 en la región oriental, donde muestra una buena preservación. Los análisis bioestratigráficos indican que de acuerdo a la presencia de *Quadrum gartneri*, *Micula concava*, *Micula staurophora*, *Lithastrinus septenarius*, *Lithastrinus grilli*, *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Uniplanarius trifidus*, *Uniplanarius sissinghii* y *Reinhardtites anthophorus*, los depósitos de la sección Quebrada Aico se acumularon entre el Turoniano temprano – Coniaciano y el Campaniano tardío – Maastrichtiano temprano, y el núcleo ANH-LA LOMA-1 entre el Campaniano temprano y el Maastrichtiano debido a la ocurrencia de *A. cymbiformis*. La cantera San Carlos, la Isla Gorgonilla y los afloramientos plegados de la Cordillera Occidental presentan el mismo marcador bioestratigráfico *U. trifidus* el cual indica un intervalo de edad restringido desde el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano. En consecuencia, únicamente los depósitos del Campaniano superior al Maastrichtiano inferior pueden correlacionarse entre las regiones oriental y occidental de Colombia, sugiriendo una influencia de las aguas oceánicas superficiales tropicales en ambas regiones durante ese intervalo. Sin embargo, las asociaciones de nanofósiles calcáreos del núcleo ANH-LA LOMA-1 en la región oriental parecen haber sido influenciadas por condiciones de aguas superficiales más frías durante el Maastrichtiano, lo que nos impide correlacionar con el resto de las secciones analizadas. Adicionalmente, la estratigrafía de nanofósiles calcáreos del Turoniano al Campaniano tardío de la parte inferior de la sección Quebrada Aico mostró una buena correlación con los resultados bioestratigráficos basados en amonites, bivalvos, foraminíferos, dinoflagelados y nanofósiles previamente documentados de los depósitos marinos de las cuencas del VMM y VSM en la región oriental.

8. Referencias

- Álvarez, E., González, H., 1978. Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urao). Mapa escala 1:100.000. Ingeominas, Report 1761.
- Backman, J., Raffi, I., 1997. Calibration of Miocene nannofossil events to orbitally tuned cyclostratigraphies from Ceara Rise. En: Shackleton, N.J., Curry, W.B., Richter, C., Bralower, T.J. (Eds), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 154, 83–99. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.154.101.1997>
- Barrantes, L.C., López, C., Patiño, A., Pinilla, A., Ramos, J.A., Ramos, K.G., Savanier, D., Orozco, L.A., 2019. Plancha 81 – Puerto Libertador a escala 1:100.000. Departamento de Córdoba. Servicio Geológico Colombiano, Explanatory Memory, 219.
- Bayona, G., 2018. El inicio de la emergencia en los Andes del norte: una perspectiva a partir del registro tectónico-sedimentológico del Coniaciano al Paleoceno. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42, 364–378. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.632>
- Bermúdez, H.D., García, J., Stinnesbeck, W., Keller, G., Rodríguez, J.V., Hanel, M., Hopp, J., Schwarz, W., Trieloff, M., Bolívar, L., Vega, F.J., 2016. The Cretaceous Paleogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America. Terra Nova, 28, 83–90. <https://doi.org/10.1111/ter.12196>
- Bermúdez, H.D., Arenillas, I., Arz, J.A., Vajda, V., Renne, P.R., Gilabert, V. y Rodríguez, J.V., 2019. The Cretaceous/Paleogene boundary deposits on Gorgonilla Island. En: Gómez, J., Mateus-Zabala, D., (Eds.), The Geology of Colombia, Volume 3

-
- Paleogene – Neogene. Servicio Geológico Colombiano, Special Geological Publications, 37, 19. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.37.2019.01>
- Bown, P.R., Young, J.R., 1997. Mesozoic calcareous nannoplankton classification. *Journal of Nannoplankton Research*, 19, 21–36.
- Bown, P.R., Young, J.R., 1998. Introduction – calcareous nannoplankton biology. En: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publications Series, Kluwer Academic Publishers, London, 1–15.
- Buchs, D.M., Kerr, A.C., Brims, J.C., Zapata-Villada, J.P., Correa-Restrepo, T., Rodríguez, G., 2018. Evidence for subaerial development of the Caribbean oceanic plateau in the Late Cretaceous and palaeo-environmental implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 499, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2018.07.020>
- Bürgl, H., 1961. Geología de los alrededores de Ortega, Tolima. *Boletín de Geología*, 8, 21–38.
- Bürgl, H., Dumit, Y., 1954. El Cretáceo Superior en la región de Girardot. *Boletín Geológico*, Servicio Geológico Nacional, 2, 23–48. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol2.1.1954.350>
- Burnett, J.A., 1998. Upper Cretaceous. En: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous nannofossil biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Series, Chapman and Hall/Kluwer Academic Publishers, London, 132–199.
- Caballero, V., Parra, M., Mora, A., 2010. Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío-Oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el Sinclinal de Nuevo Mundo, cuenca Valle Medio del Magdalena. *Boletín de Geología UIS*, 32,45–77.

-
- Cáceres, H., Camacho, R., Reyes, J., 1980. Guide book to the geology of the Ranchería Basin. Sociedad Colombiana de Geólogos y Geofísicos, Informe técnico, 55.
- Chenevart, C., 1963. Les dorsales transverses anciennes de Colombie et leurs homologues d'Amérique Latine. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 56, 907–927.
- Clavijo, T.J., Barrera, O.R., 2001. Geología de las planchas 44 Sincelejo y 52 Sahagún, Escala 1:100.000. Ingeominas, Explanatory Memory, 63.
- Concheyro, G.A., 1995. Nanofósiles calcáreos del Cretácico Superior y Paleógeno de Patagonia, Argentina. Doctoral thesis. Faculty de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 158.
- Cunha, A.S., Antunes, R.L., Burnett, J.A., 1997, Calcareous nannofossils and the Santonian/Campanian and Campanian/Maastrichtian boundaries on the Brazilian Continental Margin: historical overview and state of the art. *Cretaceous Research*, 18, 823–832. <https://doi.org/10.1006/cres.1997.0089>
- De Romero, L.M., Truskowski, I.M., Bralower, T.J., Bergen, J.A., Odreman, O., Zachos, J.C., Galea-Alvarez, F.A., 2003. An integrated calcareous microfossil biostratigraphic and carbon-isotope stratigraphic framework for the La Luna Formation, western Venezuela. *Palaios*, 18, 349–366. [https://doi.org/10.1669/0883-1351\(2003\)018<0349:AICMBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2003)018<0349:AICMBA>2.0.CO;2)
- Díaz, L., 1994, Reconstruction de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, a finales del Cretácico: En: Etayo, F., (Ed.), *Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, XI-1-XI-13.
- Díaz-Cañas, J.S., Patarroyo, P., 2014. Upper Campanian - Lower Maastrichtian *Pachydiscus* from the Penderisco Formation, Western Cordillera (Antioquia - Colombia). *Geología Colombiana*, 39, 15–21.

-
- Dubicka, Z., Jurkowska, A., Thibault, N., Razmjooei, M.J., Razmjooei, M.J., Wójcik, K., Gorzelak, P., Felisiak, I., 2017. An integrated stratigraphic study across the Santonian/Campanian boundary at Bocieniec, southern Poland: A new boundary stratotype candidate. *Cretaceous Research*, 80, 61–85. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2017.07.012>
- Dueñas, J.H., 1989. Asociaciones palinológicas de las formaciones colon y molino Nor-, Oriente colombiano. *Paleobotánica e Palinología na América do Sul, Special Publication*, 7, 173–181. <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i7p173-181>
- Dueñas, H., Gómez, C., 2013. Bioestratigrafía de la Formación Cansona en la quebrada Peñitas, Cinturón de San Jacinto. Implicaciones paleogeográficas. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37, 527–539. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.33>
- Duque-Caro, H., 1967a. Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. *Boletín Geológico de la Universidad Industrial de Santander*, 24, 71–87.
- Duque-Caro, H., 1967b. Informe bioestratigráfico preliminar cuadrángulos E-8 y D-8. *Servicio Geológico Nacional*, 30.
- Duque-Caro, H., 1972a. Ciclos tectónicos y sedimentarios en el Norte de Colombia y sus relaciones con la paleoecología. *Boletín Geológico*, 19, 1–23. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol19.3.1971.401>
- Duque-Caro, H., 1972b. Relaciones entre la bioestratigrafía y la cronoestratigrafía en el llamado geosinclinal de Bolívar. *Boletín Geológico*, 19, 25–68. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol19.3.1971.403>
- Duque-Caro, H., 1973. Guidebook to the geology of the Monteria Area. *Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists*, 49.

-
- Duque-Caro, H., 1978. Geotectónica y evolución de la región Noroccidental Colombiana. *Boletín Geológico*, 23, 4–37. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol23.3.1980.257>
- Duque-Caro, H., 1979. Major structural elements and evolution of the northwestern Colombia. En: Watkins, L.S., Montadert, L., Dickerson P.W. (Eds.), *Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins*. American Association of Petroleum Geologists, *Memories* 29, 329–351.
- Duque-Caro, H., 1984. Estilo exstructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el NW de Colombia. *Boletín Geológico*, 27, 1–29.
- Duque-Caro, H., 1990. El bloque del Chocó en el noroccidente suramericano: Implicaciones estructurales, tectonoestratigráficas y paleogeográficas. *Boletín Geológico*, 31, 48–71. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol31.1.1990.179>
- Duque-Caro, H., Dueñas, H., 1987. The stratigraphy and diapiric structures of the Northwestern Colombia (Cartagena-Carmen de Bolívar áreas). *Colombian Association of Petroleum Geology and Geophysics*. 25th Field Conference, 283–303.
- Echeverri, S., Cardona, A., Pardo-Trujillo, A., Borrero, C., Rosero, S., López, S., 2015. Correlación y geocronología Ar-Ar del basamento Cretácico y el relleno sedimentario Eoceno superior-Mioceno (Aquitano inferior) de la cuenca de antearco de Tumaco, SW de Colombia. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32, 179–189.
- Erlich, R. N., Nederbragt, A. J., Lorente, M. A., 2000. Birth and death of the Late Cretaceous "a Luna Sea", and origin of the Tres Esquinas phosphorites. *Journal of South American Earth Sciences*, 13, 21–45. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00016-X)

-
- Etayo-Serna, F., 1979. Zonation of the Cretaceous of central Colombia by ammonites. Ingeominas, Special Geological Publications, 2, 1–186.
- Etayo-Serna, F., Gonzales, H., Álvarez, J., 1980. Mid-Albian Ammonites from Northern Western Cordillera, Colombia, S.A. Geología Norandina, 2, 25–30.
- Etayo-Serna, F., González, H., Mejia, M., Rodriguez, G., 1983. The Mid-Albian sedimentary record in the northern end of the Western Cordillera, Colombia and its implications in Plate Tectonics. 10th Caribbean Geological Conference, Abstracts, Cartagena.
- Etayo-Serna, F., 1985. *Trochoceras* del Campaniano-Maastrichtiano en la Formación Espinal de la Cordillera Occidental de Colombia. Geología Norandina, 9, 27–30.
- Etayo-Serna, F., 1989. Campanian to Maastrichtian fossils in the northeastern Western Cordillera, Colombia. Geología Norandina, 11, 23–32.
- Etayo-Serna, F., 1994. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena. Special Publication, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 359.
- Etayo, F., Renzoni, G., Barrero, D., 1969. Contornos sucesivos del mar Cretácico en Colombia. En: Etayo, F., Cáceres, C. (Eds.), Memorias Primer Congreso Colombiano de Geología, Bogotá, 217–252.
- Etayo-Serna, F., Parra, E., Rodríguez, G., 1982. Análisis facial del “Grupo Dagua” con base en secciones aflorantes al oeste de Toro (Valle del Cauca). Geología Norandina, 5, 3–12.
- Fabre, A., 1985. Dinámica de la sedimentación Cretácica en la región de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia). En: Etayo-Serna, F., Laverde-Montaño, F. (Eds.), Proyecto Cretácico. Ingeominas, Special Geological Publications, Bogotá, 16, 20.

-
- Farrell, J.W., Raffi, I., Janecek, T.R., Murray, D.W., Levitan, M., Dadey, K.A., Emeis, K.C., Lyle, M., Flores, J.A., Hovan, S., 1995. Late Neogene sedimentation patterns in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. En: Pisias, N.G., Mayer, L.A., Janecek, T.R., Palmer-Julson, A., van Andel, T.H. (Eds), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, 138, 717–756. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.138.143.1995>
- Föllmi, K.B., Garrison, R.E., Ramírez, P.C., Zambrano Ortiz, F., Kennedy, W.J., Lehner, B.L., 1992. Cyclic phosphate-rich successions in the Upper Cretaceous of Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 93, 151–182. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90095-M](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90095-M)
- Forero, A., 1990. The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: An allochthonous terrane in northwestern South America. *Journal of South America Earth Sciences*, 3, 2–3. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(90\)90026-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(90)90026-W)
- Gandolfi, R., 1955. The genus *Globotruncana* in northeastern Colombia. *Bulletin of American Paleontology*, 30, 1–20.
- Garzon, S., Warny, S., Bart, P.J., 2012. A palynological and sequence-stratigraphic study of Santonian–Maastrichtian strata from the Upper Magdalena Valley basin in central Colombia. *Palynology*, 36, 112–133. <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.675147>
- Geotec, 1997. Cartografía geológica de la Región del Sinú (Noroeste de Colombia) (Planchas 50, 51, 59, 60, 61, 69, 70, 71, 79 y 80). Ingeominas, Technical report, 3.
- Geotec, 2003. Geología de Los Cinturones Sinú - San Jacinto, Escala 1:100.000. Ingeominas, Explanatory Memory, 135.
- Giraldo-Villegas, C.A., Rodríguez-Tovar, F.J., Celis, S.A., Pardo-Trujillo, A., Duque-Castaño, M.L., 2022. Paleoenvironmental conditions over the Caribbean Large

-
- Igneous Province during the Late Cretaceous in NW of South American Margin: A sedimentological and ichnological approach. *Cretaceous Research*, in press. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2022.105407>
- Gómez-Cruz, A., Moreno-Sánchez, M., Pardo-Trujillo, A., 2002. Afloramientos fosilíferos del Cretáceo Superior en el municipio de Pijao (borde occidental de la Cordillera Central, Colombia). *Geo-Eco-Trop*, 26, 41–50.
- Guerra, R.M.; Concheyro, A.; Wise, S.W., Fauth, G., 2016. Late Campanian-Maastrichtian *Kamptnerius magnificus* acme in the South Atlantic section of the Southern Ocean, ODP Holes 690C and 700B. *Micropaleontology*, 62, 213–219.
- Guerrero, J., Sarmiento, G., Navarrete, R., 2000. The Stratigraphy of the W Side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of Selected Areas and Type Localities Including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras. *Geología Colombiana*, 25, 45–110.
- Guerrero, J., Montes, L., Jaillard, E., Kammer, A., 2021. Seismic interpretation of the Cretaceous unconformities and sequences in the Middle Magdalena Valley and the western margin of the Eastern Cordillera, Colombia. *Comptes Rendus*, 353, 155–172.
- Guzmán, G., 2007. Stratigraphy and sedimentary environment and implications in the Plato Basin and the San Jacinto Belt, Northwestern Colombia. Doctoral thesis, University of Liege, 487.
- Guzmán, G., Clavijo, J., Barrera, R., 1994. Geología Bloque Santero, secciones estratigráficas. Ingeominas, Unpublished report, 135.
- Guzmán, G., Gómez, E., Serrano, B., 2004. Geología de los Cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del Valle Inferior del Magdalena, Caribe Colombiano. Escala 1:300.000. Ingeominas, Explanatory Memory, 133.

-
- Haq, B.U., 1980. Biogeographic History of Miocene Calcareous Nannoplankton and Paleooceanography of the Atlantic Ocean. *Micropaleontology*, 26, 414–443. <https://doi.org/10.2307/1485353>
- Haq, B.U., 2014. Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change* 113, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.12.007>
- Haq, B.U., Lohmann, G.P., 1976. Early Cenozoic Calcareous Nannoplankton Biogeography of the Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, 1, 119–194. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90008-6](http://dx.doi.org/10.1016/0377-8398(76)90008-6)
- Hernández, S., 2021. Litogeoquímica de las unidades del Cretácico Superior, su relación con las áreas de aporte y evolución de los medios sedimentarios, Cuenca del Valle Superior del Magdalena, Colombia. Master thesis. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 226.
- Herrera, J., Bermúdez, H., Alfonso, M., Calderon, J., Pardo, A., Lozano, A., 2009. Cartografía Geológica de un área del Cinturón Plegado de San Jacinto. X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera, Cuencas Subandinas held, Cartagena, 10.
- Holbourn, A., Kuhnt, W., Schulz, M., Flores, J. A., Andersen, N., 2007. Orbitally-paced climate evolution during the middle Miocene “Monterey” carbon-isotope excursion. *Earth and Planetary Science Letters*, 261, 534–550. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.026>
- Huxley, T.H., 1868. On some organisms living at great depths in the North Atlantic Ocean. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, New Serie, 8, 203–212.
- Iturralde-Vinent, M.A., 2005. La Paleogeografía del Caribe y sus implicaciones para la biogeografía histórica. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 49–78.
- Jaramillo, C., Yepes, O., 1994. Palinoestratigrafía del Grupo Oliní (Coniaciano-Campaniano), Valle Superior del Magdalena, Colombia. En: Etayo, F. (Ed.),

-
- Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 17, 1–17.
- Jelby, M.E., Thibault, N., Surlyk, F., Ullmann, C.V., Harlou, R., Korte, C., 2014. The lower Maastrichtian Hvidskud succession, Møns Klint, Denmark: calcareous nannofossil biostratigraphy, carbon isotope stratigraphy, and bulk and brachiopod oxygen isotopes. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 62, 89–104.
- Kerr, A.C., Tarney, J., 2005. Tectonic evolution of the Caribbean and northwestern South America: The case for accretion of two Late Cretaceous oceanic plateaus. *Geology*, 33, 269–272. <https://doi.org/10.1130/G21109.1>
- Kita, Z.A., Watkins, D.K., Sageman, B., 2017. High-resolution calcareous nannofossil biostratigraphy of the Santonian/Campanian Stage boundary, Western Interior Basin, USA. *Cretaceous Research*, 69, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2016.08.015>
- Lamolda. M.A., Paul, C.R.C., Peryt, D., Pons, J.M., 2014. The Global Boundary Stratotype and Section Point (GSSP) for the base of the Santonian Stage, "Cantera de Margas", Olazagutia, northern Spain. *Episodes*, 37, 2–13. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2014/v37i1/001>
- Lees, J.A., 2002. Calcareous Nannofossils Biogeography Illustrates Palaeoclimate Change in the Late Cretaceous Indian Ocean. *Cretaceous Research*, 23, 537–634. <https://doi.org/10.1006/cres.2003.1021>
- Lohmann, H., 1902. Die Coccolithophoridae: eine Monographie der Coccolithen bildenden Flagellaten, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis des Mittelmeerauftriebs. En: Fischer. (Ed), *Archiv für Protistenkunde*, 89–165.

-
- Lohmann, H., 1909. Die Gehäuse und Gallertblasen der Appendicularien und ihre Bedeutung für die Erforschung des Lebens im Meer. Verhandlung Deutschen Zoologischen in Wien, 200-239.
- Mann, P., 1999. Caribbean sedimentary basins: Classification and tectonic setting from Jurassic to present. En: Mann, P. (Ed), Caribbean Basins. Sedimentary Basins of the World, Amsterdam, 3–31. [https://doi.org/10.1016/S1874-5997\(99\)80035-5](https://doi.org/10.1016/S1874-5997(99)80035-5)
- Mann, P., Escalona, A., Castillo, M.V., 2006. Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo supergiant basin, western Venezuela. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 90, 445–477. <https://doi.org/10.1306/10110505031>
- Martínez, J.I., 1989. Foraminiferal biostratigraphy and paleoenvironments of the Maastrichtian Colon mudstones of northern South America. The Micropaleontology project, Inc., 35, 97–113.
- Martínez, J.I., 2003. The paleoecology of Late Cretaceous upwelling events from the upper Magdalena Basin, Colombia. Palaios, 18, 305–320. [https://doi.org/10.1669/0883-1351\(2003\)018<0305:TPOLCU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2003)018<0305:TPOLCU>2.0.CO;2)
- Martínez, J.I., Hernández, R., 1992. Evolution and drowning of the Late Cretaceous Venezuelan carbonate platform. Journal of South American Earth Sciences, 5, 197–210. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90038-Z](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90038-Z)
- Miniati, F., Petrizzo, M.R., Falzoni, F., Erba, E., 2020. Calcareous plankton biostratigraphy of the Santonian-Campanian boundary interval in the Bottaccione section (Umbria-Marche basin, central Italy). Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, 126, 783–801. <https://doi.org/10.13130/2039-4942/14399>
- Molina, E., 2004. Cocolitofóridos y otros nanofósiles calcáreos. En: Molina, E. (Ed), Micropaleontología, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 297–312.

-
- Montes, C., Rodríguez-Corcho, A.F., Bayona, G., Hoyos, N., Zapata, S., Cardona, A., 2019. Continental margin response to multiple arc-continent collisions: The northern Andes-Caribbean margin. *Earth-Science Reviews*, 198, 102903. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102903>
- Moore, B.R., 2016. Santonian-Campanian Calcareous Nannofossil Paleobiogeography. Master thesis. Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Nebraska, 84.
- Mora, J.A., Oncken, O., Le Breton, E., Ibáñez-Mejía, M., Faccenna, C., Veloza, G., Vélez, V., Freitas, M., Mesa, A., 2017. Linking Late Cretaceous to Eocene tectonostratigraphy of the San Jacinto Fold Belt of NW Colombia with Caribbean Plateau collision and flat subduction. *Tectonics*, 36, 2599–2629. <https://doi.org/10.1002/2017TC004612>
- Mora-Bohórquez, J.A., Ibáñez-Mejía, M., Oncken, O., de Freitas, M., Vélez, V., Mesa, A., Serna, L., 2017. Structure and age of the Lower Magdalena Valley basin basement, northern Colombia: New reflection-seismic and U-Pb-Hf insights into the termination of the central andes against the Caribbean basin. *Journal of South American Earth Sciences*, 74, 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.01.001>
- Moreno-Sánchez, M., Pardo-Trujillo, A., Gómez, A.J., 2002. Ambientes oceánicos someros en Puente Umbría (Cordillera Occidental, Colombia) durante el Campaniano-Maastrichtiano. *Geo-Eco-Trop*, 26, 75–90.
- Moreno-Sánchez, M., Pardo-Trujillo, A., 2003. Stratigraphical and sedimentological constraints on western Colombia: Implications on the evolution of the Caribbean plate. En: Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J., (Eds). *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 79, 891–924. <https://doi.org/10.1306/M79877C40>

-
- Mutterlose, J., Bornemann, A., Herrle, J.O., 2005. Mesozoic calcareous nannofossils – state of the art. *Paläontologische Zeitschrift*, 79, 113–133.
<https://doi.org/10.1007/BF03021757>
- Navarrete-Parra, R.E., Parra, F.J., Pérez, P.J., Daza, D., Sánchez, C., Prince, M., Rodriguez, M., 2018. Turonian-Campanian Foraminifera Zonation for the La Luna and Lower Umir Formations, Middle Magdalena Valley Basin, Northern Colombia. En: Cusminsky, G.C., Bernasconi, E., Concheyro, G.A. (Eds.), *Advances in South American Micropaleontology*, Springer Earth System Sciences, 67–114.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-02119-1_4
- Nivia, Á., 1996. The Bolivar mafic-ultramafic complex, SW Colombia: the base of an obducted plateau. *Journal of South American Earth Sciences* 9, 59–68.
[https://doi.org/10.1016/0895-9811\(96\)00027-2](https://doi.org/10.1016/0895-9811(96)00027-2)
- Odin, G.S., 2001. The Campanian-Maastrichtian stage boundary: characterisation at Tercis les Bains (France) and correlation with Europe and other continents. En: Odin, G.S. (Ed.), *Developments in palaeontology and stratigraphy*. International Union of Geological Sciences, special publication, 36, 805–819.
[https://doi.org/10.1016/S0920-5446\(01\)80070-4](https://doi.org/10.1016/S0920-5446(01)80070-4)
- Odin, G.S., Lamaurelle, M.A., 2001. The global Campanian-Maastrichtian stage boundary. *International Union of Geological Sciences, Episodes*, 24, 229–238.
<https://doi.org/10.18814/epiiugs/2001/v24i4/002>
- Orrego, L.A., 1975. *Geología y Ocurrencias Minerales de la Parte oeste del Cuadrángulo N-6 Popayán*. Ingeominas, Report 1690, 135.
- Páez-Reyes, M., Carvajal-Ortiz, H., Sahoo, S. K., Varol, O., Miller, B.V., Hughes, G.W., Gaona-Narvaez, T., Patarroyo, G.D., Curtis, J.H., Lerma, I., Copeland, P., 2021. Assessing the contribution of the La Luna Sea to the global sink of organic carbon

- during the Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event 2 (OAE2). *Global and Planetary Change*, 199, 103424. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103424>
- Pardo-Trujillo, A., Moreno-Sánchez, M., Gómez, A., 2002a. Estratigrafía y facies del Cretáceo Superior-Terciario Inferior (?) en el sector de Nogales-Monteloro (borde occidental de la Cordillera Central, Colombia). *Geo-Eco-Trop* 26, 9–40.
- Pardo-Trujillo, A., Moreno-Sánchez, M., Gómez, A., 2002b. Estratigrafía y análisis facial del Cretácico Superior en el sector de Apia-Pueblo Rico (Cordillera Occidental, Colombia). *Geo-Eco-Trop* 26, 51–74.
- Pardo-Trujillo, A., Cardona, A., Giraldo, A.S., León, S., Vallejo, F., Trejos-Tamayo, R., Plata, A., Ceballos, J., Echeverri, S., Barbosa-Espitia, A., Slattery, J., Salazar-Ríos, A., Botello, G.E., Celis, S.A., Osorio-Granada, E., Giraldo-Villegas, C.A., 2020. Sedimentary record of the Cretaceous-Paleocene arc-continent collision in the northwestern Colombian Andes: Insights from stratigraphic and provenance constraints. *Sedimentary Geology*, 401, 105627. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105627>
- Patarroyo, P., 2011. Sucesión de amonitas del Cretácico Superior (Cenomaniano–Coniaciano) de la parte más alta de la Formación Hondita y de la Formación Loma Gorda en la quebrada Bambucá, Aipe-Huila (Colombia, S. A.). *Boletín de Geología*, 33, 69–92.
- Patarroyo, P., Bengtson, P., 2017. *Codazziceras ospinae* (Karsten, 1858) from the Turonian (Upper Cretaceous) of Colombia. *Cretaceous Research*, 88, 392–398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cretres.2017.04.002>
- 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). *Boletín de geología*, 39, 25–40. <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v39n3-2017002>

-
- Patiño, A., Pinilla, A., Cristancho, A., Ibáñez, R.P., Savanier, D., Orozco, L.A., Gómez, C.D., López, C., Quiñonez, C.S., Ramos, J.A., Gil, C.A., Ramos, K.G., Román, J.A., 2019. Plancha 91 – Belencito a escala 1:100.000. Departamento de Córdoba y Antioquia. Servicio Geológico Colombiano, Explanatory Memory, 241.
- Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic calcareous nannofossils. En: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge, 329–426.
- Pérez, J.P.P., Parra, F.J., Navarrete, R.E., Sánchez, C., Daza, D., Rodríguez, M., Prince, M., 2018. Turonian–Santonian Calcareous Nannofossil Biozonation for La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Northern Colombia. En: Cusminsky, G.C., Bernasconi, E., Concheyro, G.A., *Advances in South American Micropaleontology*, Springer Earth System Sciences, 46–66. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02119-1_3
- Petters, V., 1955. Development of Upper Cretaceous foraminiferal faunas in Colombia. *Journal of Paleontology*, 29, 212–225.
- Raffi, I., Flores, J.A., 1995. Pleistocene through Miocene calcareous nannofossils from eastern equatorial Pacific Ocean (Leg 138). En: Piasias, N.G., Mayer, L.A., Janecek, T.R., Palmer-Julson, A., van Andel, T.H. (Eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 138, 233–286. <https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.138.112.1995>
- Raffi, I., Backman, J., Fornaciari, E., Pälike, H., Rio, D., Lourens, L., Hilgen, F., 2006. A review of calcareous nannofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3113–3137. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.007>
- Renne, P.R., Arenillas, I., Arz, J.A., Vajda, V., Gilabert, V., Bermúdez, H.D., 2018. Multi-proxy record of the Chicxulub impact at the Cretaceous-Paleogene boundary from

-
- Gorgonilla Island, Colombia. *The Geological Society of America*, 46, 547–550.
<https://doi.org/10.1130/G40224.1>
- Rodríguez, G., Arango, M., 2013. Formación Barroso: arco volcánico toleitico y diabasas de San José de Urama: un prisma acrecionario T-MORB en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *Boletín Ciencias de la Tierra* 33, 17–38.
- Roth, P.H., 1978. Cretaceous nannoplankton Biostratigraphy and Oceanography of the northwestern Atlantic Ocean. *Deep Sea Drilling Project, Initial Reports*, 44, 731–759.
- Roth, P. H., Thierstein, H., 1972. Calcareous nannoplankton: leg 14 of the deep sea drilling project. *Deep Sea Drilling Project, Initial report*, 14, 421–485.
<https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.14.114.1972>
- Roth, P.H., Berger, W.H., 1975. Distribution and dissolution of coccoliths in the south and central Pacific. *Cushman Found for Foraminiferal Research, Special Publication*, 13, 87–113.
- Roth, P.H., Bowdler, J.L., 1981. Middle Cretaceous calcareous nannoplankton biogeography and oceanography of the Atlantic Ocean. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*. En: Warne, J.E., Douglas, R.G., Winterer, E.L. /Eds), *Society for Sedimentary Geology, Special Publication*, 32, 517–546.
<https://doi.org/10.2110/pec.81.32.0517>
- Ruddiman, W. F., McIntyre, A., 1976. Northeast Atlantic paleoclimatic changes over the past 600,000 years. *The Geological Society of America, Memoirs*, 145, 111–146.
<https://doi.org/10.1130/MEM145-p111>
- Sarmiento, L.F., 2018. Cretaceous Stratigraphy and paleo-facies maps of northwestern South America. En: Cediél, F., Shaw, R.P. (Eds.), *Geology and Tectonics of*

-
- Northwestern South America. *Frontiers in Earth Sciences*, 673–747.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-76132-9_10
- Shackleton, N., Kennett, J.P., 1975. Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of Antarctic glaciation: oxygen and carbon isotopic analyses in DSDP Sites 277, 279 and 281. *Deep Sea Drilling Project, Initial Reports*, 29, 743–755.
<https://doi.org/10.2973/DSDP.PROC.29.117.1975>
- Sheldon, E., Ineson, J., Bown, P., 2010. Late Maastrichtian warming in the Boreal Realm: Calcareous nannofossil evidence from Denmark, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 295, 55–75.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.016>
- Sissingh, W., 1977. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. *Geologie en Mijnbouw*, 56, 37–65.
- Sissingh, W., 1978. Microfossil biostratigraphy and stage-stratotypes of the Cretaceous. *Geologie en Mijnbouw*, 57, 433–440.
- Solé de Porta, N.S., 1972. Palinología de la Formación Cimarrona (Maastrichtiense) en el Valle Medio del Magdalena, Colombia. *Studia geologica salmanticensia*, 4, 103–142.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., Beate, B., 2015. The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). *Gondwana Research*, 27, 95–139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Stradner, H., 1961. Vorkommen von nannofossilien im Mesozoikum und Alttertiär. *Erdöl-Zeitschrift*, 3, 77–88.
- Talukdar, S., Marcano, F., 1994. Petroleum System of the Maracaibo Basin, Venezuela. En: Magoon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), *The petroleum system-from source to trap*.

-
- American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 463–481.
<https://doi.org/10.1306/M60585C29>
- Tchegliakova, N., Mojica, J., 2001. El Senoniano de la Barrera de Girardot-Guataqui, Valle alto del Magdalena, Colombia: precisiones sobre la estratigrafía y establecimiento de una zonación micropaleontológica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25, 37–75.
- Terraza-Melo, R., Caicedo, A.J.C., Jiménez, D.M., Morales, C.J., 2002. Geología de la plancha 264 Espinal, Escala 1:100.000. *Ingeominas, Explanatory Memory*, 128.
- Théry, J.M., 1980. Evolution géotectonique de l'Occident colombien, nouvelles données. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, 4, 649–660.
- Thibault, N., Gardin, S., 2006. Maastrichtian calcareous nannofossil biostratigraphy and palaeoecology in the Equatorial Atlantic (Demerera rise, ODP Leg 207 Hole 1258A). *Revue de Micropaléontologie*, 49, 199–214.
<https://doi.org/10.1016/j.revmic.2006.08.002>
- Thibault, N., Gardin, S., 2007. The late Maastrichtian nannofossil record of climate change in the South Atlantic DSDP Hole 525A. *Marine Micropaleontology*, 65, 163–184.
<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2007.07.004>
- Thibault, N., Galbrun, B., Gardin, S., Minoletti, F., Le Callonnec, L., 2015a. The end-Cretaceous in the southwestern Tethys (Elles, Tunisia): orbital calibration of paleoenvironmental events before the mass extinction. *International Journal of Earth Sciences*, 105, 771–795. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-015-1192-0>
- Thibault, N., Anderskov, K., Bjerager, M., Boldreel, L.O., Jelby, M.E., Stemmerik, L., Surlyk, F., 2015b. Upper Campanian–Maastrichtian chronostratigraphy of the Skælskør-1 core, Denmark: correlation at the basinal and global scale and

- implications for changes in sea-surface temperatures. *Lethaia*, 48, 549–560. <http://dx.doi.org/10.1111/let.12128>
- Thibault, N., Harlou, R., Schovsbo, N.H., Stemmerik, L., Surlyk, F., 2016. Late Cretaceous (late Campanian–Maastrichtian) sea-surface temperature record of the Boreal Chalk Sea, *Climate of the Past*, 12, 429–438. <https://doi.org/10.5194/cp-12-429-2016>
- Thierstein, H.R., 1976. Mesozoic calcareous nannoplankton biostratigraphy of marine sediments. *Marine Micropaleontology*, 1, 325–362. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(76\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0377-8398(76)90015-3)
- Thierstein, H.R., 1981. Late Cretaceous nannoplankton and the change at the Cretaceous-Tertiary boundary. *Deep Sea Drilling Project, Special Publication*, 32, 355–394.
- UCaldas-Minciencias-ANH, 2020. Análisis de facies y paleoambientes de depósito para los pozos perforados en las cuencas de Cesar-Ranchería y Valle Medio del Magdalena. Unpublished report.
- Vergara, S.L., 1994. Stratigraphic, micropaleontologic and organic geochemical relations in the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. Doctoral thesis, Fachbereich Geowissenschaften und Geographie, University of Giessen, 240.
- Vergara, S.L., 1997. Paleontological notes on some Foraminifera from the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Geología Colombiana*, 22, 121–133.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Winkler, W., Beltrán, A., 2011. Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central Cordilleras of Colombia. *Lithos*, 125, 875–896. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.05.003>
- Villagómez, D., Spikings, R., 2013. Thermochronology and tectonics of the Central and Western Cordilleras of Colombia. Early Cretaceous-Tertiary evolution of the northern Andes, 160, 228–249. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.12.008>

-
- Villamil, T., 1998. Chronology, relative sea-level history and a new sequence stratigraphic model for basinal Cretaceous of Colombia. En: Pindell, J., Drake, C. (Eds.), *Eustacy and Tectonostratigraphic Evolution of Northern South America*. Society for Sedimentary Geology, Special Publication, 58, 161–216. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58.0161>
- Villamil, T., Arango, C., 1998. Integrated stratigraphy of latest Cenomanian and early Turonian facies of Colombia. En: Pindell, J., Drake, C. (Eds.), *Eustacy and Tectonostratigraphic Evolution of Northern South America*. Society for Sedimentary Geology, Special Publication, Tulsa, 129–159. <https://doi.org/10.2110/pec.98.58.0129>
- Wagreich, M., 1992. A review of low-latitude “Tethyan” calcareous nannoplankton assemblages of the Cretaceous. En: Kollmann, H.A., Zapfe, H. (Eds), *New aspects on Tethyan Cretaceous fossil assemblages*, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Vienna, 9, 45-55. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-5644-5_4
- Walaszczyk, I., Čech, S., Crampton, J.S., Dubicka, Z., Ifrim, C., Jarvis, I., Kennedy, W.J., Lees, J.A., Lodowski, D., Pearce, M., Uličný, D., Peryt, D., Voigt, S., Sageman, B.B., Wiese, F., Schiøler, P., Todes, J., 2021. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Coniacian Stage (Salzgitter-Salder, Germany) and its auxiliary sections (Słupia Nadbrzeżna, central Poland; Střeleč, Czech Republic; and El Rosario, NE Mexico). *International Union of Geological Sciences, Episodes*, 1, 40.
- Wallich, G.C., 1860. Results of soundings in the North Atlantic. *Annals of Natural History*, 6, 457–458. <https://doi.org/10.1080/00222936008697369>
- Watkins, D.K., Wise Jr, S.W., Popsichal, J.J., Crux, J., 1996. Upper Cretaceous calcareous nanofossil biostratigraphy and paleoceanography of the Southern Ocean. *Papers in the Earth and Atmospheric Sciences*, 258, 355–381.

-
- Weber, M., Gómez, J., Cardona, A., Duarte, E., Pardo-Trujillo, A., Valencia, V.A., 2015. Geochemistry of the Santa Fé Batholith and Buriticá Tonalite in NW Colombia-Evidence of subduction initiation beneath the Colombian Caribbean Plateau. *Journal of South American Earth Sciences*, 62, 257–274. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.04.002>
- Wise, S.W., 1988. Mesozoic-Cenozoic history of calcareous nannofossils in the region of the southern ocean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 67, 157–179. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(88\)90127-7](https://doi.org/10.1016/0031-0182(88)90127-7)
- Wise, S.W., Wind, F.H., 1977. Mesozoic and Cenozoic calcareous nannofossils recovered by DSDP Leg 36 drilling on the Falkland Plateau, southwest Atlantic sector of the Southern Ocean. En: Barker, P.F., Dalziel J.D. (Eds), *Deep-Sea Drilling Project, Initial Reports*, 36, 269–491. <https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.36.108.1977>
- Wolfgring, E., Wagreich, M., Dinarès-Turell, J., Gier, S., Böhm, K., Sames, B., Spötl, C., Popp, F., 2018. The Santonian–Campanian boundary and the end of the Long Cretaceous Normal Polarity–Chron: isotope and plankton stratigraphy of a pelagic reference section in the NW Tethys (Austria). *Newsletter on Stratigraphy*, 51, 445–476. <https://doi.org/10.1127/nos/2018/0392>
- Worsley, T., Martini, E., 1970. Late Maastrichtian Nannoplankton Provinces. *Nature*, 225, 1242–1243. <https://doi.org/10.1038/2251242b0>
- Yepes, O., 2001. Maastrichtian-Danian dinoflagellate cyst biostratigraphy and biogeography from two equatorial sections in Colombia and Venezuela. *Palynology*, 25, 217–249. <http://dx.doi.org/10.1080/01916122.2001.9989561>
- Young, J.R., 1992. Informe: reunión del grupo de trabajo de terminología. *Boletín de la Asociación Internacional de Nannoplancton*, 14, 6–8.

-
- Zapata-Villada, J., Restrepo, J., Cardona, A., Martens, U., 2017. Geoquímica y geocronología de las rocas volcánicas básicas y el gabro de Altamira, Cordillera Occidental (Colombia): registro de ambientes de Plateau y arco oceánico superpuestos durante el Cretácico. *Boletín de Geología*, 39, 13–30. <https://doi.org/10.18273/revbol.v39n2-20170017>

Anexo A

Tablas de conteos de los nanofósiles calcáreos observados en las localidades analizadas, para ello se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

Parámetros de abundancia según Pérez et al. (2018)

MA: Muy abundante (>10 especímenes x CV)

A: Abundante (1-10 especímenes x CV)

C: Común (1 espécimen x 2-10 CV)

P: Poco (1 espécimen x 11-100 CV)

R: Raro (1 espécimen x 101-1000 CV)

Parámetros de preservación según Pérez et al. (2018)

B: Buena

M: Moderada

P: Pobre

E: Estéril

Convenciones

- Muestras con recobro
- Muestras estériles
- (*) Especies retrabajadas

Tabla A3. Conteos de los nanofósiles calcáreos observados en la sección de la Cantera San Carlos.

Código de la muestra	Profundidad (m)	Abundancia	Preservación	<i>Cribrosphaerella</i> spp.	<i>Microrhabdulus decoratus</i>	<i>Micula cubiformis</i>	<i>Micula staurophora</i>	<i>Micula swastica</i>	<i>Micula</i> spp.	<i>Quadrum gartneri</i>	<i>Prediscosphaera cretacea</i>	<i>Prediscosphaera</i> spp.	<i>Retecapsa</i> spp.	<i>Uniplanarius gothicus</i>	<i>Uniplanarius sissinghii</i>	<i>Uniplanarius trifidus</i>	<i>Uniplanarius</i> spp.	<i>Watznaueria barnesiae</i>	<i>Watznaueria fossacincta</i>	<i>Watznaueria</i> spp.	Total	Sissingh (1977, 1978)	Burnett (1998)	Edad
FmCa 01	20	C	P			1	13	12	91												117			
FmCa 02	19	-	E																					
FmCa 03	18	-	E																					
FmCa 04	17	P	P						3	1		4						1	3		12		?	
FmCa 05	16	R	P															2		3	5			
FmCa 06	15	-	E																					
FmCa 07	14	-	E																					
FmCa 08	13	C	P				2	6	17	6		2	4	2	1	7	18	6	50	121				
FmCa 09	12	C	M				5		11	1	1	3	4	1	5	8	28	9	72	148				
FmCa 10	11	C	P			1	5	2	21	2		2	4	7	3	10	30	11	107	205				
FmCa 11	10	MA	P				18	4	49	4		1	1	5	2	1	8	21	9	177	300			
FmCa 12	9	MA	M	3		1	2	5	18	9		3	3	5	7	6	8	58	23	149	300			
FmCa 13	8	C	M				1	3	20	6	1			5	2	4	3	7		41	93			
FmCa 14	7	MA	P				3	7	21	8		2	9	6	3	4	7	32	28	170	300			
FmCa 15	6	MA	P					4	19			3	4	3	2	4	40	40	181	300				
FmCa 16	5	MA	M	1	1	1	1	2	11	11		1	6	3	2	14	10	41	24	171	300			
FmCa 17	4	MA	M				3	6	90	20	2	7	14	11	5	16	9	19	98	300				
FmCa 18	3	MA	P				3	1	81	3		3	4	7	3	7	11	27	11	139	300			
FmCa 19	2	MA	P				3	9	91	9		8	2	7			42	3	7	119	300			
FmCa 20	1	A	P			5	4	4	85	10		5	10	13	9		49		8	76	278			
FmCa 21	0	P	P						3						1		2			15	21			

CC22-CC23

UC15d-UC17

Campaniano superior -
Maastrichtiano inferior

Tabla A4. Conteos de los nanofósiles calcáreos observados en la sección Isla Gorgonilla.

Código de la muestra	Profundidad (m)	Abundancia	Preservación	<i>Arhangelskiella cymbiformis</i>	<i>Biscutum</i> spp.	<i>Calculites</i> spp.	<i>Cribrosphaerella ehrenbergii</i>	<i>Cribrosphaerella</i> spp.	<i>Eiffelithus</i> spp.	<i>Kamptnerius magnificus</i>	<i>Microrhabdulus</i> spp.	<i>Micula cubiformis</i>	<i>Micula staurophora</i>	<i>Micula swastica</i>	<i>Micula</i> spp.	<i>Octocyclus</i> cf. <i>magnus</i>	<i>Prediscosphaera cretacea</i>	<i>Prediscosphaera</i> spp.	<i>Retecapsa</i> spp.	<i>Uniplanarius trifidus</i>	<i>Watznaueria barnesiae</i>	<i>Watznaueria fossacincta</i>	<i>Watznaueria</i> spp.	Total	Sissingh (1977, 1978)	Burnett (1998)	Edad				
Go 08	10.8	-	B																												
Go 07	9.1	R	P									3	1											4		?					
Go 06	7.5	-	B																												
Go 05	7	A	M	2	3	3	2	7	1	1	1	10	52	14	96	1	1	2	8	2	67	3	22	298	CC22-CC23UC15d-UC17		Campaniano superior - Maastrichtiano inferior				
Go 04	3	R	P																		1		1								
Go 03	2.5	-	B																												
Go 02	1.5	R	M												1									1							
Go 01	1	C	M									2	8	1	42				11	1	10		24	99							

