



**QUIMIOESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE  
SUCESIONES CARBONÁTICAS CON POTENCIAL DE GENERACION Y  
ACUMULACION DE ACEITES Y GASES EN LA CUENCA CESAR-RANCHERÍA,  
NE COLOMBIANO (GRUPO COGOLLO)**

**MARCELA MONTEALEGRE ECHEVERRI**

**NATHALIA OCAMPO CARDONA**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE GEOLOGÍA  
Manizales, 2013**

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y  
acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**QUIMIOESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE  
SUCESIONES CARBONÁTICAS CON POTENCIAL DE GENERACION Y  
ACUMULACION DE ACEITES Y GASES EN LA CUENCA CESAR-RANCHERÍA,  
NE COLOMBIANO (GRUPO COGOLLO)**

**MARCELA MONTEALEGRE ECHEVERRI**

**NATHALIA OCAMPO CARDONA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Geólogas**

**Director**

**Ph.D. JUAN CARLOS SILVA TAMAYO**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE GEOLOGÍA  
Manizales, 2013**

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y  
acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## QUIMIOESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE SUCESIONES CARBONÁTICAS CON POTENCIAL DE GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ACEITES Y GASES EN LA CUENCA CESAR-RANCHERÍA, NE COLOMBIANO (GRUPO COGOLLO)

### RESUMEN

En el municipio de Bosconia (Cesar), al SW del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta en la cuenca Cesar Ranchería, se realizaron análisis quimioestratigráficos de rocas carbonáticas del Grupo Cogollo (Formación Lagunitas) con el fin de identificar la ocurrencia de niveles con potencial de preservación de los eventos anóxicos oceánicos del Cretácico Inferior (OAEs). Una excursión positiva de ca 7‰ en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , indica la presencia del evento anóxico oceánico 1a del Aptiano. La ocurrencia del OAE-1a es corroborada por valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  entre 0.7075516 y 0.7075691. La baja afectación diagenética de los carbonatos, apoyan la preservación de las composiciones isotópicas (C, O y Sr) del agua de mar, a partir de la cual los carbonatos se sedimentaron. La excursión positiva en los isótopos de C sugiere por tanto gran potencial de acumulación y preservación de materia orgánica en las zonas más profundas de la cuenca.

La sucesión estratigráfica consiste de *packstone* en la parte inferior y *wackestone - wackestone* con siliciclasticos en la parte superior; la abundancia y preservación de fósiles (foraminíferos, moluscos, briozoos, equinodermos, ostrácodos) sugieren condiciones de buena oxigenación y alta concentración de nutrientes a nivel de la cuenca. Estas características sugieren que la depositación de la Formación Lagunitas a lo largo de la zona SW de la cuenca Cesar Ranchería ocurrió en un ambiente marino de plataforma abierta (media a interior) bajo el nivel de oleaje.

Análisis de campo y petrográficos muestran bajo porcentaje de estilolitos y alta porosidad, asociados a una baja a media diagénesis; estas características sugieren un alto potencial como reservorio de hidrocarburo. Lo anterior, junto al potencial de acumulación y preservación de materia orgánica en las zonas profundas de la cuenca, sugieren al Grupo Cogollo como un excelente prospecto para la generación y acumulación de aceites y gases en la cuenca Cesar Ranchería.

*Palabras Clave: Quimioestratigrafía, Diagénesis, Eventos Anóxicos Oceánicos, Cretácico Inferior, Grupo Cogollo.*

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## **CHEMOSTRATIGRAPHY AND DIAGENETIC CHARACTERIZATION OF CARBONATE SUCCESSION WITH POTENTIAL GENERATION AND ACCUMULATION OF OIL AND GAS CESAR-RANCHERIA BASIN, NE COLOMBIAN (GROUP COGOLLO)**

### **ABSTRACT**

In the municipality of Bosconia (Cesar), SW of piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, Cesar-Rancheria basin, C-O and Sr isotope analyzes were performed in carbonate from the Cogollo Group (The Lagunitas Formation) to identify the occurrence of levels potential preservation of oceanic anoxic events Cretaceous (OAEs). A positive C- isotope excursion of ca 7 ‰ in  $\delta^{13}\text{C}$  values suggests the presence of the oceanic anoxic event 1a (Aptian). The occurrence of the OAE-1a is corroborated by  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values between 0.7075516 and 0.7075691. The low diagenetic overprint of the studied carbonates supports the preservation of the isotopic compositions (C, O and Sr) of seawater from which the carbonates precipitated. The positive excursion of C isotopes suggests therefore great potential for accumulation and preservation of organic matter in deeper parts of the Cesar-Rancheria basin.

The studied stratigraphic succession of the Cogollo Group consists of packstone at the bottom and wackestone - wackestone with siliciclastic on top. The abundance and preservation of fossils (foraminifera, molluscs, bryozoans, echinoderms, ostracods) suggests good oxygenation conditions and high nutrient concentrations reaching the basin. These features suggest that the deposition of the Aguas Blancas Formation along the SW of Cesar-Rancheria basin occurred in a marine environment open middle to inner platform below the waves.

Field and petrographic analyzes show low percentage of stylolites and high porosity. These features suggest a low to medium diagenesis. These features also suggest a high potential for the Cogollo Group as a hydrocarbon reservoir. This, together with the potential for accumulation and preservation of organic matter in the deep areas of the basin, suggest Cogollo Group as an excellent prospect for the generation and accumulation of oil and gas in the Cesar-Rancheria basin.

*Keywords: Chemostratigraphy, Diagenesis, Oceanic anoxic events, Lower Cretaceous, Cogollo Group.*



## NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

*Juan Carlos Silva*

Director Trabajo de Grado

Manizales, Marzo 2013.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

*No hay amor más profundo y sincero que el de una madre, eres mi ángel, a quien le debo todo lo que soy. Hoy te dedico este triunfo y recuerda que es apenas el primero.*

**MARCELA**

*A las personas más importantes en mi vida, mis padres y mi hermano, por enseñarme a ser perseverante, por su confianza, apoyo incondicional y amor, por ser mi familia, mis amigos, mis cómplices y darme una vida llena de felicidad.*

**NATHALIA**

## AGRADECIMIENTOS

A nuestro director y profesor Juan Carlos Silva Tamayo, por guiarnos con sabiduría e inculcarnos las ansias y pasión de aprender cada día algo nuevo. Por transmitirnos todo su conocimiento y su gran experiencia, para desarrollar con altura este y otros proyectos venideros y sobre todo por corregirnos las veces que fueron necesarias para alcanzar con excelencia esta gran meta.

A Dios por permitirnos alcanzar el sueño de culminar con la frente en alto esta hermosa carrera y darnos la fortaleza para salir adelante a pesar de las adversidades.

A nuestros padres (Alba Lucia Cardona-Néstor Ocampo y Mónica Echeverri-Tulio Montealegre) por su amor incondicional, apoyo y paciencia, pues es por ellos que día tras día pusimos alma y corazón durante todo este proceso de formación. Gracias por cada sacrificio y cada lágrima derramada, pues hoy podemos decir que lo hemos logrado, y seguiremos cultivando todo lo que nos han enseñado. Además a nuestros hermanos (Javier-Juan Manuel) por compartir junto a nosotras este gran sueño.

A nuestro profesor y asesor Andrés pardo Trujillo por sus útiles sugerencias y opiniones, por habernos permitido desarrollar nuestro trabajo en el Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES de la Universidad de Caldas y la disponibilidad de todos los equipos requeridos en el desarrollo de este proyecto.

A los geólogos Germán Bayona, Felipe Lamus, Carlos Marcelo Jaramillo, Ángel Barbosa y en especial a nuestro asesor Sebastián Rosero por su infinita paciencia y colaboración, a todos ellos por sus valiosos consejos y opiniones, por toda la información que nos fue suministrada, y el total apoyo durante este proyecto.

A la Universidad de Caldas, al Instituto de investigaciones en estratigrafía-IIES, a la Corporación Geológica ARES, a la Universidad de Arizona (Tucson, Estados Unidos) y a la Universidad Federal de Pernambuco (Recife, Brasil) por haber patrocinado las secciones delgadas y análisis quimioestratigráficos realizados en este proyecto.

A nuestros profesores de la Universidad de Caldas-Departamento de Geología, por enseñarnos y guiarnos durante nuestro proceso de aprendizaje en estos cinco años de carrera. En especial agradecemos al profesor Arley de Jesús Gómez Cruz, al profesor Mario Moreno Sánchez y al profesor Carlos Guzmán por asesorarnos en el proceso de clasificación de muestras en sección delgada, por compartir sus valiosos conocimientos con nosotras y su total voluntad para resolver cualquier inquietud que se nos presentara.

A todos aquellos geólogos y personal del IIES y la Universidad de Caldas Valentina Vargas, María Dolly, Lina Marcela Cuervo y en especial a Juan Pablo, y Rubén por sus sugerencias y ayudas durante este proceso.

A nuestros compañeros de carrera por compartir día a día este sueño de ser geólogos, por cada experiencia vivida durante estos cinco años, por gozar y sufrir juntos en cada una de las inigualables salidas de campo, por su compañerismo y alegría. En especial infinitas gracias a nuestros amigos más cercanos (Tica (Cata Ramírez), Nana(Eli Arango), Loreley (Lore Ospina), Nomeky (Efer Nomesqui), Chechi (Sergio Celis), Andrew (Andrés Díaz), Mani (Jonathan Martínez), Rubén García, Pascu (Diego Gonzales), Cago (Caro Bedoya), Paisa (David Trujillo), Leidy Rojas , Anita Salazar, José Ardila y muchos más, que aunque no serán mencionados, siempre los llevamos en el corazón) por ser nuestra voz de aliento cada vez que nos sentimos abatidas, por su amistad sincera, cariño y total apoyo.

A Esteban Toro Trujillo por todo su amor sincero, su paciencia y apoyo, por acompañarme paso a paso y ayudarme a levantar cuantas veces fue necesario, en este largo pero satisfactorio camino. (Marcela).

A mi familia en Cali, Manizales y Pereira, por su total comprensión, apoyo, dedicación, por todos esos “empujoncitos” que me dieron las veces que fue necesario y en especial por su credibilidad (Nathalia).

A mis “jefes” (Lina, Betty y Cristian), más que mis jefes mis amigos, a Cesar y a mis futuros colegas y amigos (asistentes de sismología) en el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, por compartir todos esos valiosos conocimientos, por su entrega, entendimiento, ayuda, por querer que fuera mejor cada día, por siempre creer en mí y por la maravillosa experiencia que viví con ustedes durante mi tiempo como asistente de sismología, mil gracias (Nathalia).

## TABLA DE CONTENIDO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | INTRODUCCIÓN   | 1  |
| 2       | OBJETIVOS  | 3  |
| 2.1     | Objetivo principal   | 3  |
| 2.2     | Objetivos específicos  | 3  |
| 3       | LOCALIZACIÓN   | 4  |
| 4       | MARCO GEOLÓGICO  | 7  |
| 4.1     | Estratigrafía  | 7  |
| 4.1.1   | Triásico   | 7  |
| 4.1.1.1 | Formación Guatapuri  | 7  |
| 4.1.2   | Jurásico   | 8  |
| 4.1.2.1 | Formación La Quinta  | 8  |
| 4.1.3   | Cretácico  | 8  |
| 4.1.3.1 | Formación Rio Negro  | 8  |
| 4.1.3.2 | Grupo Cogollo  | 9  |
| 4.1.3.3 | Formación La Luna  | 10 |
| 4.2     | Marco tectónico y estructural  | 12 |
| 4.2.1   | Fallas y elementos estructurales   | 13 |
| 4.2.1.1 | Falla de Oca   | 13 |
| 4.2.1.2 | Falla de Santa Marta-Bucaramanga   | 14 |
| 4.2.1.3 | Falla El Cerrejón  | 14 |
| 4.2.1.4 | Falla Cesarito   | 15 |
| 4.2.1.5 | Sinclinal La Loma  | 15 |
| 4.2.1.6 | Anticlinal de Becerril   | 16 |
| 5       | MÉTODOS  | 17 |
| 5.1     | Fase de campo  | 17 |
| 5.2     | Fase de laboratorio  | 18 |
| 5.2.1   | Elaboración de pulidos y clasificación de muestras de mano                   | 18 |
| 5.2.2   | Elaboración de secciones delgadas, petrografía y caracterización diagenética | 19 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.2.3 | Análisis quimioestratigráficos y multielementales                                  | 21 |
| 5.3   | Etapas finales   | 22 |
| 6     | ESTADO DEL ARTE  | 24 |
| 6.1   | Quimioestratigrafía  | 24 |
| 6.1.1 | Isótopos estables de carbono y oxígeno   | 24 |
| 6.1.2 | Isótopos de estroncio  | 27 |
| 7     | RESULTADOS   | 29 |
| 7.1   | Datos de campo   | 29 |
| 7.2   | Petrografía  | 32 |
| 7.3   | Quimioestratigrafía  | 36 |
| 7.3.1 | Quimioestratigrafía de isótopos estables de carbono y oxígeno                      | 36 |
| 7.3.2 | Quimioestratigrafía de isótopos de estroncio                                       | 37 |
| 8     | INTERPRETACION   | 40 |
| 8.1   | Paragénesis de carbonatos  | 40 |
| 8.1.1 | Ambiente sedimentario de la sección estudiada                                      | 40 |
| 8.2   | Quimioestratigrafía  | 44 |
| 8.2.1 | Edad   | 44 |
| 8.2.2 | Identificación del evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior (Aptiano)-OAE 1a | 45 |
| 8.3   | Diagénesis   | 48 |
| 9     | CONCLUSIONES   | 51 |
| 10    | RECOMENDACIONES  | 53 |
| 11    | REFERENCIAS  | 54 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.  | 5  |
| Figura 2. Mapa de localización de las sucesiones carbonáticas en superficie del Grupo Cogollo en el área de estudio.   | 6  |
| Figura 3. Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar, en el cual se muestra la zona de estudio en el municipio de Bosconia. Tomado y modificado de Arias y Morales, 1999.  | 11 |
| Figura 4. Cuadro cronoestratigráfico del Cretácico en la Alta Guajira. Tomado y modificado de Renz, 1960; Rollins, 1965; Gómez I., 2001; Rodríguez & Londoño, 2002; Cordani et al., 2005; Zuluaga et al., 2009.  | 12 |
| Figura 5. Mapa del NE de Colombia, se observa la cuenca Cesar Ranchería, limitada al SW por la falla de Santa Marta-Bucaramanga, al NE por la falla de Oca y al interior de la cuenca por la falla Cesarito y la falla El Cerrejón. Tomado y modificado de Barrero et al., 2007. | 15 |
| Figura 6. Corte regional NW–SE del departamento del Cesar, donde se observa el anticlinal de Becerril y el sinclinal La Loma. Tomado y modificado de Arias y Morales, 1999.  | 16 |
| Figura 7. Metodología desarrollada durante el proyecto.  | 17 |
| Figura 8. Clasificación de rocas carbonáticas según Dunham, 1962.  | 19 |
| Figura 9. Formato utilizado para la clasificación petrográfica de las secciones delgadas del Grupo Cogollo.  | 20 |
| Figura 10. Variación global de isótopos de O en el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).  | 26 |
| Figura 11. Variación global de isótopos de C en el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).  | 26 |
| Figura 12. Representación esquemática de la variación isotópica superficial del Sr. Tomado y modificado de Wadleigh, 1982.   | 27 |
| Figura 13. Variación global de isótopos de Sr durante el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).  | 28 |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|  |    |
|--|----|
| Figura 14. A) Muestra de mano # 37-6 perteneciente al Grupo Cogollo: wackestone con presencia de bivalvos, B) molusco (ostrea) y C) anhelidos (serpulidos). Ubicada en la base de la columna estratigráfica.   | 29 |
| Figura 15. A) Muestra de mano # 39-1 perteneciente al Grupo Cogollo: packstone de bioclastos, con predominio de moluscos, B) molusco recristalizado. Ubicada en la parte media de la columna estratigráfica.   | 30 |
| Figura 16. A) Muestra de mano # 39-6 perteneciente al Grupo Cogollo: wackestone. Ubicada en la parte superior de la columna estratigráfica.  | 30 |
| Figura 17. Columna estratigráfica del Grupo Cogollo en el municipio de Bosconia-Cesar, donde se observan las muestras recolectadas en campo; de techo a base se encuentra: (a.) wackestone, (b.) packstone y (c.) wackestone. Tomado y modificado de Silva-Tamayo, J.C. et al., 2012.                          | 31 |
| Figura 18. Conteos obtenidos a partir de análisis petrográficos.   | 34 |
| Figura 19. Características petrográficas y algunos alquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Grupo Cogollo. (A).Zr: zircón, XPL, (B).Po: porosidad moldica. (C).Br: briozoo (superior)-alga (inferior), PPL. (D).Eq: equinodermo, XP, (E).Fo: foraminífero, PPL. (F).Et: estilolitos | 35 |
| Figura 20. Características petrográficas y algunos alquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Grupo Cogollo.(A).Os: ostrácodo, PPL. (B).AL: alga, PPL. (C).Po: porosidad asociada a fracturas. (D). Eq: equinodermos, PPL-XPL.  | 36 |
| Figura 21. Gráfica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráficos de isótopos de C y O.   | 38 |
| Figura 22. Gráfica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráfico de isótopos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .  | 39 |
| Figura 23. Ambiente de depósito de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.  | 42 |
| Figura 24. Análisis estratigráfico del Grupo Cogollo en el municipio de Bosconia-Cesar.  | 43 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 25. Representación de los valores isotópicos de Sr del Grupo Cogollo en relación con el comportamiento global de los isótopos de Sr en el agua de mar durante el Cretácico.   | 44 |
| Figura 26. Comportamiento de la curva global del Aptiano de isótopos de $^{18}\text{O}$ vs datos isotópicos de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.  | 46 |
| Figura 27. Comportamiento de la curva global de isótopos de $^{13}\text{C}$ vs datos isotópicos de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo, correlacionables con el evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior-OAE 1a. | 47 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Muestras de rocas carbonáticas seleccionadas para análisis de isótopos estables de C y O, isótopos radiogénicos de Sr y petrográficos respectivamente. | 21 |
| Tabla 2. Nomenclatura empleada, para destacar las características relevantes de las secciones estudiadas en cada una de las imágenes.                           | 33 |
| Tabla 3. Datos quimioestratigráficos de isótopos de carbono y oxígeno de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo.  | 37 |
| Tabla 4. Datos quimioestratigráficos de isótopos de estroncio de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo.  | 37 |
| Tabla 5. Interpretación diagenética, de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo en la cuenca Cesar-Ranchería.   | 50 |

## LISTA DE ANEXOS

|         |    |
|---------|----|
| Anexo 1 | 60 |
| Anexo 2 | 72 |

## ANTECEDENTES

La cuenca Cesar Ranchería posee un gran atractivo para exploración petrolera; basado en la existencia de sucesiones carbonáticas marinas de edad Cretácica de gran espesor, con altos contenidos de materia orgánica (García et al., 2008). Su atractivo como una cuenca frontera lo complementa la presencia de un registro sedimentológico Cenozoico continental con importantes espesores de arenitas y sedimentos ricos en materia orgánica.

A pesar del potencial generador del registro carbonático marino Cretácico de la cuenca Cesar Ranchería, hasta el momento no existen trabajos que presenten información sistemática multidisciplinaria enfocada en de las características sedimentológicas, petrográficas y geoquímicas que ayuden a entender dicho registro desde el momento de la depositación hasta la diagénesis. La falta de estudios tendientes a mejorar el cuadro cronoestratigráfico de las unidades Cretácicas de la cuenca Cesar Ranchería complican aún más el entendimiento de la evolución geológica de la misma y de su sistema petrolífero (Arias y Morales, 2003).

La sedimentación Cretácica actualmente es objeto de estudio a nivel de sistemas petrolíferos en la cuenca Cesar Ranchería y en general en las cuencas Cretácicas del E y NE de Colombia (GEOESTUDIOS LTDA, 2006) y Venezuela. El inicio de la sedimentación química-orgánica Cretácica en la cuenca Cesar Ranchería comienza con la Formación Rio Negro (Barremiano - Aptiano Inferior) la cual suprayace el basamento volcánico Jurásico de la cuenca y está suprayacida por el Grupo Cogollo (Aptiano), (Govea & Dueñas, 1975).

Este proyecto se enfoca en el Grupo Cogollo, el cual se encuentra suprayacido por La Formación La Luna (Turoniano – Santoniano) (Rollins, 1964), presenta un espesor teórico de 670m; y se encuentra dividido en dos formaciones: Formación

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

Lagunitas a la base y Formación Aguas Blancas al techo (Govea & Dueñas, 1975., García, 1990).

Estudios bioestratigráficos realizados por Casey, 1949., Julivert, 1968., Etayo, 1983, Martínez, 1985., Rubio et al., 1998., Hernández, 2003., Ayala, 2009, indican una depositación Aptiana del Grupo Cogollo. Dicha depositación sugiere que el Grupo Cogollo pudo haber registrado el evento anóxico oceánico del Aptiano (OAE1a), el cual resulto en una acumulación importante de materia orgánica en el substrato marino a nivel mundial. Por consecuencia, esta unidad es importante objetivo como roca generadora y roca almacenadora.

La acumulación de materia orgánica en el substrato marino durante el OAE1a habría modificado el ciclo del carbono de los océanos globales, lo cual se ve reflejada por una excursión de ca 4.5‰ per mil en la composición isotópica de C en los carbonatos globales (Föllmi et al., 2011).

Hasta el momento no se han realizado estudios integrales que conlleven a la determinación de la existencia del OAE 1a en el Grupo Cogollo. Este proyecto tiene como objetivo utilizar multiherramientas (sedimentología, geoquímica isotópica de C y Sr y petrografía) para mejorar la información estratigráfica, refinar su cronoestratigrafía, identificar la presencia del OAE 1a y evaluar la diagénesis de sus carbonatos. El estudio se enfoca en las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo localizadas en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, específicamente en los sedimentos aflorantes en la parte NE del municipio de Bosconia.

Los resultados ayudaran a mejorar la información estratigráfica existente y el entendimiento de ambientes sedimentarios para los carbonatos del Grupo Cogollo en este sector de la cuenca Cesar-Ranchería. El uso de análisis petrográficos y elementales se utilizará para caracterizar paragenética y diagenéticamente estos carbonatos. Análisis de estratigrafía secuencial, quimioestratigrafía de isótopos de

C, O y Sr serán usados para contribuir a la cronoestratigrafía del Cretácico en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, con el fin de corroborar la presencia del OAE 1a, el cual tiene un posible potencial de generación y acumulación de aceites y gases a nivel mundial.

## 1 INTRODUCCIÓN

Al sur del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta en el municipio de Bosconia-Cesar, aflora una sucesión de rocas carbonáticas depositadas durante el Aptiano (Govea & Dueñas, 1975) y las cuales fueron denominadas por Garner (1926) como Grupo Cogollo. Esta unidad de origen marino reposa de forma discordante angular sobre rocas volcanoclásticas de la Formación Guatapuri, de edad Triásico Medio a Superior (Tschanz et al., 1969), e infrayace shales calcáreos y calizas de edad Turoniano - Santoniano (Rollins, 1965) de la Formación La Luna.

El registro carbonático del Grupo Cogollo ha sido determinado como la secuencia más antigua de rocas carbonáticas pertenecientes a la cuenca Cesar-Ranchería; sin embargo la edad de depositación para este grupo no se encuentra bien definida; Barremiano - Aptiano (Renz, 1977), Albiano Medio (Casey, 1949), Aptiano-Turoniano (Renz, 1960., Etayo et al., 1983), Aptiano-Albiano (Radelli, 1962., Raasveldt, 1963., Julivert, 1968), Aptiano (Govea & Dueñas, 1975., Hernández, 2003) y Aptiano Tardío (Gil & Martínez, 1990).

La falta de consenso en la edad de depositación del Grupo Cogollo, unido a la falta de información sistemática multidisciplinaria: integrando petrografía, estratigrafía, geocronología y quimioestratigrafía ha resultado en cuadros cronoestratigráficos de baja resolución para el Grupo Cogollo (Arias y Morales, 2003).

La quimioestratigrafía de isótopos estables (C, O y Sr) ha sido empleada como herramienta alternativa para datación y correlación estratigráfica de cuencas sedimentarias (Barbosa y López, 2009., Hincapié y Moreno, 2010). Este proyecto de investigación está enfocado en restringir la cronoestratigrafía del Grupo Cogollo

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

en el área de Bosconia, a partir de quimioestratigrafía de isótopos estables (C y Sr).

Los resultados de este proyecto contribuirán a investigar la posible ocurrencia del evento anóxico oceánico del Aptiano (OAE 1a) en la cuenca Cesar Ranchería a partir de quimioestratigrafía de isótopos estables (C y Sr) y permitirán generar curvas quimioestratigráficas de referencia para futuras correlaciones del Grupo Cogollo a lo largo de la cuenca Cesar Ranchería. Análisis petrográficos serán realizados con el objetivo de mejorar la caracterización estratigráfica y ambiental. Estos análisis ayudarán a evaluar la historia diagenética de los carbonatos del Grupo Cogollo

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo principal

Caracterizar las sucesiones carbonáticas pertenecientes al Grupo Cogollo en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, al SW de la cuenca Cesar-Ranchería a partir de análisis estratigráficos, petrográficos y quimioestratigráficos.

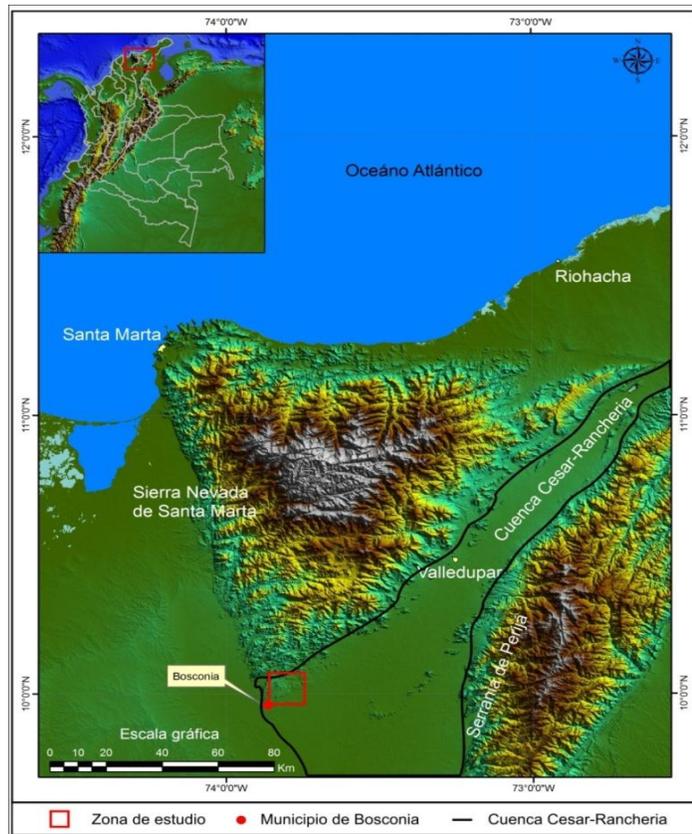
### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar caracterización paragenética y diagenética de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo a partir de análisis de secciones delgadas.
- Mejorar la geocronología del Grupo Cogollo en el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, cuenca Cesar-Ranchería por medio de quimioestratigrafía de isótopos de C y Sr.
- Investigar la presencia del evento anóxico oceánico del Aptiano 1a (OAE 1a) en la cuenca Cesar Ranchería a partir de quimioestratigrafía de isótopos de C en el Grupo Cogollo.

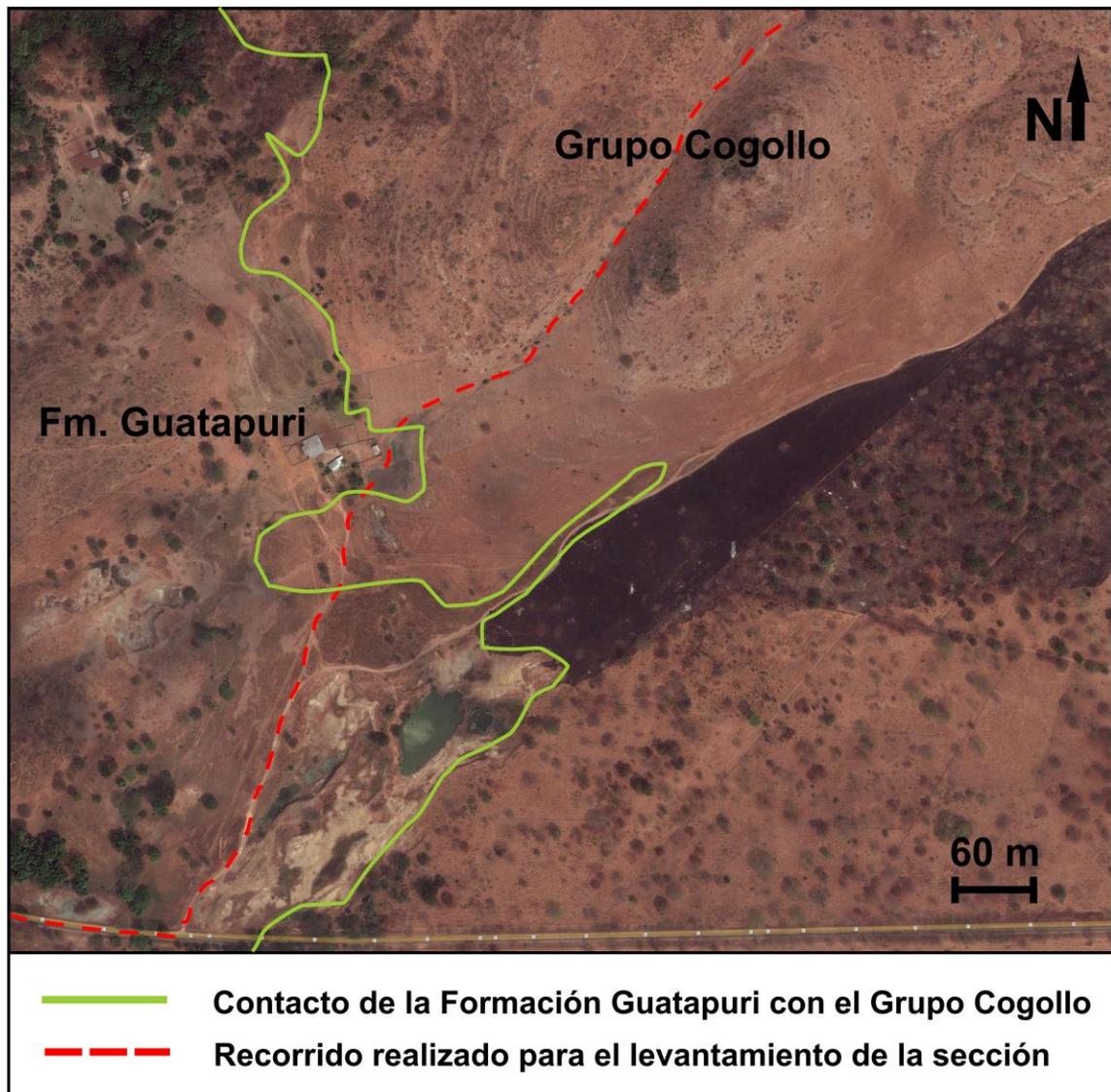
### 3 LOCALIZACIÓN

Al noreste de Colombia, entre los departamentos del Cesar y La Guajira se encuentra la cuenca Cesar-Ranchería cuya morfología es un valle formado a partir de dos grandes sistemas montañosos; conformado al noroeste por la Sierra Nevada de Santa Marta y al sureste por la serranía del Perijá.

En el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, en la cuenca Cesar-Ranchería, aproximadamente 4 km al NE del municipio de Bosconia-Cesar, se ubica la sección estudiada en este proyecto del Grupo Cogollo. El área de estudio se localiza a los 9°59'29.54" latitud norte y 73°51'39" longitud oeste (coordenadas geográficas) y a una elevación de 121 msnm (*Figura 1 y Figura 2*).



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio.



**Figura 2.** Mapa de localización de las sucesiones carbonáticas en superficie del Grupo Cogollo en el área de estudio.

## 4 MARCO GEOLÓGICO

La cuenca Cesar-Ranchería es una cuenca intramontana (antepaís), limitada al noroeste por las rocas pre-Cretácicas de la Sierra Nevada de Santa Marta, al noreste con la traza de la falla de Oca, al sureste con las rocas pre-Cretácicas de la serranía del Perijá y al suroeste limita con la traza de la falla de Bucaramanga (Barrero, Martínez, Pardo y Vargas, 2007).

### 4.1 Estratigrafía

#### 4.1.1 Triásico

##### 4.1.1.1 Formación Guatapuri

Unidad constituida hacia la base por basaltos andesíticos, porfíricos y amigdalares y andesitas, andesitas porfíricas, espilitas y en menos proporción brechas y conglomerados de color gris verdoso a gris claro que por acción de la meteorización toman colores rojizos o anaranjados con algunas capas sedimentarias y hacia el techo predominantemente limolitas rojizas, moradas y ocasionalmente verdosas y en ocasiones arenitas feldespáticas, arcosas y grawacas intercaladas con tobas y algo de rocas volcánica, la Formación Guatapuri presenta un espesor entre 3000 y 5000 m y se le asignó una edad Triásico Medio a Superior en base a una posible correlación con la Formación La Quinta en la serranía del Perijá (Tschanz et al., 1969) (*Figura 3*).

## 4.1.2 Jurásico

### 4.1.2.1 Formación La Quinta

Kündering (1938) la define como la Formación La Quinta la cual aflora en el flanco oeste de la Serranía del Perijá, conformada por limolitas rojas silíceas ocasionalmente con estratos de arenisca fina con venas de calcita y manifestaciones de malaquita, areniscas blancas, pardas y rojizas de grano fino a grueso y niveles conglomeráticos, en algunas ocasiones es atravesada por ignimbritas oscuras con fragmentos volcánicos y tobas líticas (Hernández, 2003), esta unidad infrayace la Formación Rio Negro de manera paraconforme y presenta una edad de Triásico Tardío a Jurásico Temprano (Forero, 1972); la determinación de la edad solo se hace posible tras haber fijado su techo y base, ya que en esta unidad no se han encontrado restos fósiles. Kundering (1938), describió la sección tipo y la ubico cronoestratigráficamente en el Triásico-Jurásico (García .1990).

## 4.1.3 Cretácico

### 4.1.3.1 Formación Rio Negro

La Formación Rio Negro está compuesta por areniscas arcosas detriticas, intercaladas con capas delgadas de conglomerados, se encuentra suprayaciendo discordantemente capas de la Formación La Quinta e infrayace transicionalmente al Grupo Cogollo (Hernández, 2003); se le ha designado una edad Barremiano-Aptiano Temprano según Govea & Dueñas (1975) mientras que Gil & Martínez (1990) proponen una edad Aptiano Temprano, Sutton (1946) le asignó una edad

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

Barremiano Inferior y por medio de dataciones palinológicas se le ha asignado una edad Neocomiano-Aptiano (Gonzales et al., 2002).

#### **4.1.3.2 Grupo Cogollo**

Constituido por calizas grises azulosas y grises oscuras, variando de mudstone a grainstone, con predominio de wackestone, con intercalaciones de lutitas negras carbonosas y gran concentración fosilífera. Dichas sucesiones carbonáticas presentan fauna variada de amonitas, pelecípodos, gasterópodos, crinoideos, ostrácodos y algas y en menor proporción microfósiles de globigerinidos y pellets, de igual manera fosfatos, glauconita, variedades de sílice, óxidos de hierro y dolomitización (García, 1990). Renz 1977 indica una edad Barremiano-Aptiano a partir de fauna fósil registrada en la parte basal del Grupo Cogollo. Suprayaciendo se encuentra una fauna que determina una edad Aptiano Superior y sobre la cual se depositaron fósiles que indican una depositación final del Grupo Cogollo durante el Cenomaniano (García, 1990). Este grupo consta de dos formaciones denominadas Formación Lagunitas hacia la base y Formación Aguas Blancas hacia el techo (*Figura 3 y Figura 4*).

##### **4.1.3.2.1 Formación Lagunitas**

Esta formación está constituida principalmente por biomicritas interestratificadas con lutitas calcáreas y margas solubles (Cáceres y otros, 1981), con presencia de conchas de pelecípodos, gasterópodos, corales y amonites, con un espesor promedio de 300m a 450m (Hernández, 2003); el contacto con la Formación Rio Negro se ha considerado transicional, erosivo con la Formación La Quinta y el contacto con la Formación Aguas Blancas transicional. Gil & Martínez (1990) y

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

Hernández (2003) determinaron una edad Aptiano Tardío y está asociada a un ambiente de plataforma media a inferior de mar abierto con gran concentración de carbonatos y abundancia de materia orgánica (Cáceres y otros, 1981).

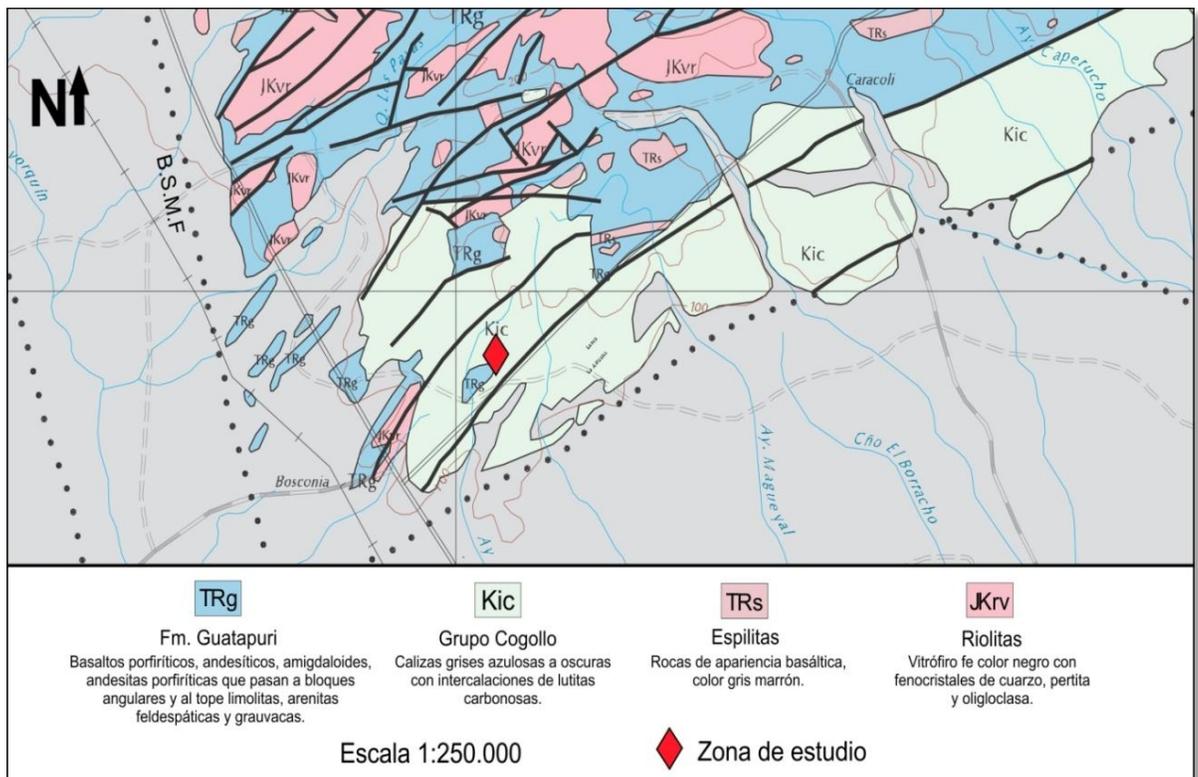
#### **4.1.3.2 Formación Aguas Blancas**

La Formación Aguas Blancas está conformada por shales negros carbonosos, calcáreos con alta concentración de materia orgánica intercalados con calizas negras, limolitas calcáreas, limolitas arenosas de color gris oscuro levemente calcáreas con fisilidad presentando gradaciones locales a areniscas de grano fino de color pardo compuestas por cuarzo con matriz arcillosa, cemento silíceo y/o calcáreo, en menor proporción arcillolitas limo-arenosas calcáreas fisibles de color gris pardo, calizas constituidas por conchas de pelecípodos y gasterópodos (similares a los de la Formación Lagunitas)(Hernández, 2003) y calizas claras compuestas por foraminíferos y moluscos, margas de color gris marrón oscuras (micropiriticas con textura wackestone), calizas dolomíticas a limolíticas de color gris oscuro con fragmentos de ostrácodos y gasterópodos intercaladas con mantos de areniscas muy finas y lutitas con fósiles de foraminíferos (Rivera, 1998).

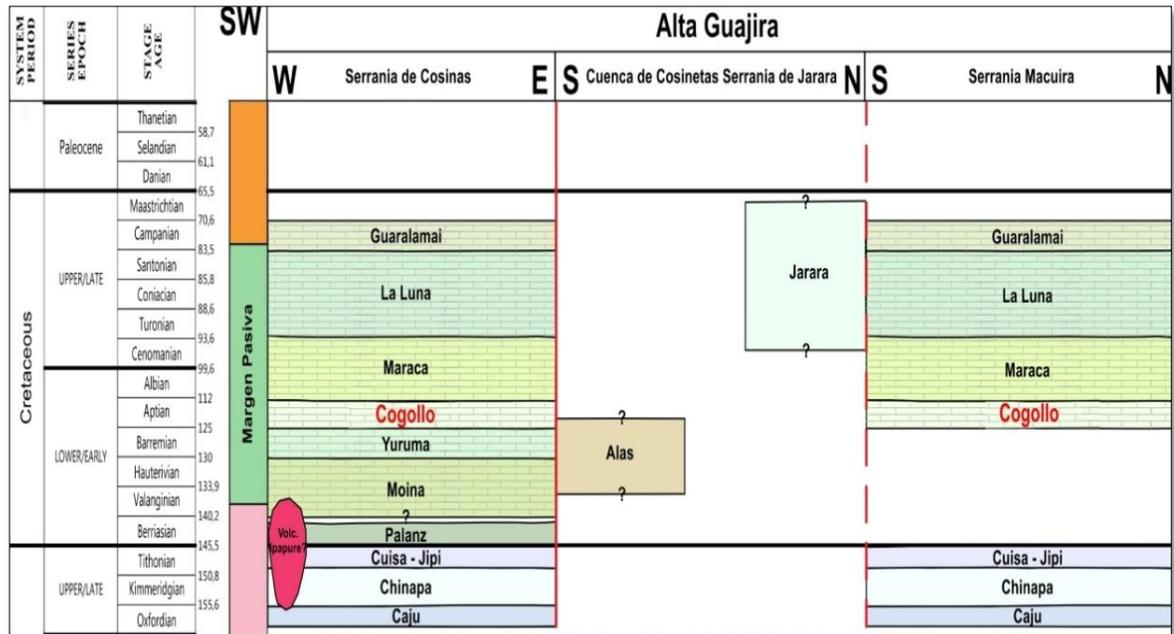
#### **4.1.3.3 Formación La Luna**

Hedberg y Sass (1937) la definen como Formación La Luna y se le ha asignado una edad Turoniano-Santoniano en base al gran contenido de microfauna, según Rollins (1965), esta unidad está constituida hacia la base por calizas de color

negro, grano fino, laminadas, bituminosas, densas, con presencia de foraminíferos y hacia el tope una delgada capa de conglomerados. Se asocia a un ambiente de cuenca cerrada con aguas estancadas de baja oxigenación (Rollins, 1965).



**Figura 3.** Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar, en el cual se muestra la zona de estudio en el municipio de Bosconia. Tomado y modificado de Arias y Morales, 1999.



**Figura 4.** Cuadro cronoestratigráfico del Cretácico en la Alta Guajira. Tomado y modificado de Renz, 1960; Rollins, 1965; Gómez I., 2001; Rodríguez & Londoño, 2002; Cordani et al., 2005; Zuluaga et al., 2009.

## 4.2 Marco tectónico y estructural

A nivel regional la cuenca Cesar-Ranchería se encuentra limitada estructuralmente por la falla Santa Marta-Bucaramanga y falla de Oca, las estructuras principalmente asociadas a la cuenca son: anticlinal de Becerril y sinclinal de La Loma. A nivel local se encuentra la falla El Cerrejón, falla Cesarito (Ujeta Lozano, G., 2007).

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagénica de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## 4.2.1 Fallas y elementos estructurales

### 4.2.1.1 Falla de Oca

La falla de Oca corta hacia el este la serranía del Perijá extendiéndose hasta Venezuela más de 560 km y se encuentra limitando la parte norte (en la costa del mar Caribe) de la Sierra Nevada de Santa Marta (Audemard et al., 2000). La falla de Oca pone en contacto rocas Paleozoicas y Mesozoicas pertenecientes al macizo de Santa Marta con rocas del Terciario y sedimentos del Cuaternario Tardío; las cuales posiblemente marcan un límite entre las placas Caribe y América del sur durante el Terciario.

La falla presenta un movimiento dextral con una estructura de rumbo E-W la cual limita la cuenca Cesar Ranchería con la cuenca de la baja Guajira; El sistema de la falla de Oca se encuentra activo desde el Triásico Tardío (Maresch et al., 2000); el cual sirvió como límite norte de la placa de Suramérica.

El levantamiento de la Sierra Nevada de Santa Marta, el cambio fuerte de pendiente entre la serranía y el piedemonte de Perijá y la cuenca que conforma el bloque norte de la falla a lo largo de su traza en Colombia, conforman las características morfológicas y estructurales de la falla de Oca en el departamento del Cesar y La Guajira. Estos a su vez indican un movimiento lateral derecho seguido de un desplazamiento vertical, según Soulas & Agarwall (1982).

Según Ortiz et al., 1993; la presencia de escarpes de falla, drenajes deflectados y valles lineales paralelos al trazo de la falla son características indicadoras de actividad neotectónica; de igual manera hacen referencia a la presencia de dos diferentes estilos estructurales al norte de la falla de Oca, en el bloque de la cuenca de la Baja Guajira; uno de carácter compresivo comprendido por fallas inversas que afectaron el basamento durante el periodo Eoceno-Oligoceno, lo que

genero un levantamiento del bloque seguido de erosión de rocas Cretácicas; el segundo estilo estructural provoco el levantamiento de la serranía del Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta durante el Mioceno Tardío –Plioceno (según Kellog, 1984, en: Ortiz et al., 1993) (*Figura 5*).

#### **4.2.1.2 Falla de Santa Marta-Bucaramanga**

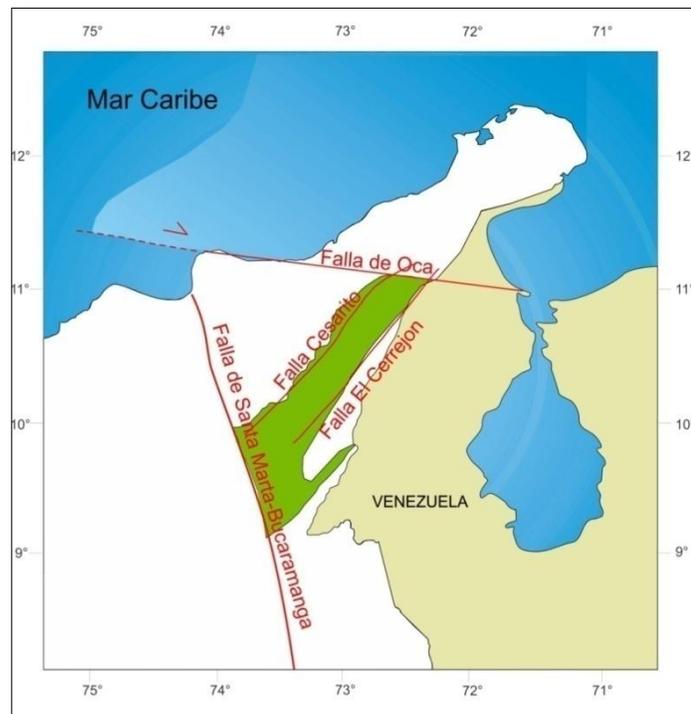
La falla de Santa Marta-Bucaramanga ubicada al noroeste de la Sierra Nevada de Santa Marta se extiende con una distancia de 550 km, presenta un desplazamiento sinextral de aproximadamente 110 km (Campbell, 1965), esta separa la cuenca inferior del Magdalena de la cuenca del Cesar y el macizo de Santander, divide la cordillera oriental en su parte norte en dos zonas, la zona este que está caracterizada por un bloque levantado compuesto principalmente de rocas metamórficas y rocas ígneas cristalinas con edades Paleozoicas y Pre-Cámbricas y rocas sedimentarias de edad Triásicas, Jurásicas y Terciarias; y la zona oeste está comprendida por rocas sedimentarias de edades predominantemente Terciarias y Cuaternarias y con menor cantidad de rocas del Cretácico y Jurásico (*Figura 5*).

#### **4.2.1.3 Falla El Cerrejón**

La falla El Cerrejón es un cabalgamiento de bajo ángulo, que presenta un buzamiento de 15° SE, es el límite este de la cuenca Cesar-Ranchería, al norte presenta una probable continuación en la falla Manaure y al sur posiblemente continua con la falla Media Luna (Kellogg, 1981) (*Figura 5*).

#### 4.2.1.4 Falla Cesarito

La traza de esta falla se ha podido deducir con base en la información de pozos y la interpretación de registros de geoelectrónica González, Hernández y Martínez, 2002 y se encuentra ubicada al NW de la cuenca Cesar Ranchería (Figura 5).



**Figura 5.** Mapa del NE de Colombia, se observa la cuenca Cesar Ranchería, limitada al SW por la falla de Santa Marta-Bucaramanga, al NE por la falla de Oca y al interior de la cuenca por la falla Cesarito y la falla El Cerrejón. Tomado y modificado de Barrero et al., 2007.

#### 4.2.1.5 Sinclinal La Loma

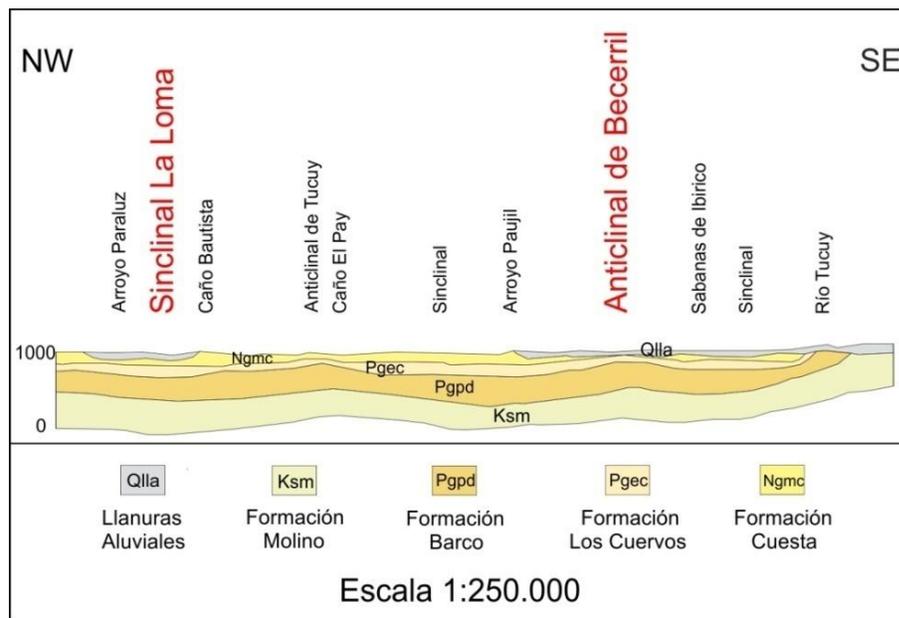
Secuencias de areniscas de grano grueso y conglomerados de la Formación Cuesta y las rocas de la Formación Los Cuervos, están siendo afectados por el

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

sinclinal La Loma en dirección NE–SW y sus flancos presentan un buzamiento entre 13° y 18° (Hernández, 2003). El sistema de fallas del Tigre y el sistema de fallas del Hatillo limitan el sinclinal La Loma al este y oeste respectivamente (Figura 6).

#### 4.2.1.6 Anticlinal de Becerril

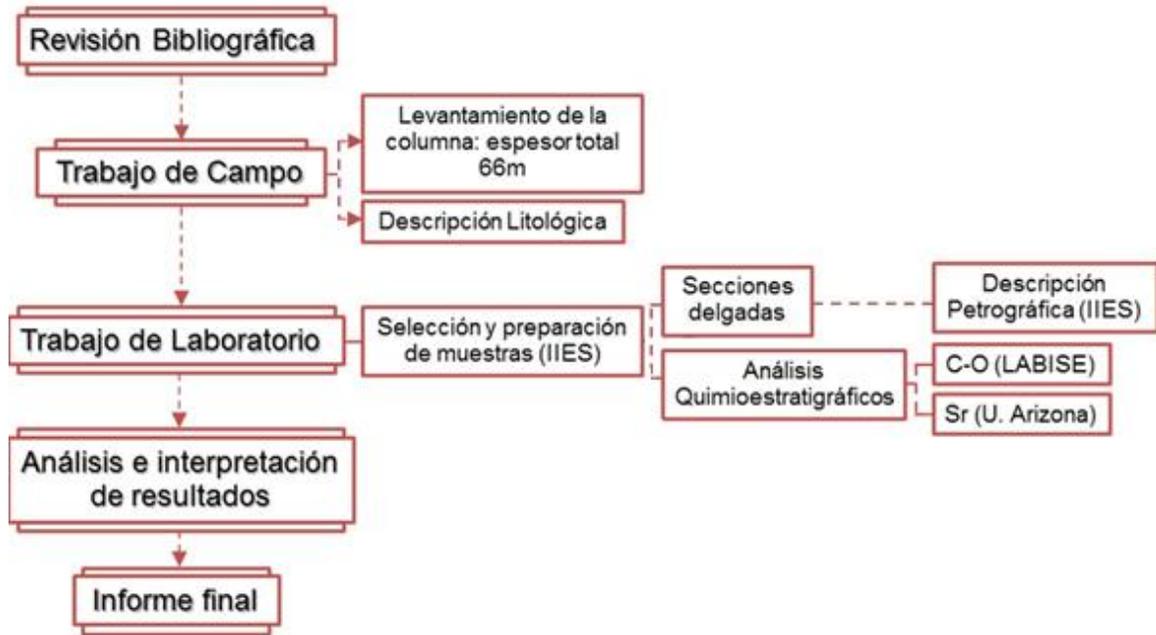
El anticlinal de Becerril se prolonga hacia el norte cerca al municipio de Becerril-Cesar con un rumbo principal NE–SW (Hernández, 2003), siendo un pliegue por propagación de falla asociado al sistema de fallas de Perijá (Chajín & Martínez, 2008) y perteneciente al sinclinorio de la Jagua (Hernández, 2003) (Figura 6).



**Figura 6.** Corte regional NW–SE del departamento del Cesar, donde se observa el anticlinal de Becerril y el sinclinal La Loma. Tomado y modificado de Arias y Morales, 1999.

## 5 MÉTODOS

La *Figura 7* muestra un flujo diagrama con los métodos empleados en el proyecto.



**Figura 7.** Metodología desarrollada durante el proyecto.

### 5.1 Fase de campo

El trabajo de campo se realizó en el sector de Bosconia-Cesar ( $9^{\circ}59'29.54''$  latitud norte y  $73^{\circ}51'39''$  longitud oeste), donde se levantó la columna estratigráfica de 66 m de espesor, de los cuales 52 m corresponden al Grupo Cogollo y 14 m a la Formación Guatapuri (Juan Carlos Silva Tamayo, 2011).

Durante esta fase se identificaron y caracterizaron macroscópicamente las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo, teniendo en cuenta los parámetros de descripción litológica y clasificación de carbonatos de Dunham, (1962) y la relación estratigráfica (contactos) con las diferentes unidades presentes en la zona.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

El levantamiento de la columna se llevó a cabo con ayuda de cinta métrica, brújula, GPS y siguiendo el método de bastón de Jacob.

En el sector donde fue levantada la columna se tiene poco espesor de las sucesiones carbonáticas en comparación con las otras secciones que han sido estudiadas del Grupo Cogollo, debido a erosión del registro. Es de resaltar que no se levantaron otras sucesiones estratigráficas ya que la sucesión levantada permitió responder las preguntas de la presente investigación 1) determinar la edad máxima de depositación y contribuir a la cronoestratigrafía de los carbonatos del Grupo Cogollo y 2) determinar la ocurrencia de niveles depositados durante el OAE 1a.

## **5.2 Fase de laboratorio**

Esta fase consiste de: 1) elaboración de pulidos y clasificación de muestras de mano, 2) elaboración de secciones delgadas, petrografía y caracterización diagenética, 3) análisis quimioestratigráficos.

### **5.2.1 Elaboración de pulidos y clasificación de muestras de mano**

Inicialmente se hicieron los pulidos de las muestras recolectadas en campo tipo galleta (con un espesor aproximado de 30  $\mu\text{m}$ ), las cuales fueron clasificadas y posteriormente comparadas con los datos de campo. Se tomaron fotos de cada una de las muestras de mano utilizando el estéreo microscopio Nikon SMZ 1500, en el Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES, para mostrar mayor detalle de la composición mineralógica de las muestras.

## 5.2.2 Elaboración de secciones delgadas, petrografía y caracterización diagenética

Para la elaboración de las secciones delgadas se escogieron 5 muestras, teniendo en cuenta características relevantes: texturales y/o composicionales, las cuales fueron teñidas con alizarina roja para determinar la presencia de dolomita e impregnadas con epóxido azul para análisis de porosidad. Posteriormente se caracterizaron por medio de microscopio de luz polarizada óptico (Nikon Eclipse 50i Pol) (Luz transmitida y reflejada), realizados en los laboratorios de petrología del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES de la Universidad de Caldas. Las fotos de cada sección fueron tomadas a partir del microscopio petrográfico óptico Nikon Eclipse LV 100, en los laboratorios del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES.

La petrografía consistió en analizar las cinco secciones delgadas, a partir de los siguientes parámetros: 1) descripción textural, 2) composición mineralógica porcentual, 3) clasificación y nombre de la roca (*Figura 8*), 4) descripción de la porosidad y 5) características diagenéticas. La caracterización textural fue realizada basados en el conteo tres de la *Figura 9* y siguiendo a Dunham (1962) (*Figura 8*).

| Textura original reconocible                            |                       |                             |            |                                  | Textura original no reconocible |
|---|-----------------------|-----------------------------|------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Componentes originales no enlazados durante el depósito |                       |                             |            | Componentes originales enlazados |                                 |
| Con matriz (carbonato de tamaño arcilla o limo fino)    |                       | Sin matriz y granosostenida |            |                                  |                                 |
| Sostenida por la matriz                                 |                       | Granosostenida              |            |                                  |                                 |
| Menos del 10% de granos                                 | Más del 10% de granos |                             |            |                                  |                                 |
| MUDSTONE  | WACKESTONE            | PACKSTONE                   | GRAINSTONE | BOUNDSTONE                       |                                 |
|   |                       |                             |            |                                  |                                 |

**Figura 8.** Clasificación de rocas carbonáticas según Dunham, 1962.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                       |         |                     |                            |               |                   |         |
|-----------------------|---------|---------------------|----------------------------|---------------|-------------------|---------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO |         | Siliciclásticas:    |                            | Carbonatos: X | Volcanoclasticas: | Mixtas: |
| UNIDAD                | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | Columna(metro arriba base) | EDAD          |                   |         |
| LOCALIZACIÓN          |         |                     | LATITUD                    | LONGITUD      |                   |         |

1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

|                        |       |                           |
|------------------------|-------|---------------------------|
| LITOFACIES             | COLOR | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS |
| OTRAS CARACTERÍSTICAS: |       |                           |

2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

CONTEO 1: CARACTERIZACIÓN TEXTURAL (100 PUNTOS)

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos |  |  |   |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)  |  |  |   |
| Micrita   |  |  | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita  |  |  | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros   |  |  |   |
| Porosidad   |  |  |   |
| <b>Total</b>  |  |  | <b>100</b>  |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZÓN (290 PUNTOS)

*Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.*

| ALOQUÍMICOS NO FOSILÍFEROS     | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|--------|---|--------|---------------|
| Ooides                         |        |   |        |               |
| Peloides                       |        |   |        |               |
| Pellets                        |        |   |        |               |
| Intraclastos                   |        |   |        |               |
| <b>ALOQUÍMICOS FOSILÍFEROS</b> |        |   |        |               |
| Algas                          |        |   |        |               |
| Foraminíferos                  |        |   |        |               |
| Equinodermos                   |        |   |        |               |
| Moluscos                       |        |   |        |               |
| Braquiópodo                    |        |   |        |               |
| Briozoo                        |        |   |        |               |
| Coral                          |        |   |        |               |
| Fósiles sin identificar        |        |   |        |               |
| <b>TERRIGENOS</b>              |        |   |        |               |
| Cuarzo                         |        |   |        |               |
| Otros                          |        |   |        |               |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |        |   |        |               |
| Glaucónita                     |        |   |        |               |
| Otros                          |        |   |        |               |
| <b>Total</b>                   |        |   |        |               |

CONTEO 3: CARACTERIZACIÓN de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|   | Puntos | % |
|---|--------|---|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados). |        |   |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glaucónita)        |        |   |
| Material intersticial primario (matriz-cemento)   |        |   |
| <b>Total</b>  |        |   |

3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

4.

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

**Figura 9.** Formato utilizado para la clasificación petrográfica de las secciones delgadas del Grupo Cogollo.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

### 5.2.3 Análisis quimioestratigráficos

Se seleccionaron 11 muestras de roca con el fin de realizar análisis quimioestratigráficos de C y O y 2 muestras para análisis quimioestratigráficos de Sr (*Tabla 1*). Estos análisis fueron realizados con el patrocinio de la Corporación Geológica ARES, la Unión Europea a través del programa Marie Curie (beca otorgada a Juan Carlos Silva Tamayo) y la Universidad de Pernambuco (Recife, Brasil).

| MUESTRAS  | ANALISIS              |                       |                                 |                 |
|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------|
|           | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | Sección delgada |
| AJ39-9    |                       |                       |                                 |                 |
| AJ37-6    |                       |                       |                                 |                 |
| AJ37-10   |                       |                       |                                 |                 |
| AJ37-11   |                       |                       |                                 |                 |
| AJ 39(-2) |                       |                       |                                 |                 |
| AJ 39-1   |                       |                       |                                 |                 |
| AJ39-2I   |                       |                       |                                 |                 |
| AJ39-3    |                       |                       |                                 |                 |
| AJ39-5    |                       |                       |                                 |                 |
| AJ 39-6   |                       |                       |                                 |                 |
| AJ39-7 II |                       |                       |                                 |                 |

**Tabla 1.** Muestras de rocas carbonáticas seleccionadas para análisis de isótopos estables de C y O, isótopos radiogénicos de Sr y petrográficos respectivamente.

La preparación de micromuestras se realizó a partir de microdrilling, en los laboratorios del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía-IIES de la Universidad de Caldas. El micromuestreo permitió coleccionar muestras de carbonatos libres de superficies de meteorización, fracturas y facies recristalizadas que pudiesen comprometer la calidad de los análisis isotópicos de C, O y Sr con fines quimioestratigráficos.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

Las micromuestras (polvo de roca) preparadas para análisis isotópicos de carbono y oxígeno, se enviaron y analizaron en los laboratorios de Isótopos Estables (LABISE), del departamento de geociencias, en la Universidad Federal de Pernambuco (Recife, Brasil). Los análisis fueron realizados, con un espectrómetro de masas de fuente gaseosa, SIRA II (multi-collector double-inlet gas source). Para la realización de los análisis, cada una de las muestras de carbonato puro se pone a reacciones con ácido ortofosfórico al 100% durante 12 horas a 25 °C. El CO<sub>2</sub> expulsado en esta reacción se colecto en una línea de extracción de alto vacío a través de captura criogénica, de acuerdo al método propuesto por Craig (1957). Las muestras de CO<sub>2</sub> se analizaron en un espectrómetro de masa con triple colector y doble entrada de fuente gaseosa, SIRA II. Los datos obtenidos de la composición isotópica de las muestras analizadas se reportan en unidades internacionales delta per mil ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) referentes a la composición isotópica del estándar Belemnitella Americana de la Formación Peedee del Cretácico, en Carolina del Sur, Estados Unidos (Faure, 1986). Las muestras preparadas para análisis geoquímicos de estroncio, fueron enviadas y analizadas en la Universidad de Arizona (Tucson, Estados Unidos), a partir de TIMS con un colector (seven collector MAT 262).

### 5.3 Etapa final

Se analizaron e interpretaron los datos obtenidos en el trabajo de campo y laboratorio, con el propósito de establecer el ambiente de depositación. Análisis petrográficos fueron utilizados para soportar las interpretaciones de ambientes de depositación y para caracterizar diagenéticamente las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo. Los análisis quimioestratigráficos de C y Sr fueron comparados con las curvas globales de variaciones de C y Sr en carbonatos (Föllmi, 2011., HU

et al., 2012) para determinar la presencia de posibles OAEs y la edad de depositación de las sucesiones carbonáticas analizadas.

Finalmente se lleva a cabo la fase de redacción y presentación ordenada de la información, a partir de recopilación de datos, elaboración y edición de mapas, diagramas, figuras y tablas para el desarrollo final del presente proyecto.

## 6 ESTADO DEL ARTE

### 6.1 Quimioestratigrafía

#### 6.1.1 Isótopos estables de carbono y oxígeno

La quimioestratigrafía de isótopos determina la distribución geoquímica de los elementos (variaciones químicas y fisicoquímicas) de las sucesiones sedimentarias, establece la evolución y el significado estratigráfico y sedimentario de una cuenca (Berger & Vincent, 1981).

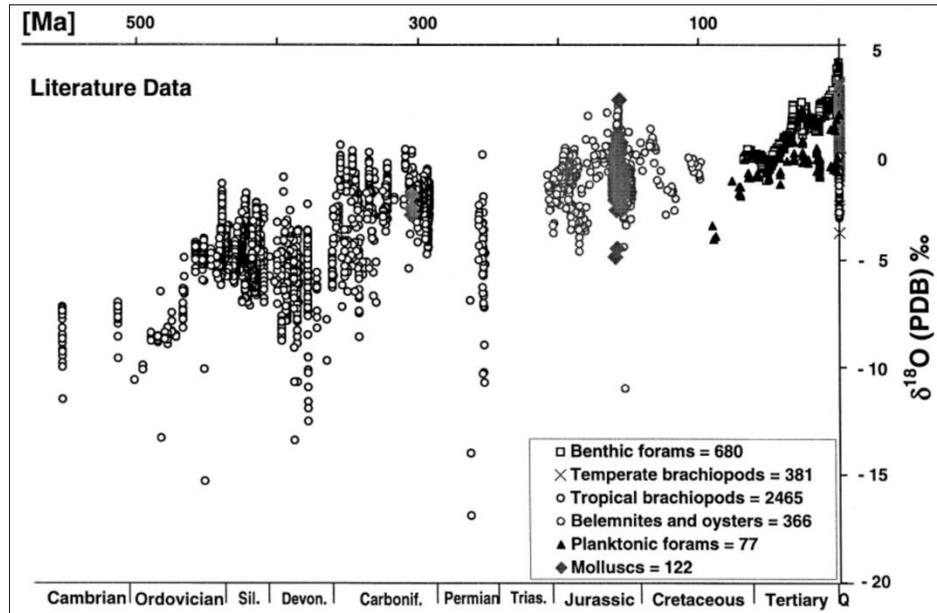
Los isótopos estables son átomos de un mismo elemento, los cuales varían en el número de neutrones, difieren en su masa atómica y no presentan desintegración nuclear (Arnett, 1996). El estudio quimioestratigráfico del Grupo Cogollo en la cuenca Cesar-Ranchería se enfocó en análisis de isótopos estables de C y O. La abundancia relativa de los isótopos de C y O en el agua de mar, depende de la disponibilidad y movilidad entre reservorios (agua de mar, materia orgánica, carbonatos), del tiempo de residencia isotópica y de la presencia relativa de uno de los mecanismos de fraccionamiento isotópico (i.e. el secuestro preferencial de carbono 12 por parte de los organismos marinos), entre otros. Las variaciones isotópicas en carbonatos pueden representar procesos que ocurren en la superficie terrestre y que afectan los ciclos biogeoquímicos: i.e. eventos anóxicos oceánicos globales (Hoefs, 1980).

El oxígeno está conformado según su abundancia isotópica de la siguiente manera:  $^{16}\text{O}$  (99.757%),  $^{17}\text{O}$  (0.038%) y  $^{18}\text{O}$  (0.205%). En quimioestratigrafía de carbonatos marinos, la relación  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  es utilizada para determinar cambios, en el volumen de hielo acumulado en los polos y montañas, la temperatura de los

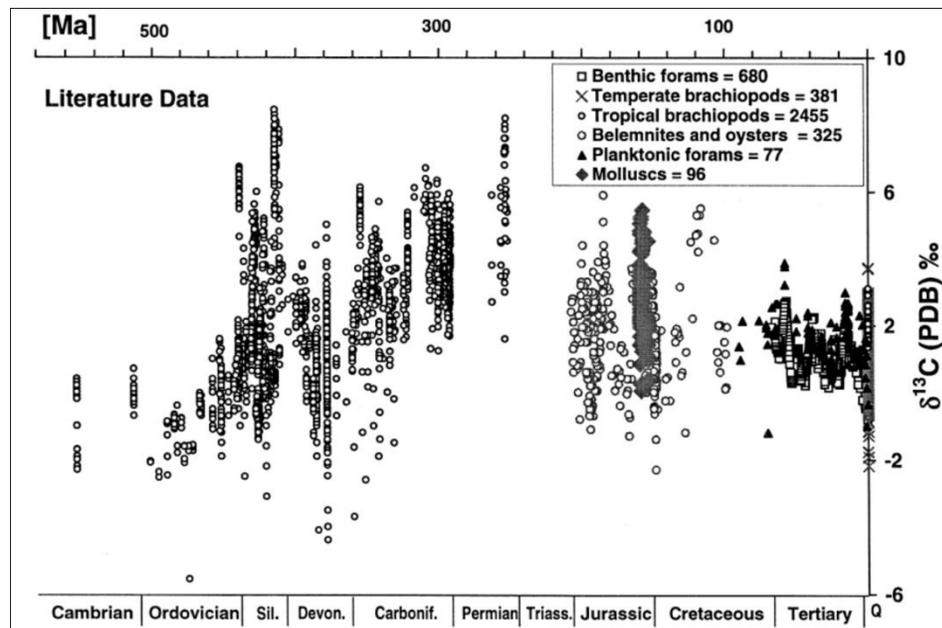
océanos, la relación original de agua marina y corrientes oceánicas (temperatura y salinidad) (Rosman y Taylor, 1998) (*Figura 10*).

Por otro lado el Carbono está compuesto isotópicamente por:  $^{12}\text{C}$  (98.93%) y  $^{13}\text{C}$  (1.03%). En quimioestratigrafía de carbonatos marinos se busca identificar desbalances de estos isótopos y se emplea la relación isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ; la cual es influenciada por el ciclo del carbono en el planeta, la intensidad de la actividad orgánica tanto en el océano como en el continente y enterramiento de materia orgánica en el fondo marino (Rosman y Taylor, 1998). Los cambios en la composición isotópica de C en el agua de mar refleja el balance de masas entre la cantidad de  $^{12}\text{C}$  que entra en el océano y la cantidad del mismo que es enterrada en el piso del océano. Por este motivo las variaciones de isótopos de C en carbonatos en ciclos biogeoquímicos en el mar, i.e. los eventos anóxicos oceánicos (*Figura 11*).

En general los carbonatos, sulfatos y la materia orgánica se generan y precipitan en equilibrio químico-isotópico, con el agua marina, por lo que estos preservan la composición isotópica del agua oceánica en el momento de la sedimentación. A pesar de lo anterior. Procesos post-depositacionales (diagénesis) tienden a alterar la composición isotópica de carbono y oxígeno en los carbonatos. Alteración del registro isotópico original acompaña los cambios mineralógicos, texturales y geoquímicos elementales, experimentado desde la sedimentación hasta su exhumación (Veizer & Hoefs, 1976).



**Figura 10.** Variación global de isótopos de O en el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).

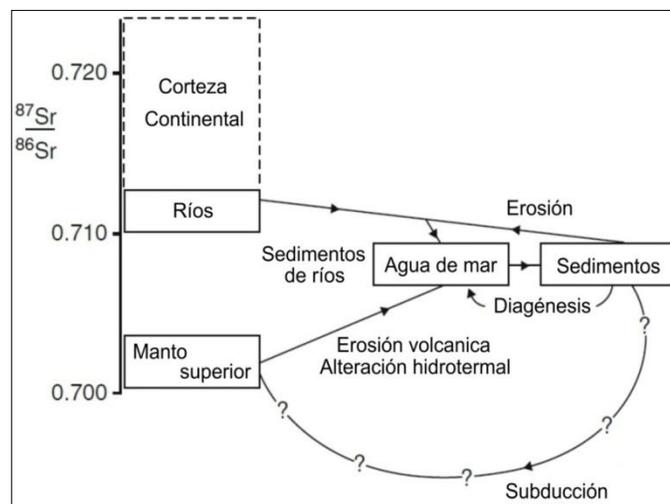


**Figura 11.** Variación global de isótopos de C en el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

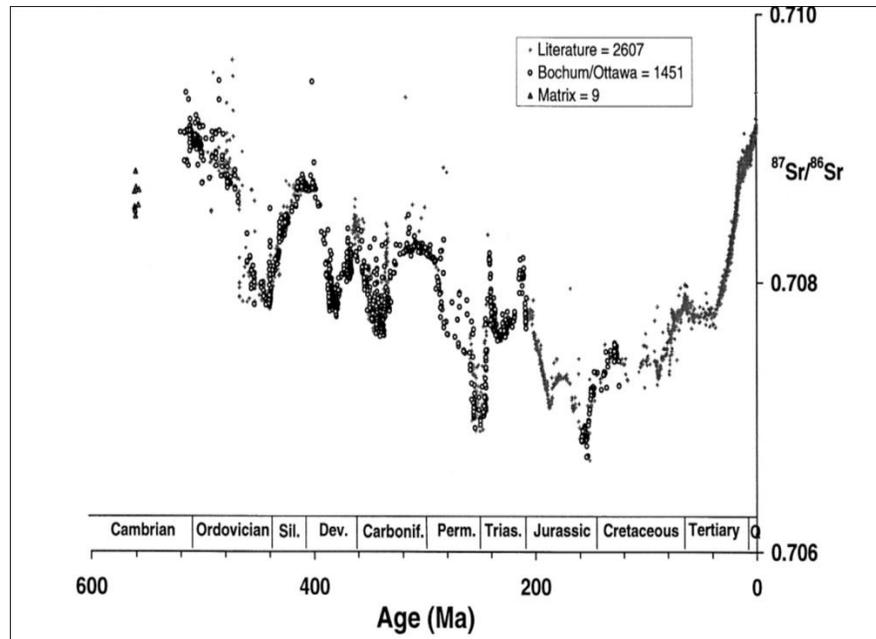
### 6.1.2 Isótopos de estroncio

La quimioestratigrafía de isótopos de Sr se basa en el balance global de los isótopos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Esta relación es aproximadamente constante en todos los océanos para un determinado tiempo geológico, el aporte de Sr para el agua marina proviene en general de dos fuentes: corteza continental y manto. La corteza continental que es enriquecida en isótopos  $^{87}\text{Sr}$  y es responsable de los valores más altos de la relación de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.720). La alta abundancia de isótopos de  $^{87}\text{Sr}$  en la corteza continental se debe al enriquecimiento del material magmático diferenciado en  $^{87}\text{Rb}$ , el cual decae a  $^{87}\text{Sr}$  (Wadleigh, 1982) El manto por otra parte, es responsable de los valores más bajos de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0.703). Esto es debido a la poca abundancia de  $^{87}\text{Rb}$ , el cual es poco abundante en material indiferenciado del manto (Wadleigh, 1982) (*Figura 12*). El balance de masas de fuentes de los isótopos de Sr se ve reflejado en su variación secular a través del tiempo (*Figura 13*). Así se ha podido identificar periodos de alto levantamiento de cadenas montañosas (periodos de alto aporte de  $^{87}\text{Sr}$ ) y periodos de alta actividad medio-oceánica (periodos de alto aporte de  $^{86}\text{Sr}$ ).



**Figura 12.** Representación esquemática de la variación isotópica superficial del Sr. Tomado y modificado de Wadleigh, 1982.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



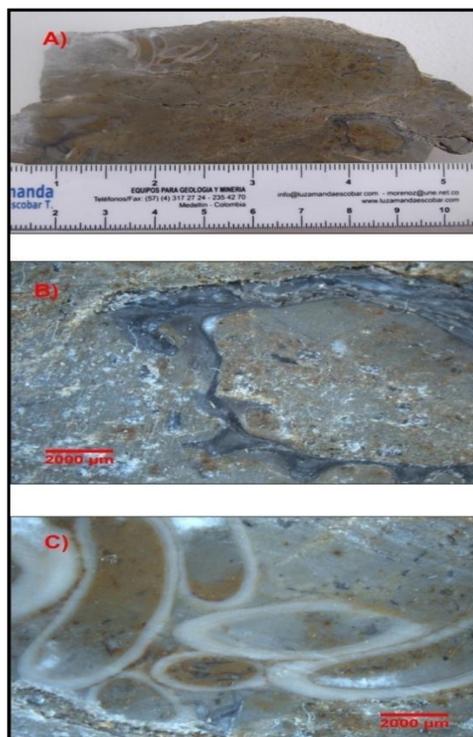
**Figura 13.** Variación global de isótopos de Sr durante el Fanerozoico. Tomado de Veizer et al. (1999).

## 7 RESULTADOS

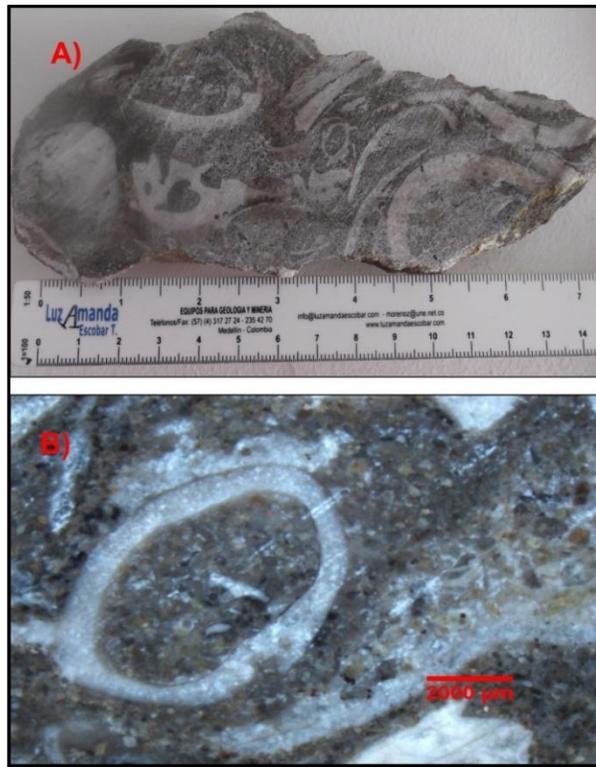
En este capítulo se enfatizan cuatro aspectos que permitirán analizar la quimioestratigrafía, las características diagenéticas y petrográficas, y la edad de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo en el municipio de Bosconia-Cesar.

### 7.1 Datos de campo

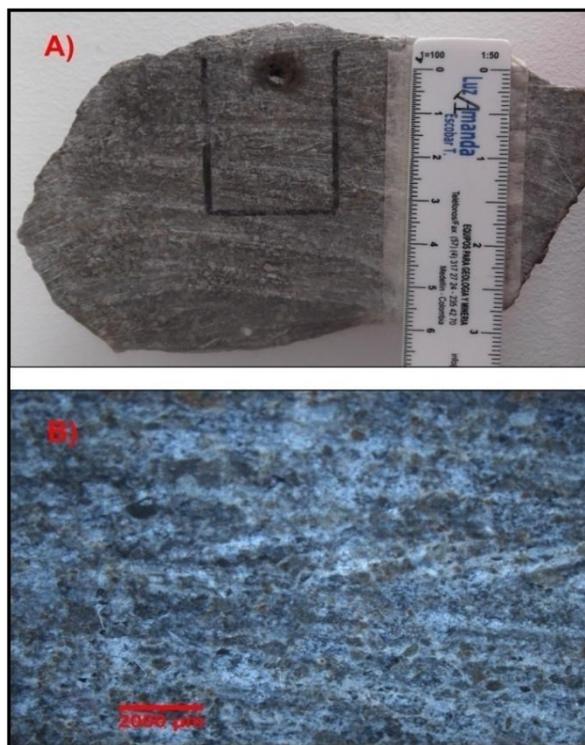
Las muestras de rocas carbonáticas del Grupo Cogollo clasificadas durante la fase de campo fueron corroboradas con la clasificación realizada en la fase de laboratorio. A continuación se muestran algunas fotografías de los fragmentos analizados en el laboratorio (*Figura 14, Figura 15 y Figura 16*) y la columna estratigráfica de las sucesiones carbonáticas pertenecientes al Grupo Cogollo (*Figura 17*).



**Figura 14.** A) Muestra de mano # 37-6 perteneciente al Grupo Cogollo: wackestone con presencia de bivalvos, B) molusco (ostrea) y C) anhelidos (serpulidos). Ubicada en la base de la columna estratigráfica.

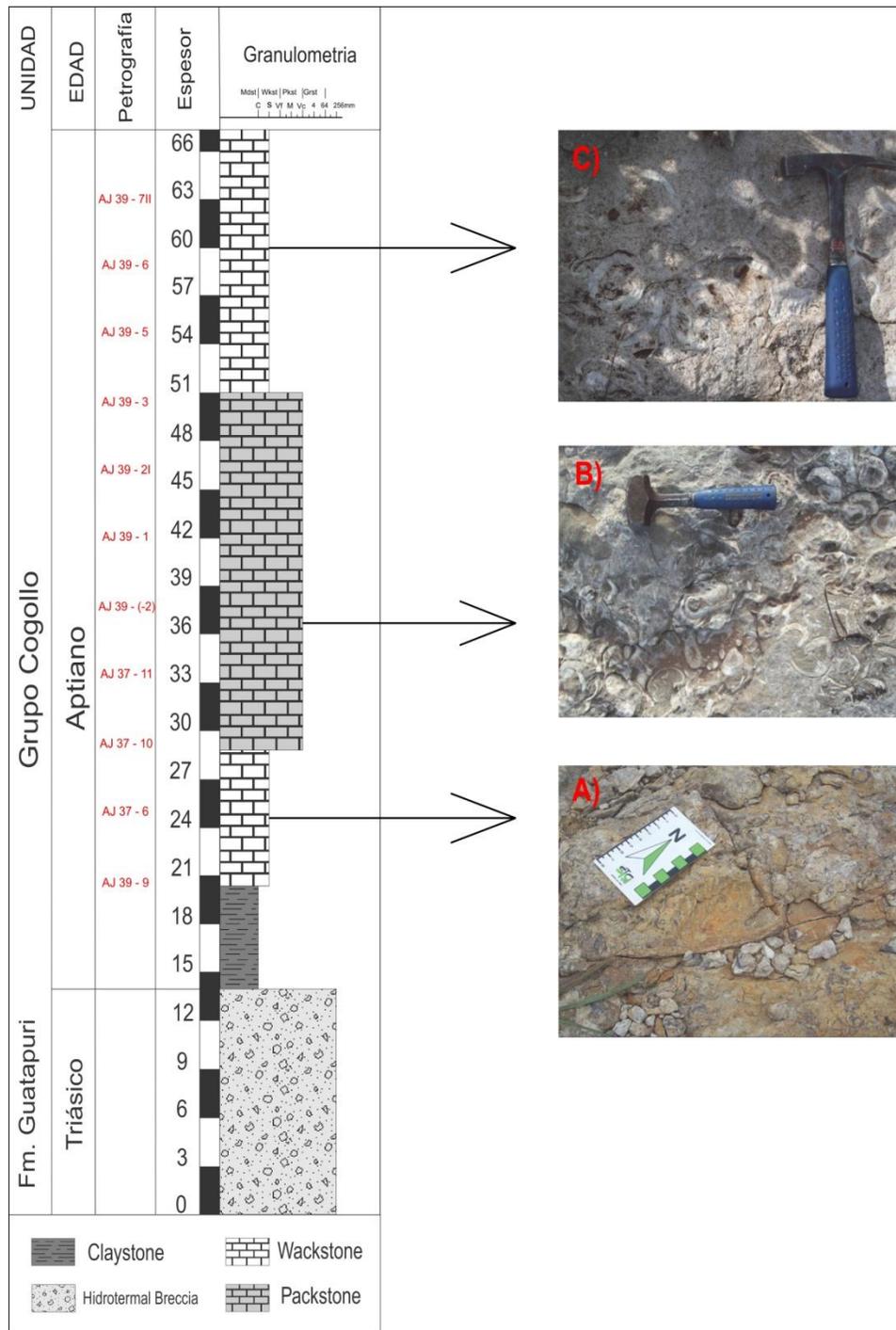


**Figura 15.** A) Muestra de mano # 39-1 perteneciente al Grupo Cogollo: packstone de bioclastos, con predominio de moluscos, B) molusco recristalizado. Ubicada en la parte media de la columna estratigráfica.



**Figura 16.** A) Muestra de mano # 39-6 perteneciente al Grupo Cogollo: wackestone. Ubicada en la parte superior de la columna estratigráfica.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**Figura 17.** Columna estratigráfica del Grupo Cogollo en el municipio de Bosconia-Cesar, donde se observan las muestras recolectadas en campo; de base a techo se encuentra: (a.) wackstone, (b.) packstone y (c.) wackstone. Tomado y modificado de Silva-Tamayo, J.C. et al., 2012.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## 7.2 Petrografía

En este capítulo se expone el trabajo petrográfico realizado a partir de secciones delgadas de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo, en el cual se abarcaron los siguientes tópicos: 1) caracterización textural; 2) caracterización del armazón; 3) caracterización de la fábrica primaria de acumulación; (*Figura 18*); 4) descripción del tipo de porosidad; 5) caracterización diagenética y 6) clasificación petrográfica.

Los fósiles de mayor abundancia encontrados tanto en la base como en el techo de la columna estratigráfica fueron: moluscos (bivalvos y gasterópodos (*Figura 19.F*)) y equinodermos (restos de crinoideos (*Figura 19.D, Figura 20.D*)), en general fragmentados o remplazados por cemento (esparita). A medida que se profundiza en la cuenca, se observa variación en el tamaño de los fósiles, estos son de mayor tamaño hacia la base de la columna con respecto a los fósiles encontrados en la parte superior de la misma. En menor proporción se observaron foraminíferos (*Figura 19.E*), briozoos (*Figura 19.C*), algas (*Figura 19.C, Figura 20.B*), y ostrácodos (*Figura 20.A*) ubicados en la base y parte media de la sección.

Hacia la parte superior se observó baja concentración de material terrígeno (*Figura 19.A*), tales como: variedades de sílice, las cuales presentan baja esfericidad y redondez, circones (de tamaño relativamente pequeños (*Figura 19.A*)) (base y parte media de la columna) y apatitos.

En general se presenta porosidad moldica (*Figura 19.B*)-intrapartícula-interpartícula- intercrystalina- asociada a estilolitos y asociada a microfracturas (*Figura 20.C*). Las secciones ubicadas en la parte baja de la columna poseen mayor porosidad, además se observó estilolitización (*Figura 19.F*) moderada en todas las secciones, dolomitización (baja proporción) en zonas cercanas a las superficies estilolíticas, (únicamente en la sección 37-6) y microfracturas dispuestas de manera aleatoria y algunas atravesando la placa.

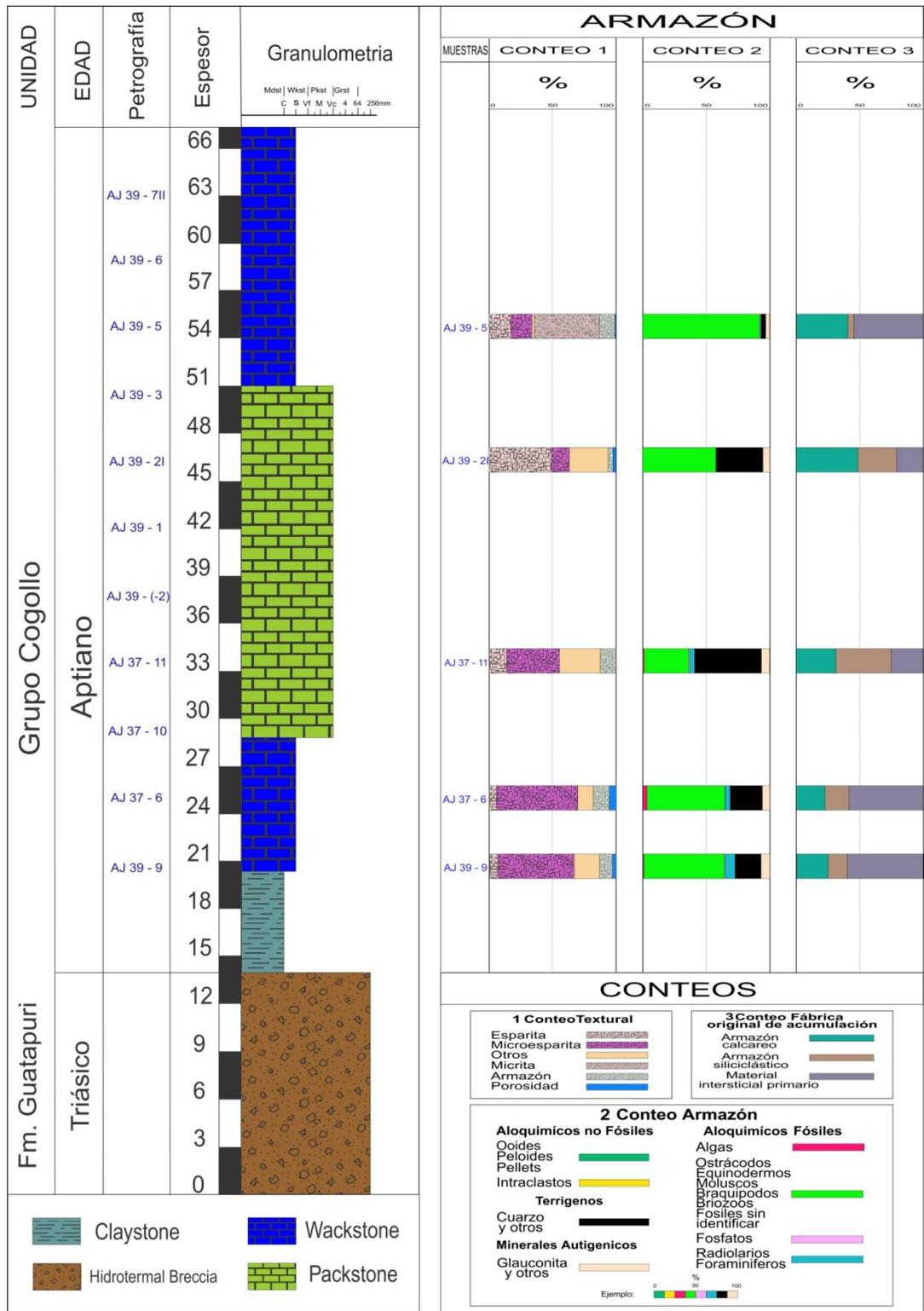
*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

El cemento está constituido por microesparita (*Figura 19.C*), esparita (equant (*Figura 19.D*) y micrita (*Figura 19.F*); siendo este el orden de concentración en las secciones. Los contactos más representativos fueron: suturado (*Figura 19.F*), cóncavo-convexo y flotante (*Figura 19.C*).

Con el fin de determinar símbolos para cada una de las características presentes en las secciones delgadas y resaltar algunos parámetros importantes se realizó una tabla de abreviaturas empleada en las fotografías (*Tabla 2*).

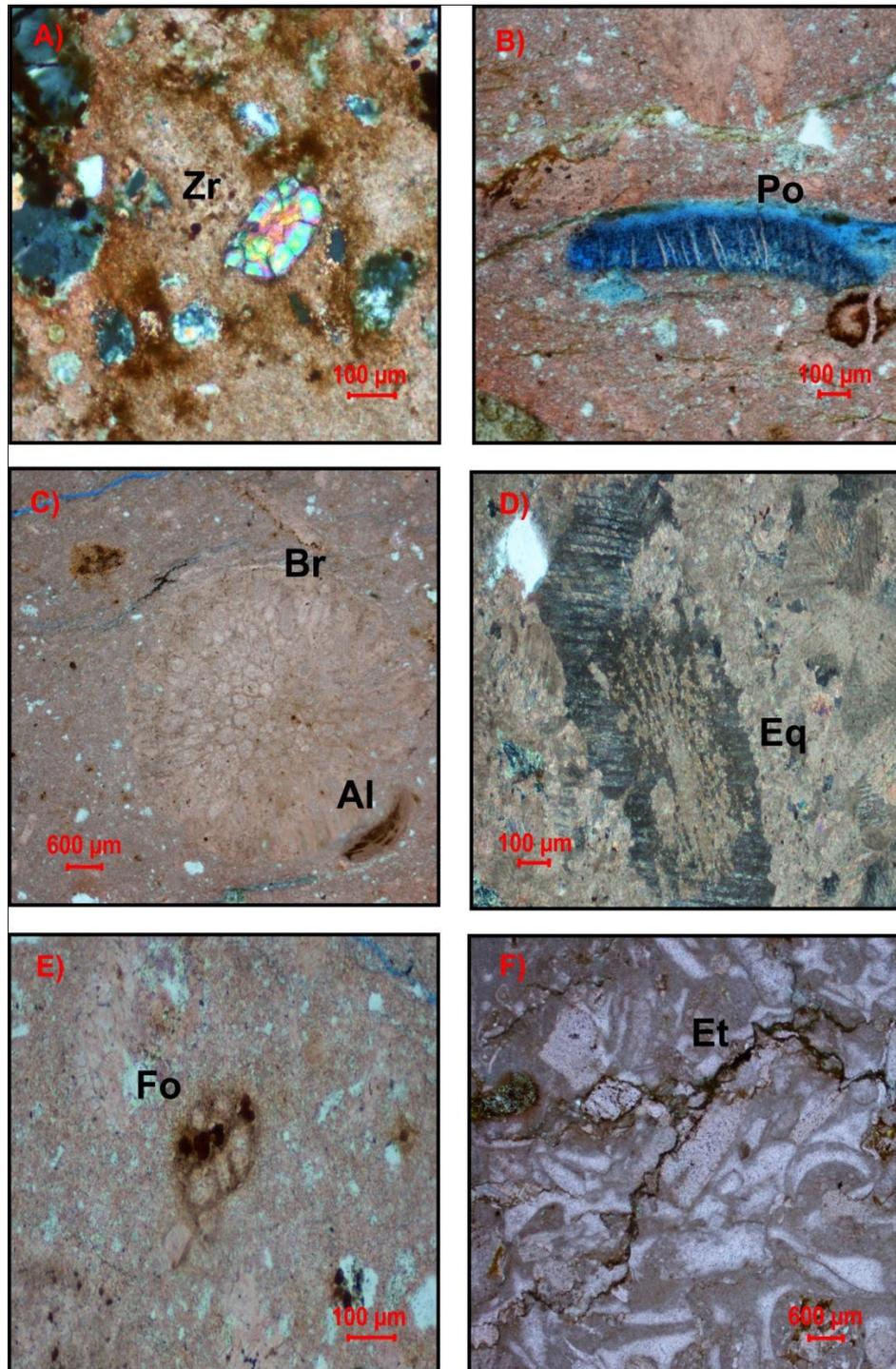
| Matriz<br>Cemento | Símbolo | Aloquimicos   | Símbolo | Material<br>Terrígeno | Símbolo | Mineral<br>Autígeno  | Símbolo | Características | Símbolo |
|-------------------|---------|---------------|---------|-----------------------|---------|----------------------|---------|-----------------|---------|
| Esparita          | Es      | Algas         | Al      | Cuarzo                | Qz      | Glauconita           | Gl      | Estilolitos     | Et      |
| Microesparita     | MEs     | Ostracodos    | Os      | Zircon                | Zr      | Material Ferruginoso | Mf      | Porosidad       | Po      |
| Micrita           | Mc      | Equinodermos  | Eq      | Apatito               | Ap      |                      |         |                 |         |
|                   |         | Moluscos      | Ml      |                       |         |                      |         |                 |         |
|                   |         | Briozoos      | Br      |                       |         |                      |         |                 |         |
|                   |         | Foraminíferos | Fo      |                       |         |                      |         |                 |         |
|                   |         | Fostatos      | Fs      |                       |         |                      |         |                 |         |

**Tabla 2.** Nomenclatura empleada, para destacar las características relevantes de las secciones estudiadas en cada una de las imágenes.



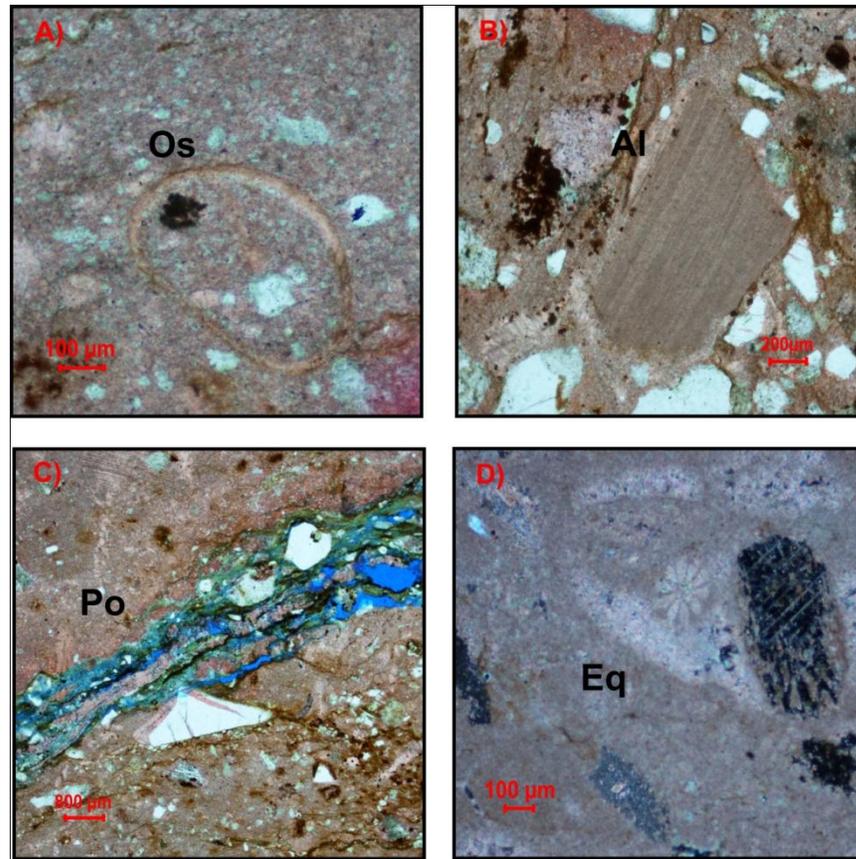
**Figura 18.** Conteos obtenidos a partir de análisis petrográficos.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**Figura 19.** Características petrográficas y algunos alquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Grupo Cogollo. (A).Zr: zircón, XPL, (B).Po: porosidad moldica. (C).Br: briozoo (superior)-alga (inferior), PPL. (D).Eq: equinodermo, XP, (E).Fo: foraminífero, PPL. (F).Et: estilolitos

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**Figura 20.** Características petrográficas y algunos alquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Grupo Cogollo. (A). Os: ostrácodo, PPL. (B). AL: alga, PPL. (C). Po: porosidad asociada a fracturas. (D). Eq: equinodermos, PPL-XPL.

### 7.3 Quimioestratigrafía

#### 7.3.1 Quimioestratigrafía de isótopos estables de carbono y oxígeno

A continuación se muestran los valores y la curva resultante a partir de análisis isotópicos de carbono y oxígeno en las rocas carbonatadas del Grupo Cogollo (Tabla 3) y (Figura 21).

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

| Muestra    | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| AJ 39-9H   | -3,23                 | -7,68                 |
| AJ 37-6    | 0,33                  | -5,54                 |
| AJ 37-10   | -0,57                 | -6,26                 |
| AJ 37-11   | -0,49                 | -7,54                 |
| AJ 39-(-2) | 2,65                  | -8,27                 |
| AJ 39-1    | 2,15                  | -6,80                 |
| AJ 39-2I   | 4,53                  | -7,90                 |
| AJ 39-3    | 2,15                  | -6,53                 |
| AJ 39-5    | 1,75                  | -6,08                 |
| AJ 39-6    | 2,59                  | -7,05                 |
| AJ 39-7II  | 1,78                  | -6,89                 |

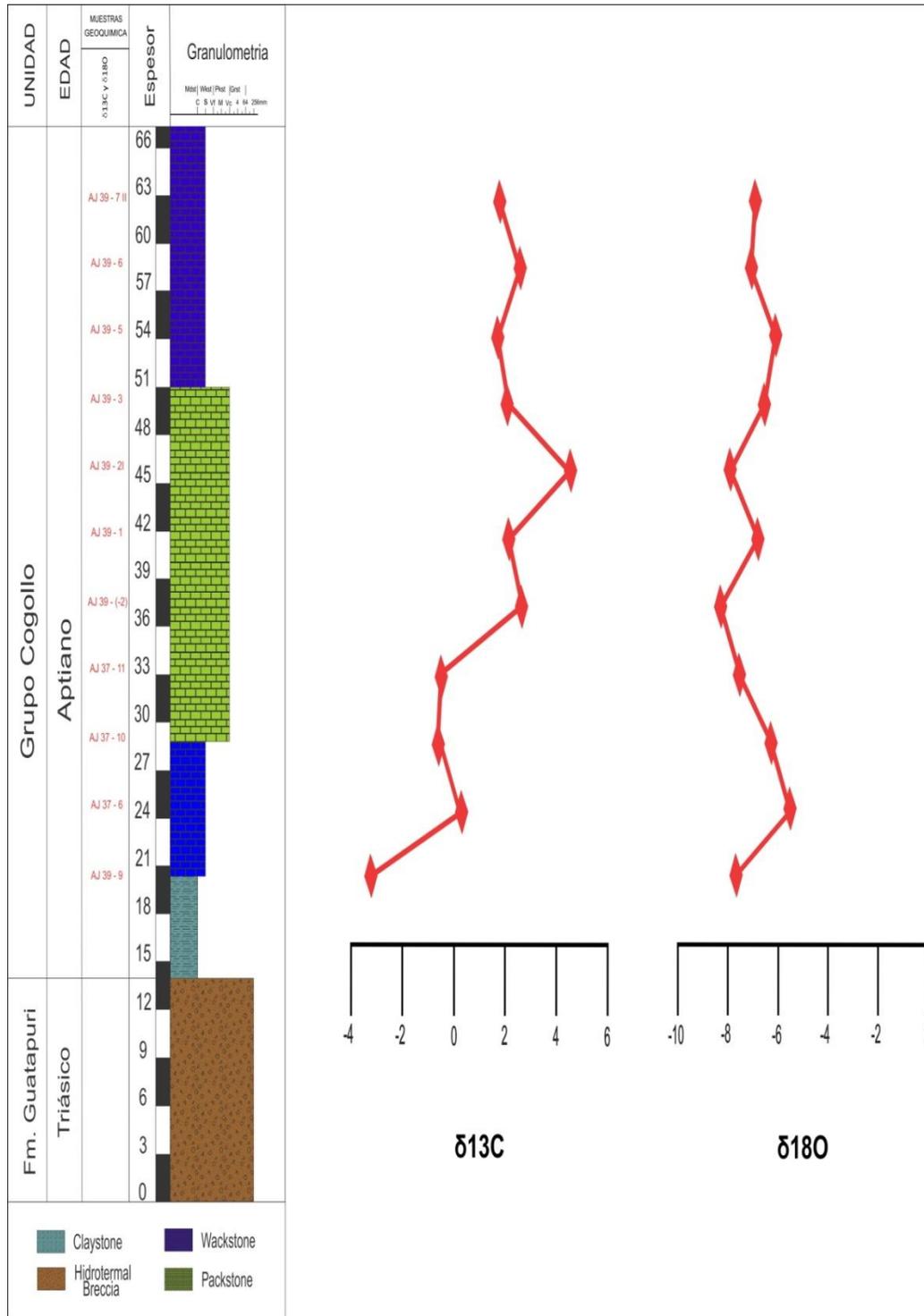
**Tabla 3.** Datos quimioestratigráficos de isótopos de carbono y oxígeno de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo.

### 7.3.2 Quimioestratigrafía de isótopos de estroncio

A continuación se muestran los valores y la curva resultante a partir de análisis isotópicos de estroncio en las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo (Tabla 4) y (Figura 22).

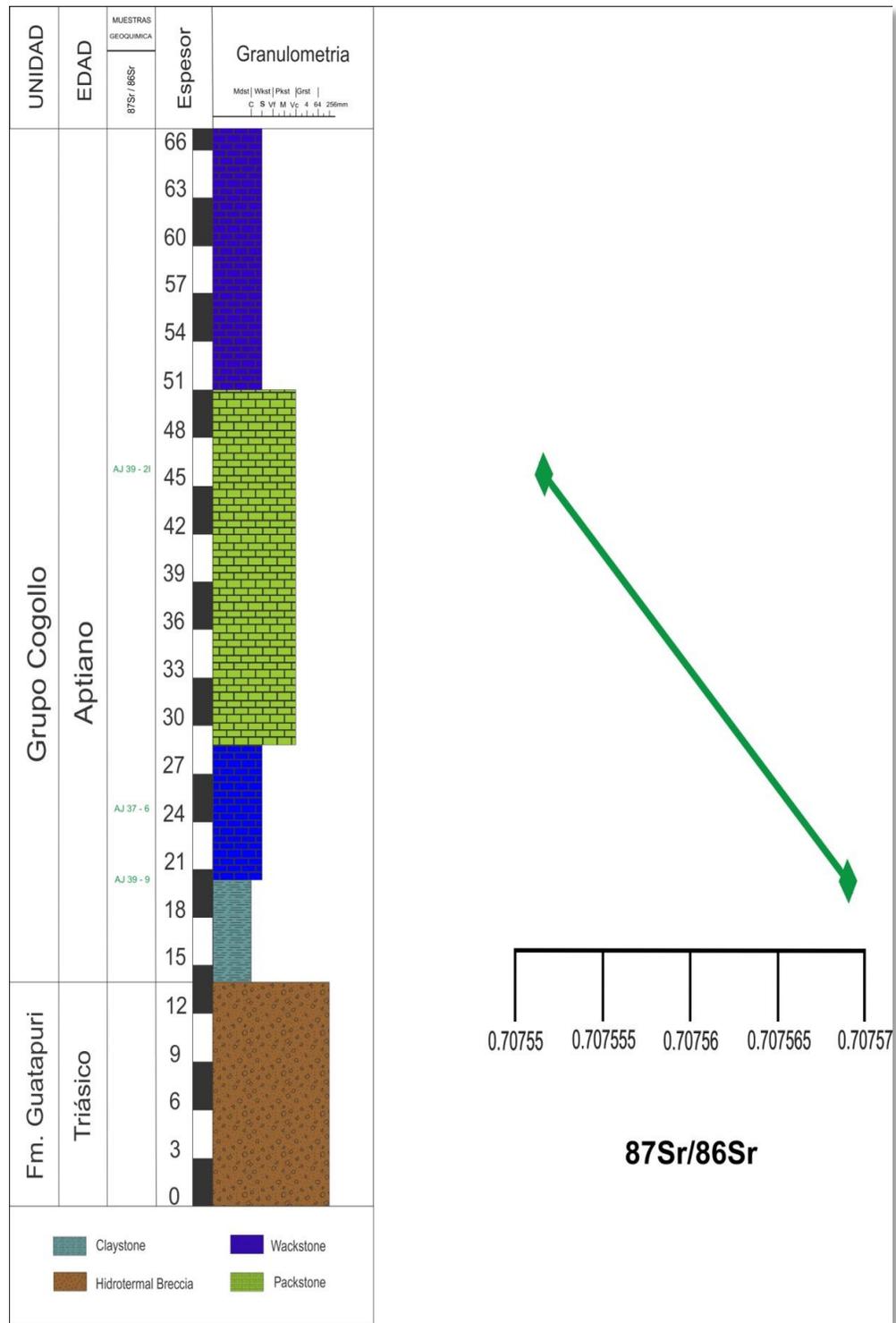
| Muestra  | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|----------|---------------------------------|
| AJ 39-9  | 0,7075691                       |
| AJ 39-2I | 0,7075516                       |

**Tabla 4.** Datos quimioestratigráficos de isótopos de estroncio de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo.



**Figura 21.** Gráfica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráficos de isótopos de C y O.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**Figura 22.** Gráfica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráfico de isótopos  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## 8 INTERPRETACION

### 8.1 Paragénesis de carbonatos

#### 8.1.1 Ambiente sedimentario de la sección estudiada

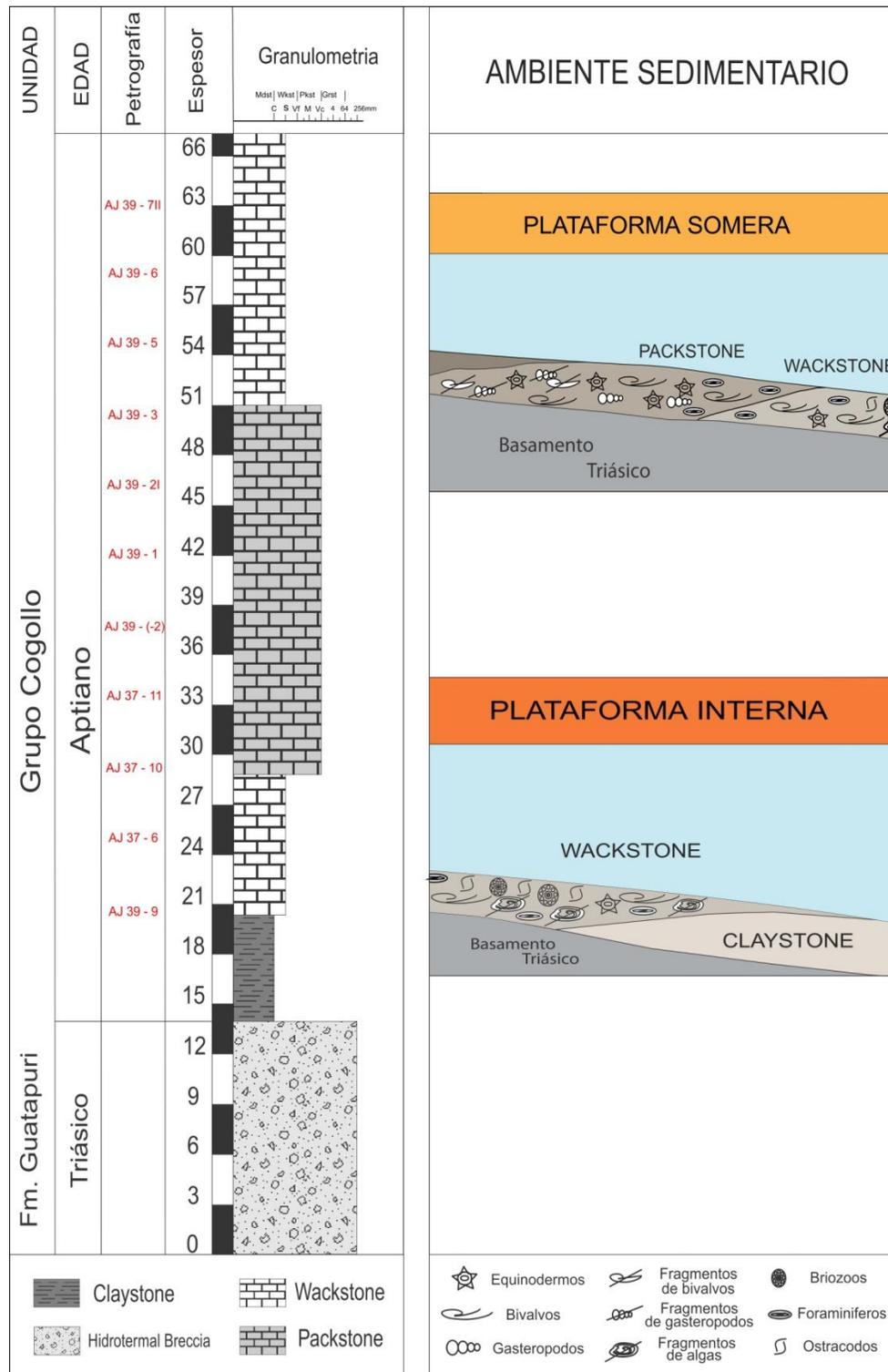
En la parte baja de la sucesión estratigráfica, entre los 14 y 20m, se presenta depositación de claystone con fósiles marinos (predominantemente moluscos), asociados a zonas profundas; a medida que aumenta el nivel del mar, se genera mayor energía, dando como resultado la sedimentación de 1) wackestone presente entre los 20m y 29m con predominio de moluscos, equinodermos y en menor proporción foraminíferos, ostrácodos y fragmentos de algas, asociado a una depositación en un ambiente marino de plataforma abierta moderadamente profunda, 2) packstone con moluscos, equinodermos y mayor aporte de material siliciclástico, presente entre los 29m y 51m de la columna estratigráfica ligado a un ambiente de plataforma abierta de moderada a somera; y depositación de 4) wackestone en la parte superior de la secuencia estratigráfica, entre los 51m y 67m, con predominio de moluscos y equinodermos y menor abundancia foraminíferos y material terrígeno, esta sedimentación se presenta en un ambiente de plataforma abierta somera a moderadamente profunda (*Figura 23*).

A partir del análisis estratigráfico se determina un aumento en el nivel del mar, dando como resultado la sedimentación de material fino en las partes más profundas de la plataforma interna, evidenciado en la depositación de claystone, asociado a una tendencia granodecreciente, posteriormente se da una variación de wackestone-packstone vinculado a una transición de una zona moderadamente profunda a una zona muy somera, evidenciada en el aumento de la granulometría, relacionado a una tendencia granocreciente, por último en el techo de la sucesión estratigráfica se da una variación de packstone-wackestone ligada a una

tendencia granodecreciente (asociado a un leve descenso en el nivel del mar seguido de un aumento paulatino del mismo), indicando nuevamente profundización de la plataforma abierta (*Figura 24*).

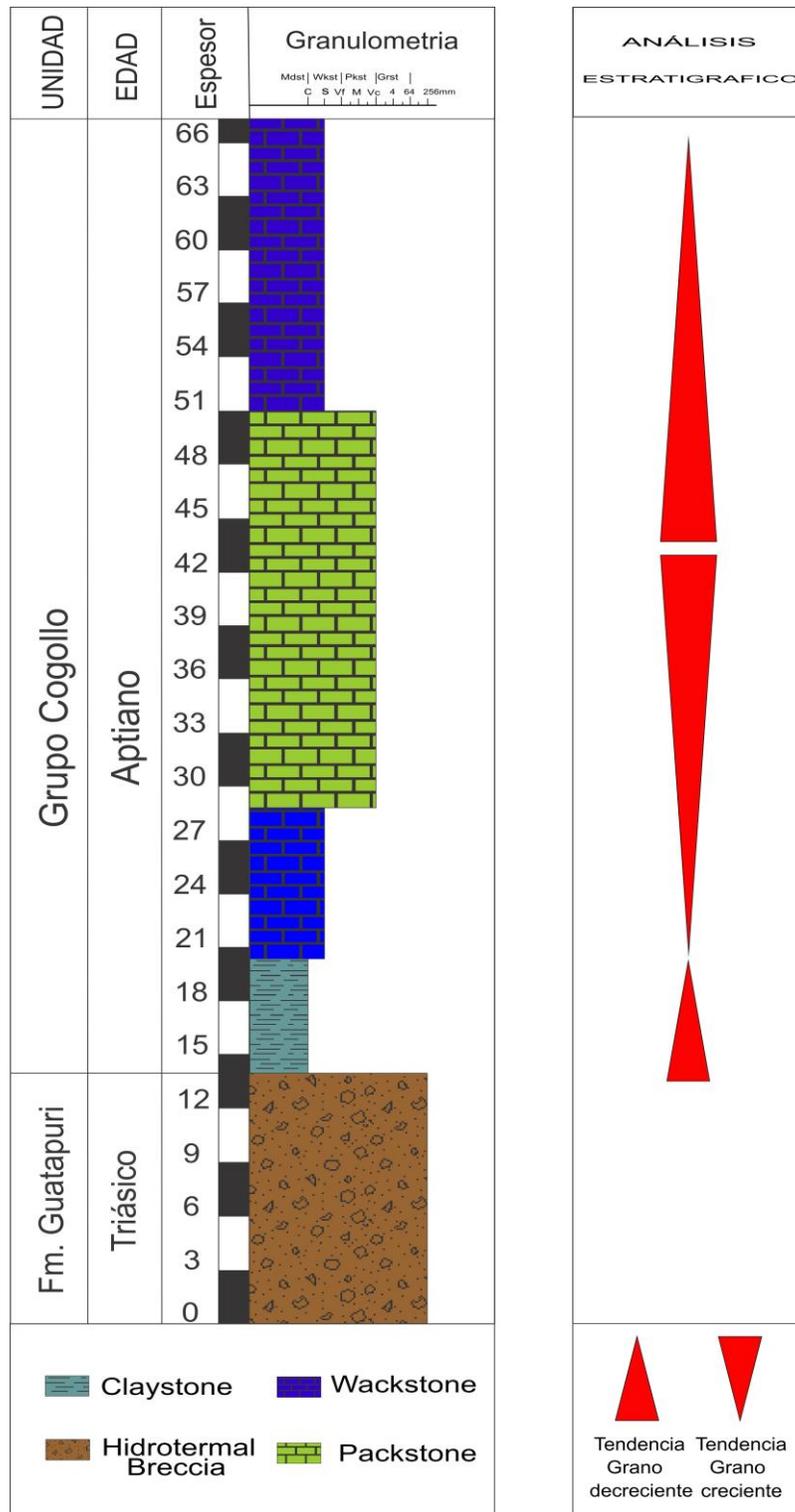
Teniendo en cuenta lo anterior se establece para las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo un ambiente de sedimentación marino de plataforma abierta, con variación lateral de facies, y un fuerte retrabajamiento de los fósiles encontrados en la zona moderadamente profunda a somera de la plataforma abierta, debido al menor espacio de acomodación e influenciada por la acción del oleaje; lo cual concuerda con la interpretación dada por Cáceres y otros, 1981, siendo estas las facies típicas del OAE 1a (*Figura 23*).

Finalmente apoyados en los análisis quimioestratigráficos, se consideran que los valores bajos de  $^{13}\text{C}$  se deben al asilamiento de la cuenca en este sector, estos valores evidencian una cuenca- ambiente restringido a lagoon, asociado a bajos niveles de oxigenación, alta productividad y posiblemente niveles altos de materia orgánica.



**Figura 23.** Ambiente de depósito de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



**Figura 24.** Análisis estratigráfico del Grupo Cogollo en el municipio de Bosconia-Cesar.

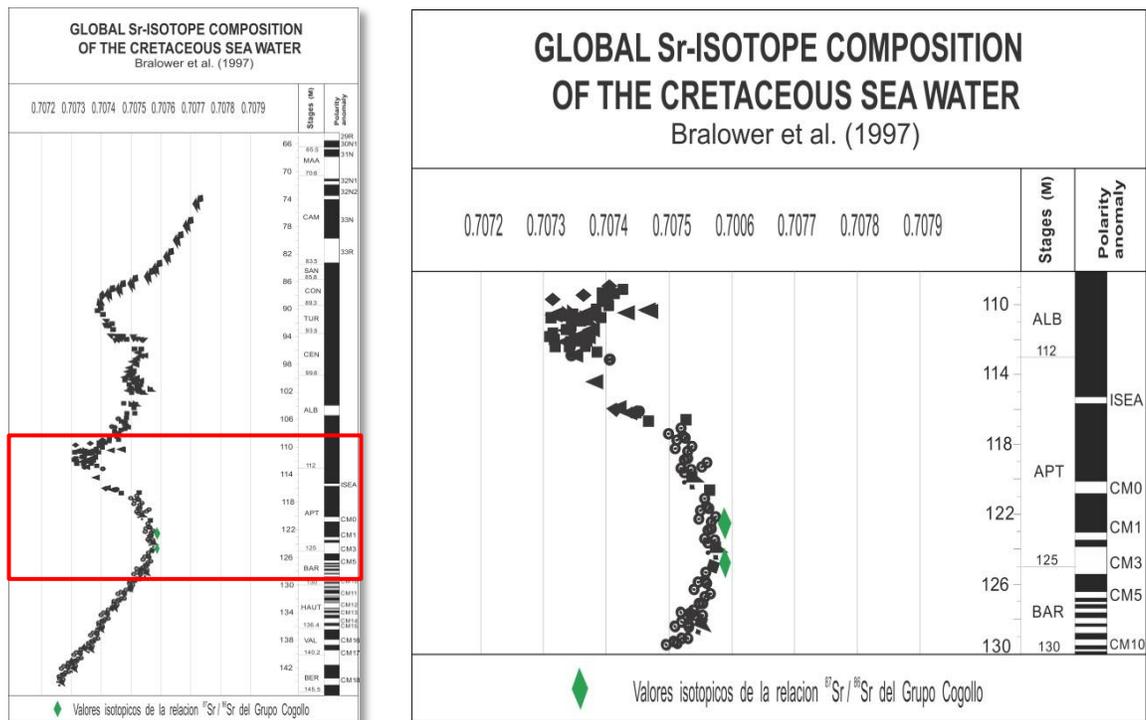
*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## 8.2 Quimioestratigrafía

### 8.2.1 Edad

En la curva global de Sr, el Cretácico evidencia una variación entre 0,70728 a 0,70773 en la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , mostrando un aumento importante de  $\pm 0,7076$  y una desviación positiva durante el Aptiano.

A partir de quimioestratigrafía de Sr se obtuvieron valores entre 0,7075691-0,7075516 de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  para el Grupo Cogollo; estos fueron comparados con la curva global de Sr y correlacionados con la desviación positiva del Aptiano. Por tanto se corrobora una edad Aptiana para las sucesiones carbonáticas de la Formación Lagunitas del Grupo Cogollo (*Figura 25*).



**Figura 25.** Representación de los valores isotópicos de Sr del Grupo Cogollo en relación con el comportamiento global de los isótopos de Sr en el agua de mar durante el Cretácico.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

## 8.2.2 Identificación del evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior (Aptiano)-OAE 1a

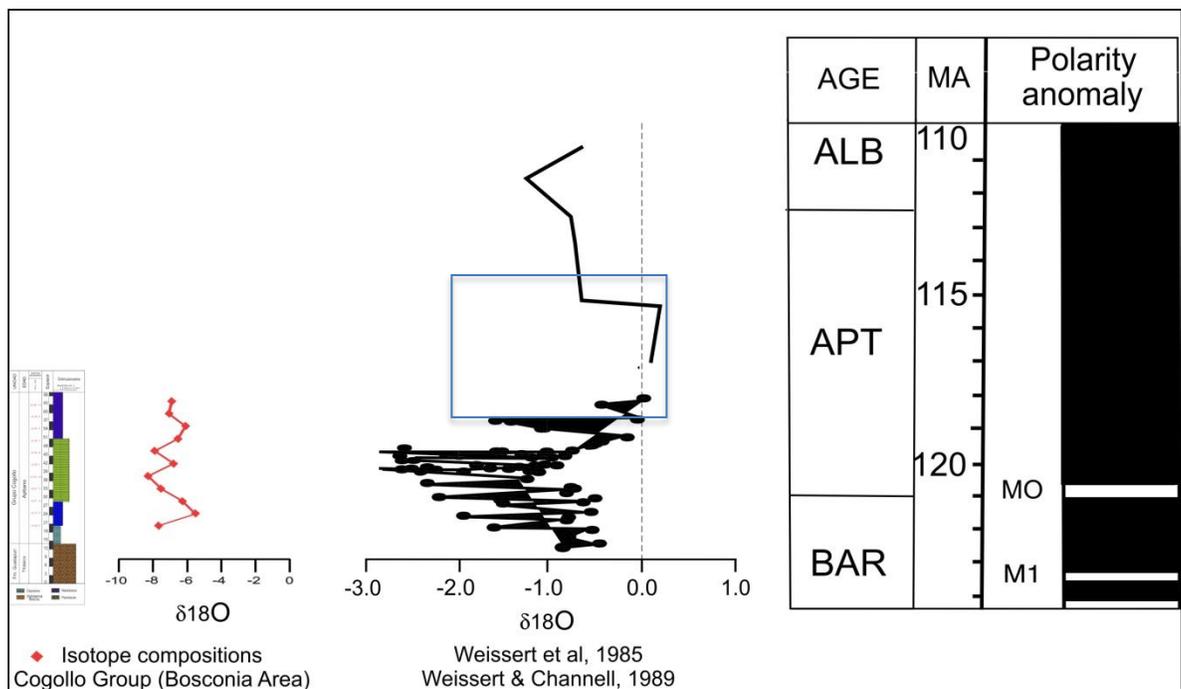
Los análisis obtenidos a partir de isótopos de oxígeno muestran un valor de -7,90‰ de la relación  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  hacia la base de la sucesión estratigráfica del Grupo Cogollo. Estos valores comparados con los datos globales que oscilan entre 0.2 a -3.0 de  $\delta^{18}\text{O}$  para el Aptiano, indican afectación diagenética en los valores isotópicos de  $^{18}\text{O}$  en las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo, debido a que no concuerdan con el rango teórico de la curva global de O del Cretácico Inferior. (Figura 26).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  en la parte baja de la sucesión estratigráfica son muy negativos, hasta -4‰ en comparación con los reflejados en sucesiones del Cretácico. Estos valores ocurren en una sucesión donde predominan claystone que fueron interpretados como una plataforma interna profunda semi-restringida. Debido a que estas zonas presentan poca actividad biológica, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  pueden representar bajo secuestro de isótopos de  $^{12}\text{C}$  por productividad biológica (Hoefs, 1980). La excursión positiva a valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de 4,5‰, pueden ser interpretados como resultantes de alta productividad y/o alto enterramiento de la materia orgánica en el substrato marino (secuestro de carbono orgánico).

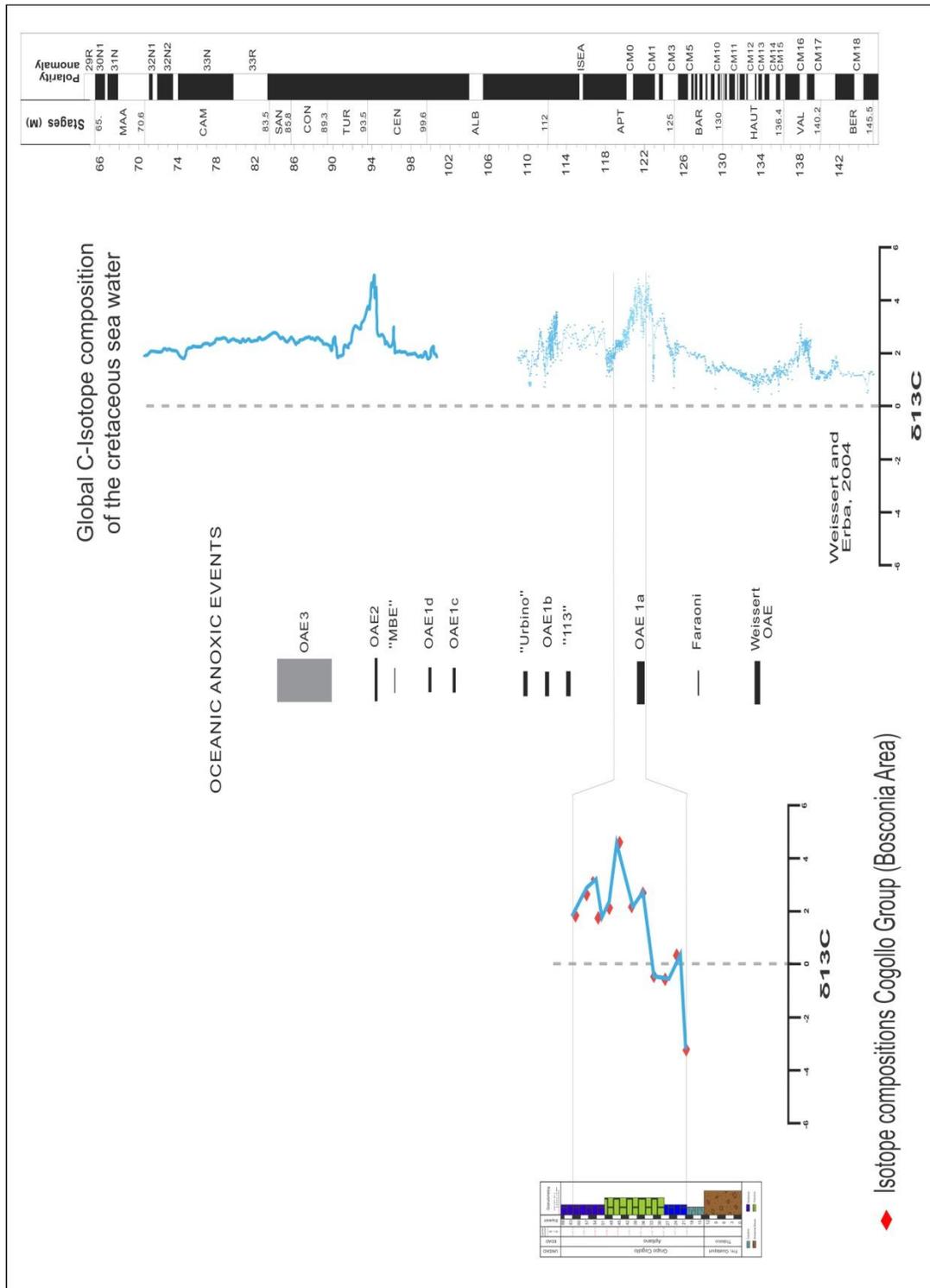
Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de los océanos Cretácicos muestran dos periodos con anomalías de ca 4.5‰, el OEA 1a y el OEA 2. Basados en la quimioestratigrafía de Sr se pueden diferenciar estos dos eventos y por tanto se sugiere que la anomalía de 4.53‰ de la sucesión de carbonatos estudiada representa el OAE 1a (Figura 27). Más aun, la cuenca Cesar Ranchería está compuesta por sucesiones carbonáticas de gran espesor, y se tienen diversos estudios que permiten la asociación de este sector al Cretácico Inferior (Aptiano), por lo que no se tendrían buenas bases para corroborar litoestratigráficamente los valores isotópicos de carbono obtenidos en los análisis quimioestratigráficos del Grupo Cogollo con los

valores globales del OAE 2, asociado al Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano) y registrado en la Formación La Luna, donde no se encuentra sucesiones carbonáticas, sino un predominio siliciclástico.

Cabe acotar que otros eventos anóxicos oceánicos registrados durante el Fanerozoico, como el 1b, 1c, Faraoni, Weissert, entre otros, presentan valores entre 0 y 2‰ (per mil) de C, esto permite descartar su relación con los datos isotópicos adquiridos en este trabajo (*Figura 27*).



**Figura 26.** Comportamiento de la curva global del Aptiano de isótopos de 18O vs datos isotópicos de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.



**Figura 27.** Comportamiento de la curva global de isótopos de  $^{13}C$  vs datos isotópicos de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo, correlacionables con el evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior- OAE 1a.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

### 8.3 Diagénesis

Las rocas carbonatadas están compuestas principalmente por minerales carbonatados como: calcita, aragonito y dolomita. La génesis principal de la calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) está asociada a precipitación (depositación química) de soluciones muy ricas en Ca ( $\text{HCO}_3$ )<sub>2</sub> (bicarbonato de calcio) y procesos biológicos que se forman por la actividad de los organismos marinos que forman sus conchas de carbonato de calcio a partir de biomineralización.

La génesis de la dolomita ( $\text{CaMgCO}_3$ ), se da principalmente a partir de rocas ya consolidadas por calcita y/o aragonito (origen secundario) que sufren una serie de transformaciones posteriores al enterramiento en un ambiente diagenético, en estas rocas ya consolidadas se produce una sustitución por intercambio iónico (Veizer, 1983), i.e. en una roca caliza se da el intercambio iónico del calcio por el magnesio. A pesar del origen secundario de la dolomita, antiguamente presentaba un origen primario, debido a la precipitación de dolomita en el agua de mar, favorecida por incrementos en Mg,  $\text{CO}_2$  y temperaturas en los océanos. La ausencia actual de estos depósitos se justifica por cambios en la sedimentación, relacionados posiblemente con la evolución de la atmósfera terrestre y la aparición en el Cretácico de organismos que solo segregan caparzones de aragonito (el cual no admite Mg), lo cual colabora al actual predominio de las calizas (Alonso, 2003).

En las secciones delgadas del Grupo Cogollo que fueron analizadas, se encontró una prevalencia del carbonato tipo calcita respecto al carbonato tipo dolomita, debido a la baja afectación diagenética en estas sucesiones carbonáticas. Los microcristales de dolomita se presentaron en forma subhedral, con una mínima afectación a la fábrica de la roca, debido a que se encuentran asociados a microfracturas y estilolitos presentes a la base de la columna estratigráfica

(sección 37-6), dando como posible fuente de los fluidos dolomitizantes las rocas volcanoclásticas infrayacentes ricas en Mg.

En la evolución de la formación de una roca sedimentaria, se evidencian las etapas de compactación y cementación, que se dan como producto de bajas presiones, baja temperatura e infiltración de aguas que contienen sustancias disueltas, este proceso es llamado diagénesis. De igual manera la diagénesis genera reacciones y otros fenómenos como: oxido-reducción, deshidratación, recristalización, cementación, litificación, mineralización y sustitución de minerales preexistentes.

En este caso, la diagénesis convirtió los lodos calcáreos en calizas y estas fueron afectadas por recristalización del material original de los fósiles, cementación (esparita–microesparita), porosidades secundarias (microfracturas–moldica–asociada a estilolitos) y superficies estilolíticas posiblemente asociadas al enterramiento. El proceso de dolomitización puede estar vinculado a la mesodiagénesis (asociada a enterramiento), donde la compactación de la roca volcanoclástica genera una reducción de porosidad en la misma y activa la circulación de agua meteórica en profundidad, que a su vez asciende por zonas de mayor debilidad (microfracturas), precipitando y remplazando el cemento original (microesparita) por dolomita (Einsele, 2000) (*Tabla 5*).

| ESTADO<br>FASES<br>DIAGENETICAS   | DEPOSITACION | EODIAGENESIS<br>Incluye exposicion<br>Subaerea temprana | MESODIAGENESIS<br>Por enterramiento | TELODIAGENESIS<br>Procesos de<br>Exhumacion |
|---|--------------|---|-------------------------------------|---|
| Esparita reemplazando<br>Mineralogía original<br>de aloquímicos             |              |   |                                     |   |
| Esparita reemplazando<br>Mineralogía original<br>del material intersticial  |              |   |                                     |   |
| Estilolitización  |              |   |                                     |   |
| Dolomitización  |              |   | 37-6<br>                            |   |
| Esparita relleno de<br>Fracturas  |              |   |                                     |   |
| Porosidad por<br>fracturamiento<br>y dolomitización                         |              |   |                                     |   |
| Porosidad secundaria<br>por disolución de granos o<br>material intersticial |              |   |                                     |   |

Diagénesis observada en el techo de la columna estratigráfica del Grupo Cogollo, secciones AJ 39-21 - AJ 39-5  
 Diagénesis observada en la parte media de la columna estratigráfica del Grupo Cogollo, sección AJ 39-11  
 Diagénesis observada en la base de la columna estratigráfica del Grupo Cogollo, secciones AJ 39-9 - AJ 37-6

**Tabla 5.** Interpretación diagenética, de las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo en la cuenca Cesar-Ranchería.

## 9 CONCLUSIONES

A partir de los análisis petrográficos, se estableció una variación lateral de facies en las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo que va desde la depositación de claystone, wackestone y packstone hasta la sedimentación de packstone y wackestone nuevamente hacia la parte superior de la columna estratigráfica.

La presencia de fósiles marinos como moluscos, artrópodos, foraminíferos, equinodermos, algas, entre otros, permiten la asociación de las rocas carbonáticas presentes en este sector de zonas moderadas a poco profundas. La fuerte influencia del oleaje ocasiona fuerte retrabajamiento de los fósiles marinos encontrados.

La secuencia estudiada se depositó en un ambiente marino de plataforma abierta (interior a somera), bajo el nivel de oleaje; inicialmente se considera una zona de backreef asociada a zonas poco profundas, acompañado de un incremento progresivo en el nivel del mar, seguido de un descenso paulatino en el nivel del mar, marcado por el aumento en la granulometría de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo y de nuevo un aumento del nivel del mar y profundización de la plataforma abierta. Además se determina una rápida subsidencia en este sector, que permite una mayor acomodación de los carbonatos. Las características depositacionales del Grupo Cogollo en el área de estudio sugieren que la sucesión estudiada corresponde a la Formación Lagunitas.

Análisis quimioestratigráficos de isótopos de Estroncio (Sr), con valores entre 0.70757–0.70755 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), obtenidos en este proyecto, sugieren una edad Aptiana (Cretácico Inferior) del Grupo Cogollo, en la Cuenca Cesar-Ranchería.

La anomalía negativa obtenida en los datos isotópicos de O, complementada con el análisis diagenético de los carbonatos, corroboran una baja afectación diagenética en las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

El evento anóxico oceánico del Aptiano 1a (OAE 1a) se determina a partir de la presencia de anomalías positivas que van hasta  $\pm 4\text{‰}$  (per mil) de C, asociadas a carbonatos, la quimioestratigrafía de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  identifica y corrobora la presencia de este evento anóxico oceánico en las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo. Se considera además que los valores bajos de  $^{13}\text{C}$ , antes del OAE1A, se deben al asilamiento de la cuenca en este sector con bajos niveles de oxigenación. Durante el OAE1A una alta productividad es propuesta, reflejada en una importante excursión positiva de  $4.53\text{‰}$  (per mil). La alta productividad durante el OAE1A favorecería la presencia de nichos biológicos en aguas someras, contrario a la baja biodiversidad de los fondos marinos.

La presencia del OAE 1a en las rocas carbonáticas someras del Grupo Cogollo, sugieren por tanto que este evento se puede presentar en las zonas más profundas de la cuenca sedimentaria, donde importante acumulación de materia orgánica pudo ocurrir, la presencia del OAE 1a en las rocas del Grupo Cogollo aumenta el potencial de esta unidad como roca generadora de aceites y gases, en la cuenca Cesar Ranchería.

La presencia de rocas carbonáticas de grano grueso tipo packstone depositadas en zonas de plataforma somera durante el OAE 1a, unido a la presencia de porosidad de hasta 5% y la baja afectación por diagénesis de la misma, sugiere no solo un alto potencial de generación sino, también de acumulación de aceites y gases para el Grupo Cogollo.

## 10 RECOMENDACIONES

Hacer levantamiento de columnas estratigráficas en otros sectores del Grupo Cogollo en la cuenca Cesar-Ranchería, para complementar estudios litoestratigráficos, bioestratigráficos y correlacionarlos con las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo en la cuenca de la Baja Guajira y la cuenca de Maracaibo (Venezuela).

Profundizar acerca de la ocurrencia de eventos anóxicos oceánicos en las cuencas Cretácicas de Colombia, con el fin de determinar potenciales sucesiones carbonáticas para la generación de hidrocarburos y gases.

Realizar dataciones de U-Pb en carbonatos y circones para mejorar el tiempo de apertura de las cuencas Cretácicas en Colombia y así mejorar la paleogeografía del norte de Suramérica durante el Cretácico.

Desarrollar análisis microfaciales, con el objetivo de entender la estratigrafía secuencial (system tracts) de las rocas carbonáticas del Grupo Cogollo en la cuenca Cesar-Ranchería.

Realizar análisis multielementales para corroborar el grado de diagénesis en las sucesiones carbonáticas del Grupo Cogollo.

## 11 REFERENCIAS

ALONSO, F. J. (2003): "*Petrología sedimentaria, rocas carbonatadas: dolomías*"- Universidad de Oviedo, Asturias, España, p. 1-3.

ARIAS, A. Y MORALES, C. J. (1999): "*Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar*"-Escala 1:250.000, Ingeominas, Bogotá.

ARIAS, A. Y MORALES, C. J. (2003): "*Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar*", *Memoria explicativa*-Escala 1:250.000, Ingeominas, Bogotá, p. 27-29, 31-33.

ARENAS MOSQUERA, J.E. (2004): "*Litología y petrología de las metamorfitas carbonatadas y metasedimentitas asociadas de la Formación Silgarà, faja noroeste de Mutiscua (Macizode Santander), Norte de Santander*"-Universidad Nacional, Bogotá, p. 1-156.

ARNETT, D. (1996): "*Supernovae and Nucleosynthes*"- Princeton University, Princeton, New Jersey.

AVILA RINCON, J. C. Y GIRALDO CORREA, G. A. (2012): "*Procedencia y geocronología de los conglomerados de Tatamá (cordillera occidental Colombiana)*"-Universidad de Caldas, Manizales, p. 9-42.

AYALA CALVO, R. C. (2009): "*Análisis tectono-estratigráfico y de procedencia en la subcuenca de Cesar: relación con los sistemas petroleros*"-Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, p. 11-13, 15, 19-20, 27-29.

BARBOSA, A. A. Y LOPEZ, A. P. (2009): "*Análisis facial de las secuencias del Cretácico Superior correspondientes a las Formaciones San Rafael, Conejo y Plaeners aflorantes en sectores aledaños a Villa de Leyva (departamento de Boyacá, Colombia)*"-Universidad de Caldas, Manizales, p. 88-89.

BERGER, W. H. & VINCENT, E. (1981): "*Chemostratigraphy and biostratigraphic correlation*"-Oceanol Acta.

*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

BOGGS, S. (2009): "*Petrology of sedimentary rocks*"- University of Oregon, p.281-283, 314-316, 382-390.

BRALOWER, T. J., PREMOLI, I. & MALONE, M. J. (2002): "*New evidence for abrupt climate change in the Cretaceous and Paleogene: An ocean drilling program expedition to Shatsky Rise, northwest Pacific*"-Geological Society of America, p. 1421-1422, 1425-1426, 1428-1432, 1434-1435, 1437.

BRALOWER, T. J., DWYER, G. S FULLAGAR, P. D., LECKIE, R. M.&PAULL, C. K., (1997): "*Mid-Cretaceous strontium-isotope stratigraphy of deep-sea sections*"- Geological Society of America, p.4-6, 10.

CASTRO, J.M., DE GEA, G.A. Y QUIJANO, M.L. (2006): "*Registro del evento anóxico oceánico OAE 1A (Aptiense Inferior) en un contexto de plataforma. Prebético (Provincia de Alicante)*"-Geogaceta, v 40, p.1-4.

CHICANGANA, G., KAMMER, A., VARGAS-JIMENEZ, C. A., ORDOÑEZ ARISTIZABAL, C. I., MORA-PAEZ, H., FERRARI, A. L. & LOPEZ, S. A. (2011): "*El posible origen de la sismicidad somera que se presenta en la región que corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta, la serranía de Perijá y la Península de La Guajira, noreste de Colombia*"-Revista científica de la escuela de ingenierías y arquitectura de la Corporación Universitaria del Meta (Cap&Cua), p. 3, 8-12.

EINSELE, G. (2000): "*Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget*"- University of Tuebingen, Germany, p. 672-673, 678, 680-681.

FÖLLMI, K. B. (2011): "*Early Cretaceous life, climate and anoxia*"-SciVerse Science Direct, p. 2-4, 15-17, 21.

GARCIA, M., CRUZ, L. E., MIER, R., VASQUEZ, M., JIMENEZ, M. & MORENO, M. (2008): "*Evolución térmica de la subcuena de la baja Guajira*"- Grupo de

investigaciones en geología de hidrocarburos y carbones, Universidad Industrial de Santander-ANH, p. 9, 12-13, 43-44, 46-47, 61-62, 67.

GEOESTUDIOS LTDA. (2006): "*Cartografía geológica cuenca Cesar-Ranchería*"- Contrato No. 084 de 2005, Informe final, ANH, p. 9-11, 28-34.

GONZALEZ, J., HERNANDEZ, M. Y MARTINEZ, H. (2002): "*Geología de las planchas 40 Bosconia y 47 Chiriguaná*", Memoria explicativa-Escala 1:100.000, Ingeominas, Bogotá, p. 18, 20, 26-27, 29-36, 39-40, 91, 92.

GORNITZ, V. (2009): "*Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*"-Goddard institute for space studies and Columbia University, New York, USA, P. 107-118, 666-673, 923-926.

HERNÁNDEZ, O. Y JARAMILLO, J. M. (2009): "*Reconstrucción de la historia termal en los sectores de Luruaco y Cerro Cansona-cuenca del Sinú-San Jacinto y en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá entre Codazzi y La Jagua de Ibirico-cuenca de Cesar-Ranchería*"-Universidad Nacional y ANH, Bogotá, p.10-17, 20-21, 24.

HINCAPIE, G. Y MORENO, M. (2010): "*Estudio de isótopos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y estroncio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) en los depósitos Cretáceos-Terciarios de la cordillera oriental*"-Universidad de Caldas, p. 63-66.

HOEFS, J. (1980): "*Stable isotope geochemistry*"-Second edition. Springer-Verlag, Heidelberg and New York, p. 48-53, 58-66.

HU, X., WAGREICH, M. & YILMAZ, I. O. (2012): "*Marine rapid environmental/climatic change in the Cretaceous greenhouse world*"- SciVerse Science Direct, p. 1-5.

JONES, C. E. & JENKYN, H. C. (2001): “*Seawater strontium isotopes, oceanic anoxic events and seafloor hydrothermal activity in the Jurassic and Cretaceous*”– American Journal of Science, v 301, p. 112-117, 135, 142.

LONDOÑO, A. C. Y RODRÍGUEZ, G. (2002): “*Mapa geológico del departamento de La Guajira., geología, recursos minerales y amenazas potenciales*”–Escala 1:250.000. Ingeominas, Medellín, p. 140 -145, 213-216, 221-222.

MCARTHUR, J. M., HOWARTH, R. J. & BAILEY, T. R. (2001):”*Strontium isotope stratigraphy LOWESS version 3: best fit to the marine Sr-isotope curve for 0-509 Ma and accompanying look up table for deriving numerical age*”–Geological Sciences, University College London, United Kingdom, p. 155-156, 159-160, 164-166.

SALTZMAN, M. R. Y THOMAS, E. (2012): “*The geologic time scale*”–Carbon isotope stratigraphy, chapter 11, p. 207-209, 216, 218, 222-223.

SCHOLLE, P. A. Y ULMER-SCHOLLE, D. S. (2003): “*A colour guide to the petrography of carbonates rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis*”–The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A, p. 1-28, 33-48, 123-138, 153-169, 177-188, 198-201, 259-383.

SILVA, J. C., SIAL, A. N., FERREIRA, V. P. Y. PIMENTEL, M. M. (2005): “*C and Sr isotope stratigraphy of the São Caetano Complex, northeastern Brazil: A contribution to the study of the Meso- Neoproterozoic seawater geochemistry*”– Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, Brasil, p. 140, 142-149.

SILVA-TAMAYO, J. C. ET AL., (2012): “*C- isotope age constains of Aptian marine extensión in northern Colombia: preliminary data from the Sierra Nevada de Santa Marta*”.

UJUETA - LOZANO, G. (2007): “*Block tectonics, delimited by lineaments with NW-SE and NNE-SSW to NE-SW directions in the north and northeast of Colombia and in the northwest of Venezuela*”–Geología Colombiana, Universidad Nacional de Colombia, v 32, p. 3, 9-10.

VARGAS JIMÉNEZ, C. A. (2009): “*Nuevos aportes a la estimación del potencial de hidrocarburos en Colombia*”–Universidad Nacional, Bogotá, p. 30.

VEIZER, J. (1983): “*Trace elements and isotopes in sedimentary rocks, in Reeder, R. J. (ed.) carbonates: mineralogy and chemistry*”- Mineralogical society of America reviews in mineralogy 11, p. 265, 299.

VEIZER, J. & HOEFS, J. (1976): “*The nature of  $^{18}O/^{16}O$  and  $^{13}C/^{12}C$  secular trends in sedimentary carbonate rocks*”–Geochimica et Cosmochimica Acta, v 40, p. 1387-1395.

VEIZER, J., ALA, D., AZMY, K., BRUCKSCHEN, P., BUHL, D., BRUHN, F., CARDEN G. A. F., DIENER, A., EBNETH, S., GODDERIS, Y., JASPER, T., KORTE, C., PAWELLEK, F., PODLAHA, O. G. & STRAUSS, H. (1999): “ *$^{87}Sr/^{86}Sr$ ,  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{18}O$  evolution of Phanerozoic seawater*”-Chemical Geology, p. 8, 13, 16.

WADLEIGH, M.A. (1982): “*Marine Geochemical Cycle of Strontium*”- University of Ottawa, ON, p. 187.

WEISSERT, H. & ERBA, E. (2004): “*Volcanism,  $CO_2$  and paleoclimate: a Late Jurassic-Early Cretaceous carbon and oxygen isotope record*”–Journal of the Geological Society, London, v 161, p. 1, 3-6.



**QUIMIOESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA DE  
SUCESIONES CARBONÁTICAS CON POTENCIAL DE GENERACIÓN Y  
ACUMULACIÓN DE ACEITES Y GASES EN LA CUENCA CESAR-RANCHERÍA,  
NE COLOMBIANO (GRUPO COGOLLO).**

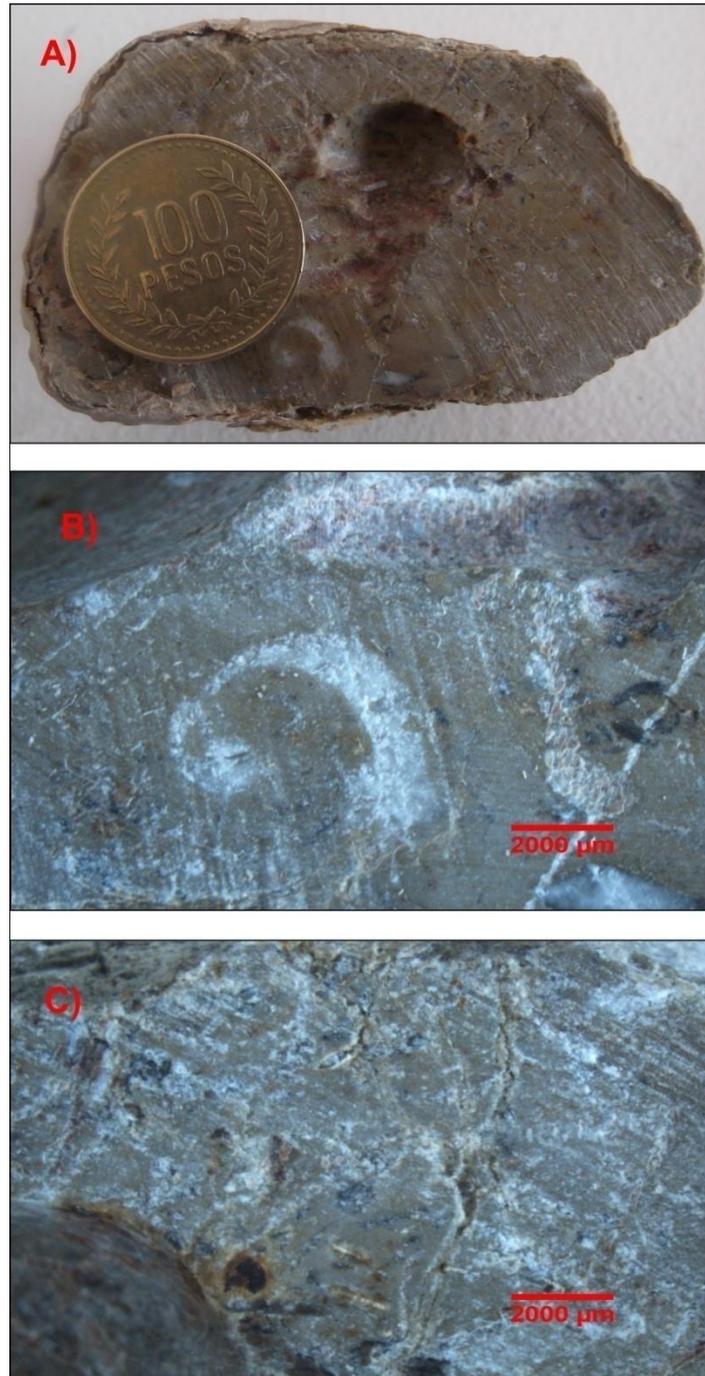
**ANEXOS**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
PROGRAMA DE GEOLOGÍA  
Manizales, 2013**

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y  
acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

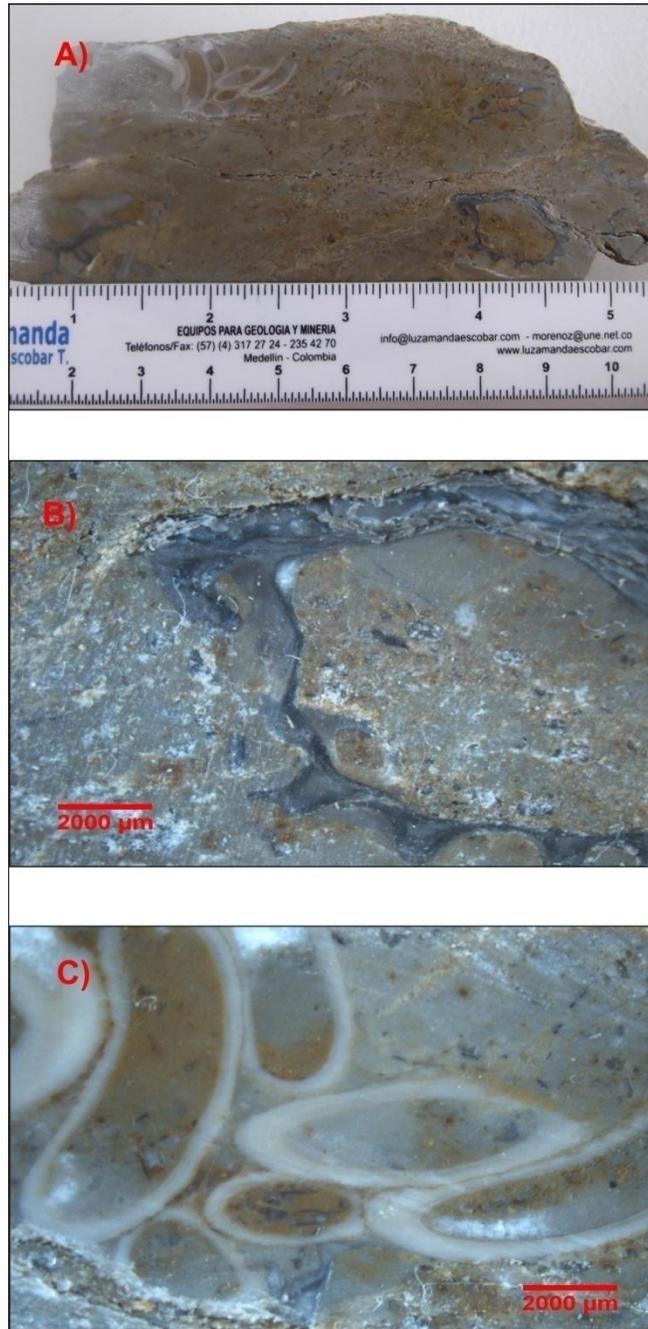
## Anexo 1

### MUESTRAS DE MANO



**Anexo 1.1.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-9 del Grupo Cogollo: wackestone. Parte inferior de la columna estratigráfica.

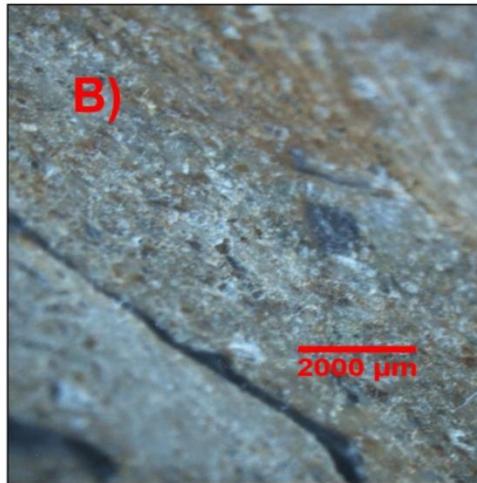
*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*



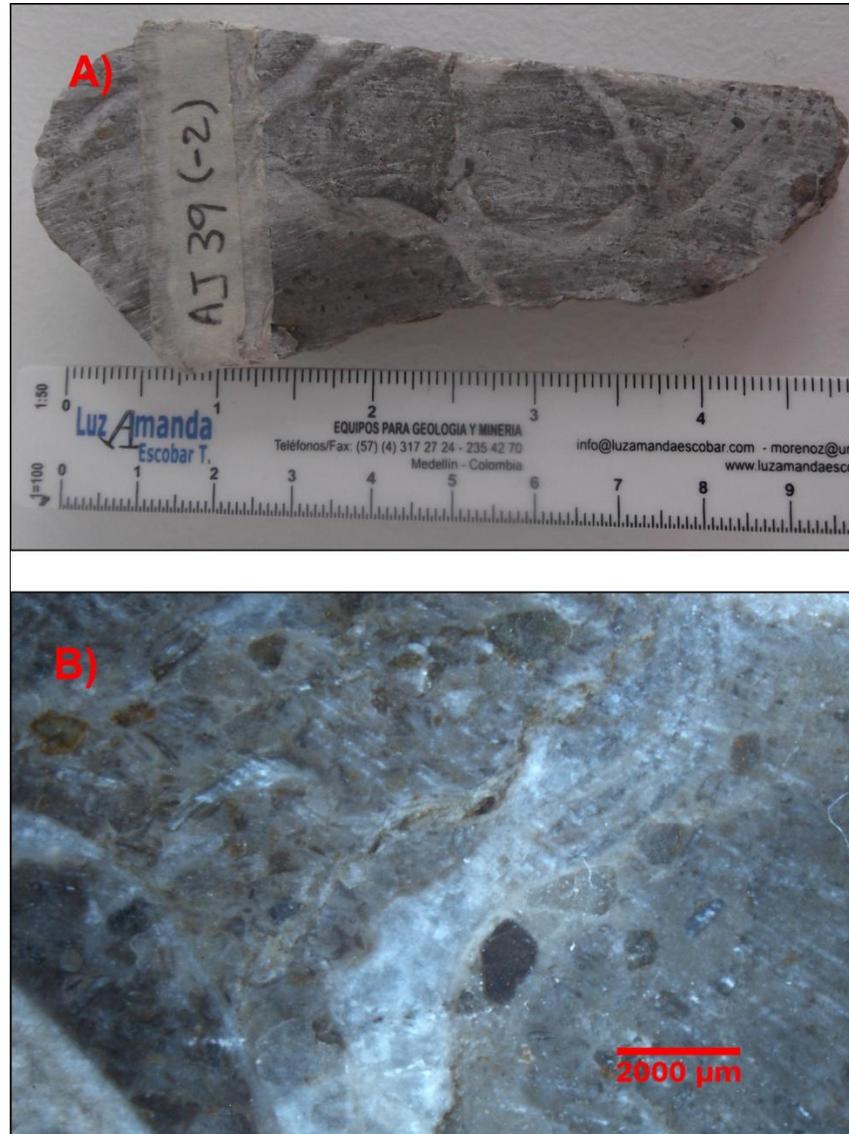
**Anexo 1.2.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 37-6 del Grupo Cogollo: wackestone. B) bivalvo (ostrea), C) serpulidos. Parte inferior de la columna estratigráfica.



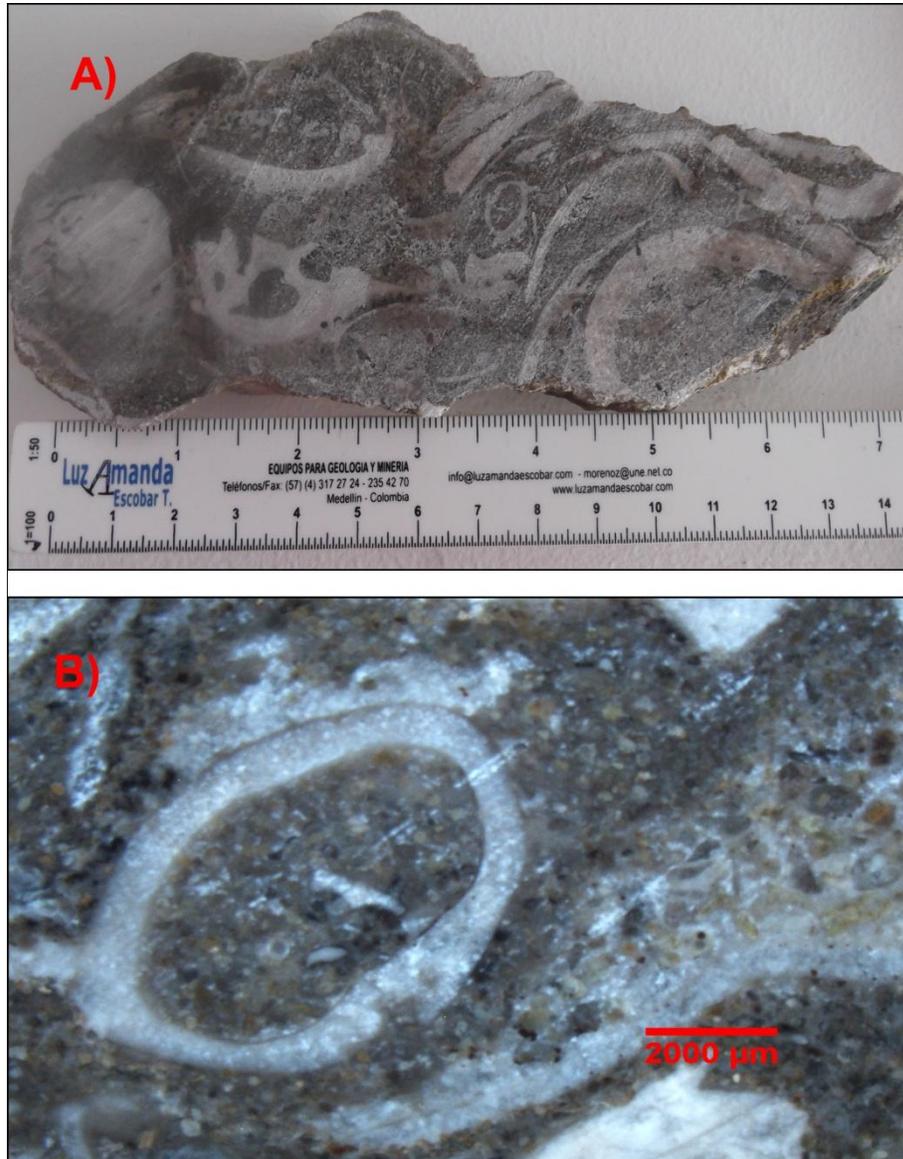
**Anexo 1.3.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 37-10 del Grupo Cogollo: packstone Parte inferior de la columna estratigráfica.



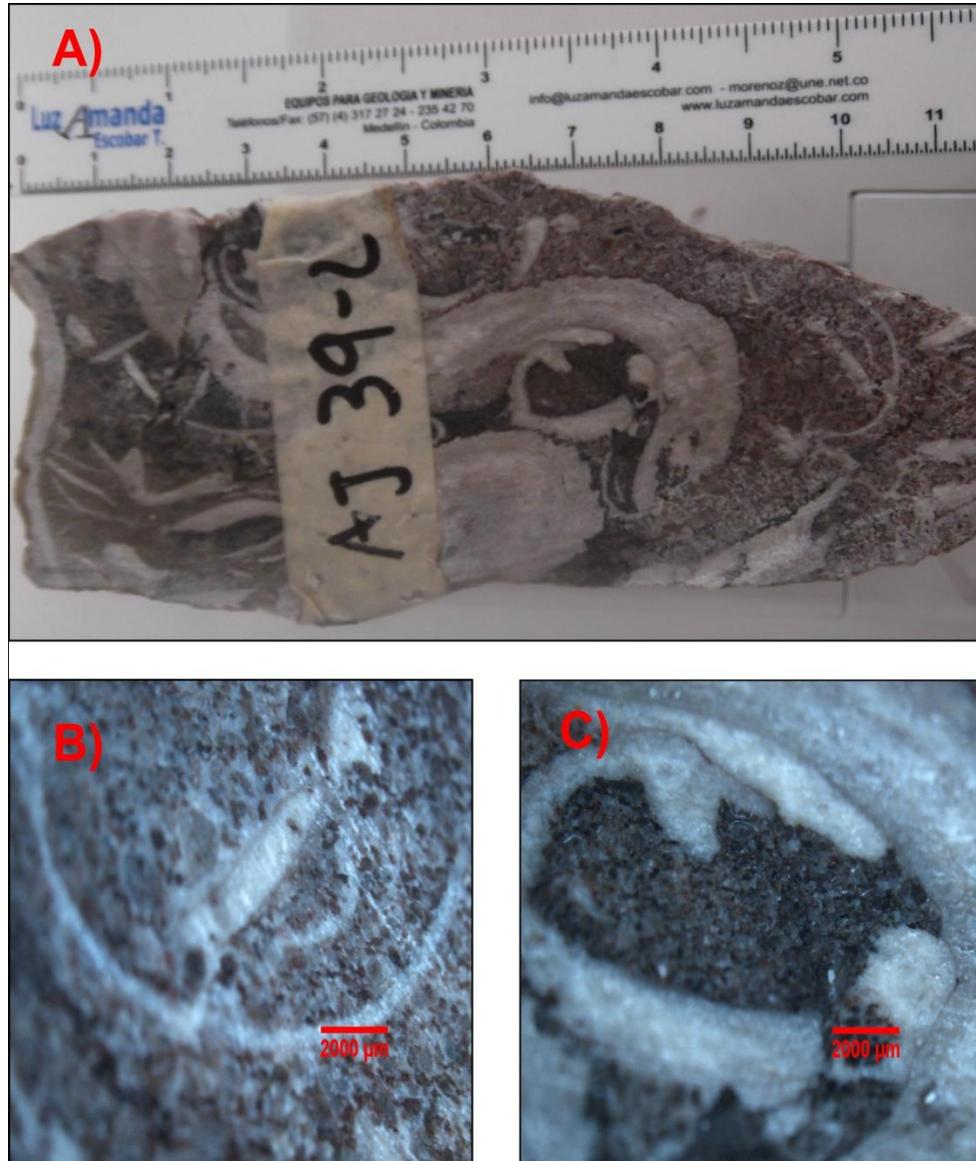
**Anexo 1.4.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 37-11 del Grupo Cogollo: packstone Parte inferior de la columna estratigráfica.



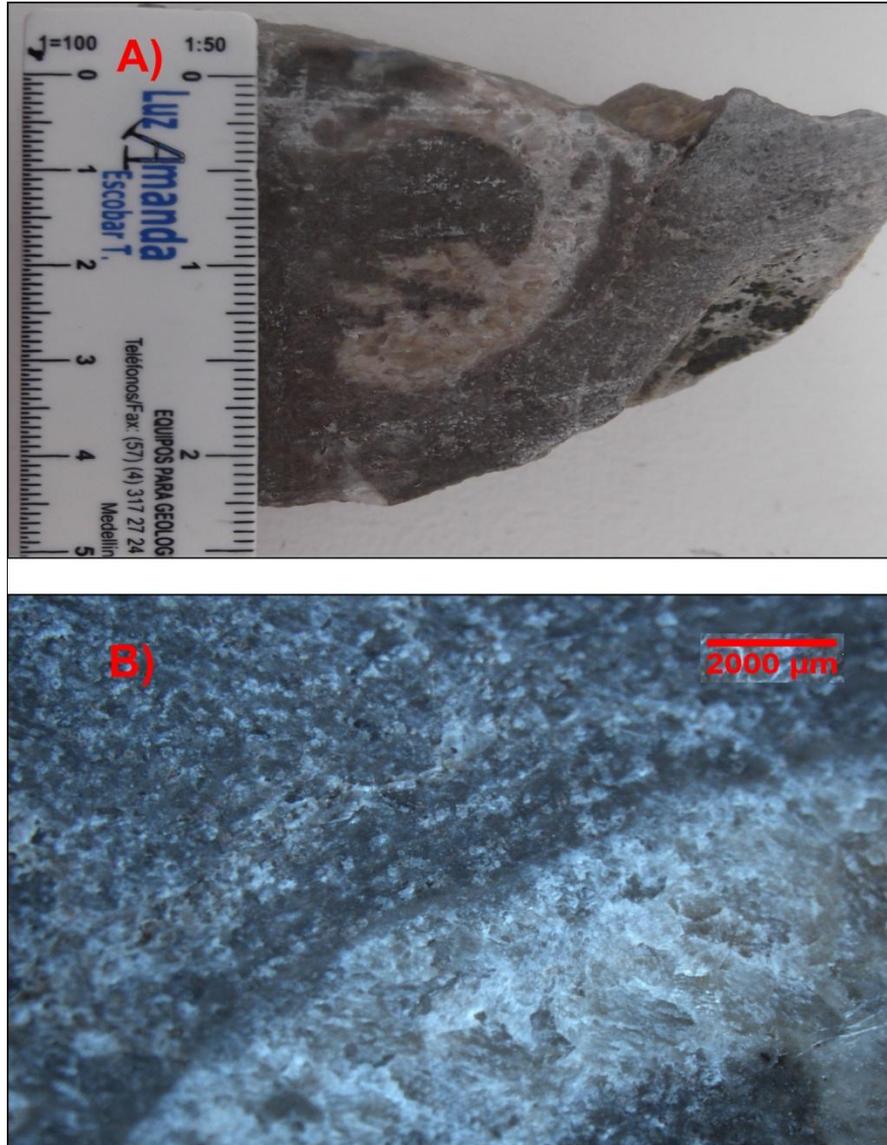
**Anexo 1.5.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-(-2) del Grupo Cogollo: packstone Parte media de la columna estratigráfica.



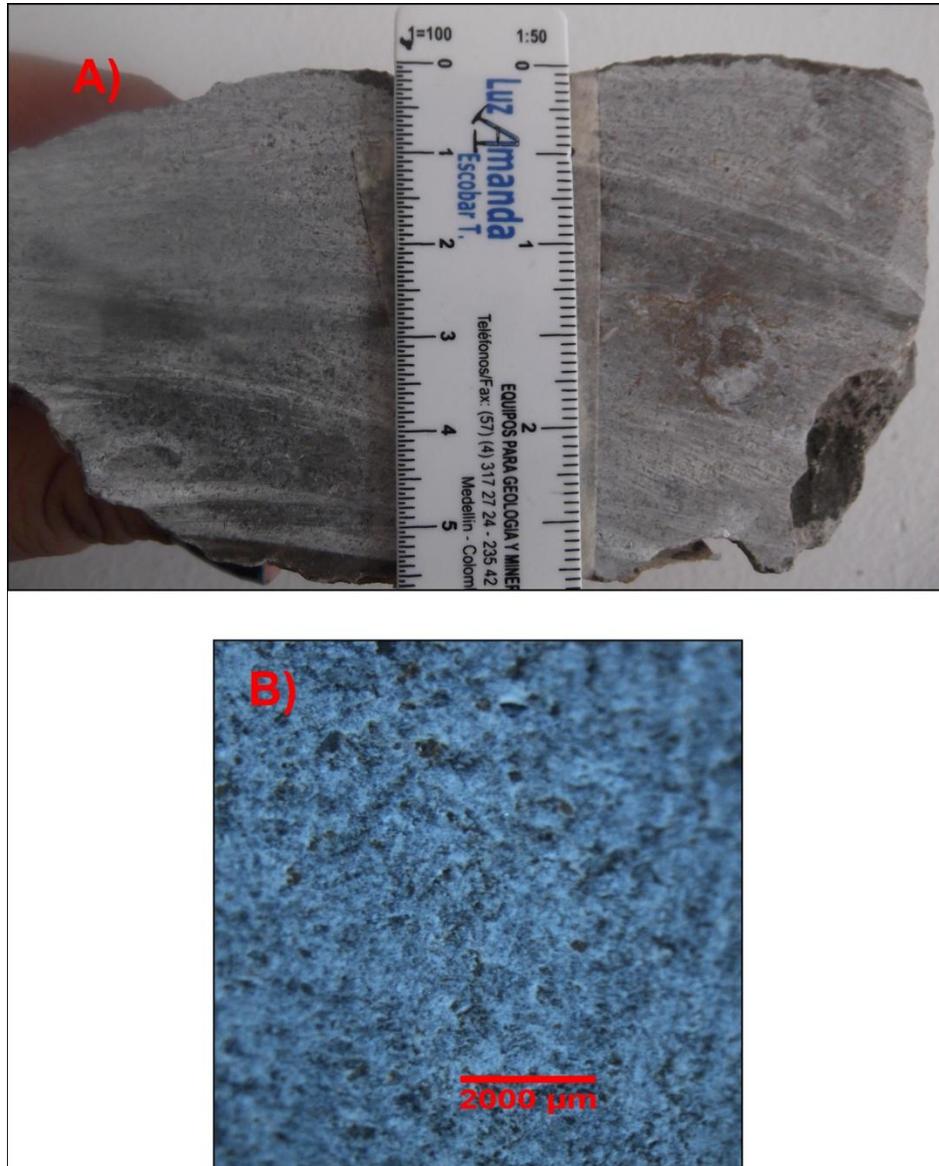
**Anexo 1.6.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-1 del Grupo Cogollo: packstone Parte media de la columna estratigráfica.



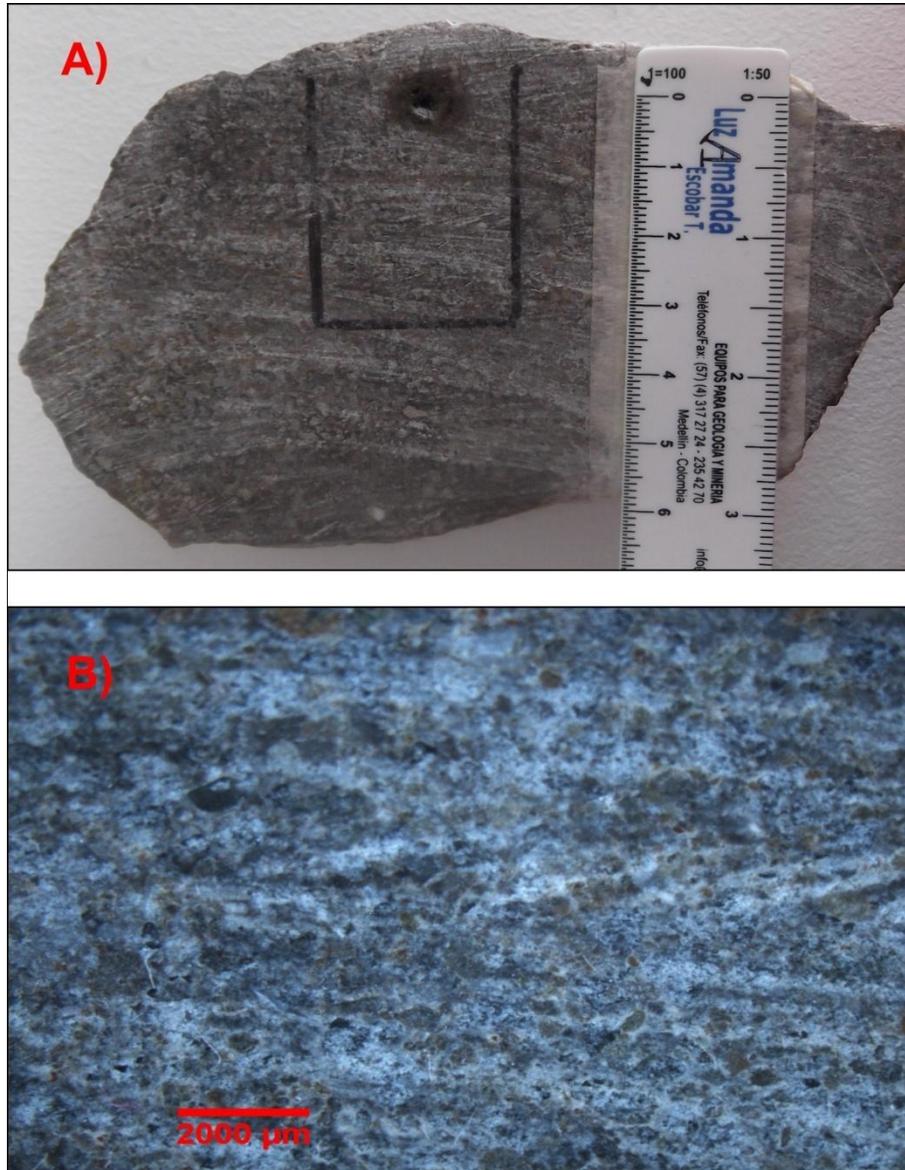
**Anexo 1.7.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-2 del Grupo Cogollo: packstone Parte media de la columna estratigráfica.



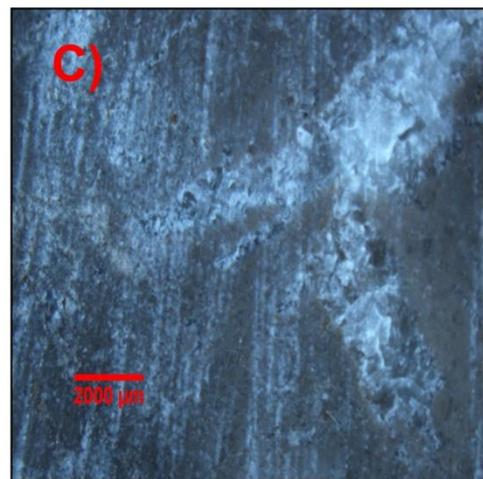
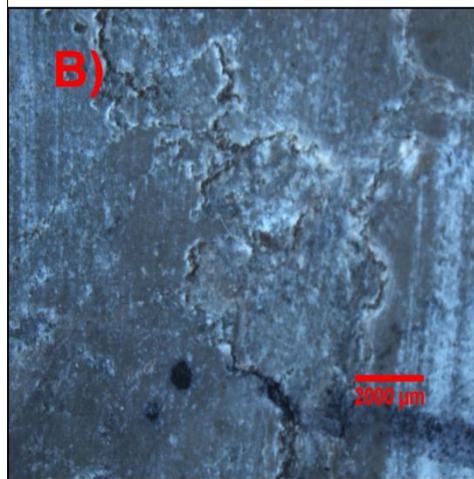
**Anexo 1.8.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-3 del Grupo Cogollo: packstone Parte media de la columna estratigráfica.



**Anexo 1.9.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-5 del Grupo Cogollo: wackestone Parte superior de la columna estratigráfica.



**Anexo 1.10.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-6 del Grupo Cogollo: wackestone Parte superior de la columna estratigráfica.



**Anexo 1.11.** Fotografías tomadas de la muestra de mano # 39-7II del Grupo Cogollo: wackestone Parte superior de la columna estratigráfica.

## Anexo 2

### PETROGRAFÍA

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

**Anexo 2.1. Análisis petrográfico de la sección: 37-6, Bosconia- Grupo Cogollo.**

|                              |                |                                      |                         |   |                 |
|------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| <b>ANALISIS PETROGRAFICO</b> |                | <b>Siliciclásticas:</b>              | <b>Carbonatos:</b><br>X | <b>Volcanoclástica</b><br>s:                | <b>Mixtas:</b>  |
| <b>UNIDAD</b>                | <b>MUESTRA</b> | <b>POZO</b><br><b>Profundidad(m)</b> |                         | <b>Columna(metro</b><br><b>arriba base)</b> | <b>EDAD</b>     |
| Grupo<br>Cogollo             | 37-6           |                                      |                         |   | Aptiano         |
| <b>LOCALIZACIÓN</b>          |                |                                      |                         | <b>LATITUD</b>                              | <b>LONGITUD</b> |
| Bosconia – Cesar             |                |                                      |                         |   |                 |

**1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

| <b>LITOFACIES</b>             | <b>COLOR</b> | <b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS</b> |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
|                               |              |                                  |
| <b>OTRAS CARACTERISTICAS:</b> |              |                                  |

**2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**CONTEO 1: CARACTERIZACION TEXTURAL (100 PUNTOS)**

|  |    |    |     |   |
|--|----|----|-----|---|
| <b>Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos</b> |    |    |     | 13  |
| <b>Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)</b>  |    |    |     |   |
| Microesparita  | 63 |    | 63% | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita   | 6  |    | 6%  | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros  | 13 |    | 13% | Sílice y Dolomita   |
| <b>Porosidad<sup>5</sup></b>   |    | 5% |     |   |
| <b>Total</b>   |    |    |     | 100   |

**CONTEO 2: CARACTERIZACION DEL ARMAZON (250 PUNTOS)**

| <b>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</b> |               |          |               |                      |
|--|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <b>ALOQUIMICOS NO FOSILIFEROS</b>  | <b>Puntos</b> | <b>%</b> | <b>Tamaño</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                                |            |            |  |  |
|--------------------------------|------------|------------|--|--|
| Ooides                         |            |            |  |  |
| Peloides                       |            |            |  |  |
| Pellets                        |            |            |  |  |
| Intraclastos                   |            |            |  |  |
| <b>ALOQUIMICOS FOSILIFEROS</b> |            |            |  |  |
| Algas                          | 2          | 0.7        |  |  |
| Foraminíferos                  | 11         | 3.8        |  |  |
| Equinodermos                   | 57         | 19.7       |  | En general con estructura original, Espículas.             |
| Moluscos                       | 106        | 36.6       |  | Algunos reemplazados por esparita                          |
| Braquiópodo                    |            |            |  |  |
| Briozoo                        | 2          | 0.7        |  | Conservan su estructura original                           |
| Fósiles sin identificar        | 6          | 2.1        |  | Algunos posiblemente esponjas (en general fósiles porosos) |
| Ostrácodos                     | 5          | 1.7        |  |  |
| Fosfatos                       | 2          | 0.7        |  |  |
| <b>TERRIGENOS</b>              |            |            |  |  |
| Cuarzo                         | 60         | 20.7       |  | Calcedonia-chert(?)  |
| Otros                          | 19         | 6.6        |  | Circones (pequeños)  |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |            |            |  |  |
| Glauconita                     |            |            |  |  |
| Material Ferruginoso           | 20         | 6.9        |  | Óxidos de hierro   |
| <b>Total</b>                   | <b>290</b> | <b>100</b> |  |  |

CONTEO 3: CARACTERIZACION de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|   | Puntos     | %          |
|---|------------|------------|
| <b>Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados).</b> | 21         | 21         |
| <b>Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita)</b>       | 19         | 19         |
| <b>Material intersticial primario (matriz-cemento)</b>  | 60         | 60         |
| <b>Total</b>  | <b>100</b> | <b>100</b> |

**3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)**

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| <b>Nombre según conteos 2 y 3:</b> | <b>Wackestone</b> |
|------------------------------------|-------------------|

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

#### **4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA**

Cemento constituida por microesparita. En algunas partes se observa cemento de mayor tamaño (esparita) tipo Equant.

Fracturas rellenas por microesparita y esparita.

Microesparita reemplazada por dolomita cerca a las fracturas.

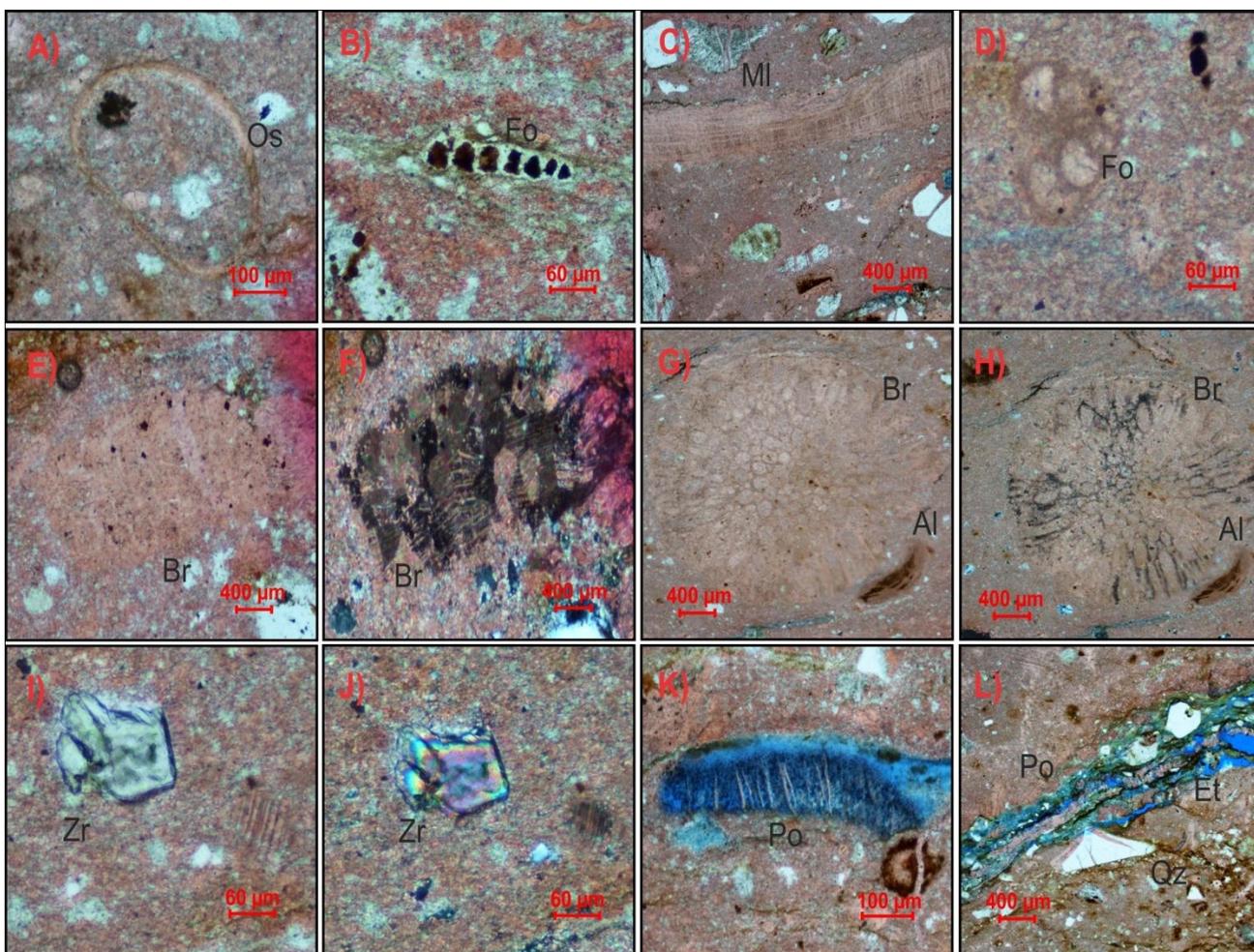
Presenta material intersticial siliciclastico.

Contacto entre algunos Moluscos-Cuarzo y Moluscos-Equinodermos de tipo Suturado; aunque en general los granos se encuentran en contacto “flotante” con respecto al cemento (microesparita).

En general los cuarzos se encuentran dispersos en toda la placa, y son de menor tamaño, con formas angulosas; sin embargo los de mayor tamaño se observan redondeados. Además se presentan fracturados.

#### **5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD**

Porosidad asociada a estilolitos, intercrystalina presente en algunos cuarzos, porosidad moldica e intrapartícula en moluscos, interpartícula; rodeando algunos cuarzos y porosidad asociada a fracturas.



**Anexo 2.1.1.** Fotografías tomadas de la sección 37-6. A) Ostrácodo con su estructura original, B) y D) foraminíferos, C) molusco con estructura original, E) equinodermo-PPL, F) equinodermo-XPL, G) briozoo-PPL, H) briozoo-XPL, I) circón-PPL, J) circón-XPL, K) porosidad moldica, L) porosidad asociada a microfracturas.

**Anexo 2.2. Análisis petrográfico de la sección: 37-11, Bosconia-Grupo Cogollo.**

|                              |                |                                      |                         |   |                 |
|------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| <b>ANÁLISIS PETROGRÁFICO</b> |                | <b>Siliciclásticas:</b>              | <b>Carbonatos:</b><br>X | <b>Volcanoclástica</b><br>s:                | <b>Mixtas:</b>  |
| <b>UNIDAD</b>                | <b>MUESTRA</b> | <b>POZO</b><br><b>Profundidad(m)</b> |                         | <b>Columna(metro</b><br><b>arriba base)</b> | <b>EDAD</b>     |
| Grupo<br>Cogollo             | 37-11          |                                      |                         |   | Aptiano         |
| <b>LOCALIZACIÓN</b>          |                |                                      |                         | <b>LATITUD</b>                              | <b>LONGITUD</b> |
| Bosconia – Cesar             |                |                                      |                         |   |                 |

**1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

| <b>LITOFACIES</b>             | <b>COLOR</b> | <b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS</b> |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
|                               |              |                                  |
| <b>OTRAS CARACTERÍSTICAS:</b> |              |                                  |

**2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**CONTEO 1: CARACTERIZACIÓN TEXTURAL (100 PUNTOS)**

|  |    |  |     |   |
|--|----|--|-----|---|
| <b>Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos</b> |    |  |     | 12  |
| <b>Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)</b>  |    |  |     |   |
| Micrita  | 39 |  | 39% | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita   | 16 |  | 16% | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros  | 33 |  | 33% | Cuarzo-Calcedonia   |
| <b>Porosidad</b>   |    |  |     |   |
|  |    |  |     | <b>Total</b> 100  |

**CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZÓN (250 PUNTOS)**

| <b>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</b> |               |          |               |                      |
|--|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <b>ALOQUIMICOS NO FOSILIFEROS</b>  | <b>Puntos</b> | <b>%</b> | <b>Tamaño</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                                |            |            |  |                              |
|--------------------------------|------------|------------|--|------------------------------|
| Ooides                         |            |            |  |                              |
| Peloides                       |            |            |  |                              |
| Pellets                        |            |            |  |                              |
| Intraclastos                   |            |            |  |                              |
| <b>ALOQUIMICOS FOSILIFEROS</b> |            |            |  |                              |
| Algas                          | 3          | 1.0        |  |                              |
| Foraminíferos                  | 10         | 3.4        |  |                              |
| Equinodermos                   | 20         | 6.9        |  | Esparitizados                |
| Moluscos                       | 72         | 24.8       |  |                              |
| Braquiópodo                    |            |            |  |                              |
| Briozoo                        |            |            |  |                              |
| Fósiles sin identificar        | 2          | 0.7        |  | Posiblemente fósiles porosos |
| Artrópodos                     |            |            |  |                              |
| Fosfatos                       | 2          | 0.7        |  |                              |
| <b>TERRIGENOS</b>              |            |            |  |                              |
| Cuarzo                         | 108        | 37.2       |  | Calcedonia-chert(?)          |
| Circón                         | 43         | 14.8       |  |                              |
| Apatito                        | 6          | 2.1        |  |                              |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |            |            |  |                              |
| Glauconita                     |            |            |  |                              |
| Material Ferruginoso           | 24         | 8.3        |  | Óxidos de hierro             |
| <b>Total</b>                   | <b>290</b> | <b>100</b> |  |                              |

CONTEO 3: CARACTERIZACION de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|   | Puntos     | %          |
|---|------------|------------|
| <b>Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados).</b> | 33         | 33         |
| <b>Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita)</b>       | 42         | 42         |
| <b>Material intersticial primario (matriz-cemento)</b>  | 25         | 25         |
| <b>Total</b>  | <b>100</b> | <b>100</b> |

**3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)**

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| <b>Nombre según conteos 2 y 3:</b> | <b>Packestone</b> |
|------------------------------------|-------------------|

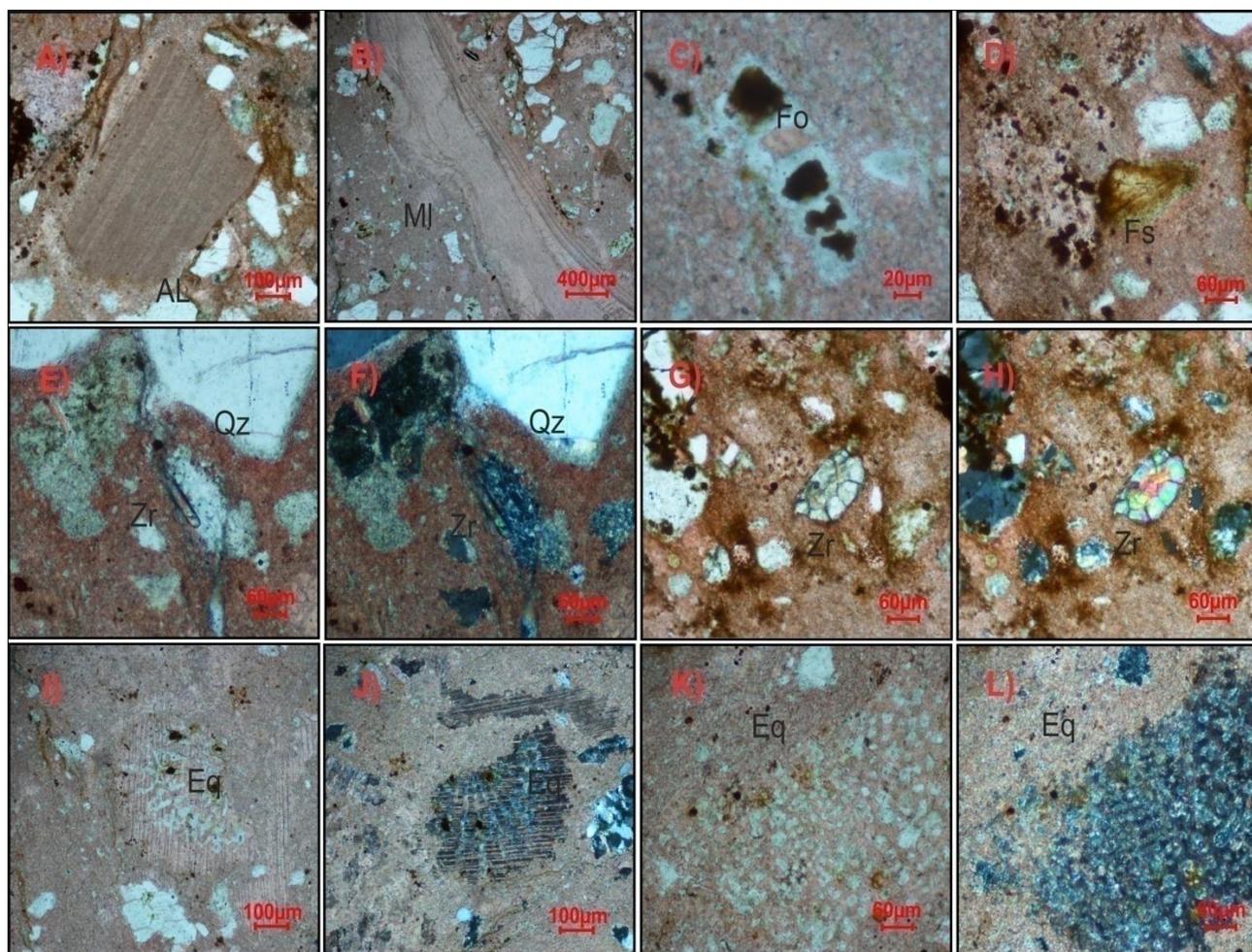
*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

#### **4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA**

Matriz constituida por micrita. Además cemento (esparita) tipo Equant y Bladed.  
Superficies estilolíticas  
Contacto entre granos: Suturado, y en menor proporción cóncavo-convexo.  
Algunos cuarzos se observan fracturados y rellenos por esparita.

#### **5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD**

Porosidad asociada a estilolitos, Intrapartícula y en microfracturas.



**Anexo2.2.1.** Fotografías tomadas de la sección 37-11. A) Alga su con estructura original, B) molusco su con estructura original, C) foraminífero reemplazado por óxidos de hierro, D) fosfato, E) y G) circones-PPL, F) y H) circones-XPL, I) y K) equinodermos fragmentados-PPL, J) y L) equinodermos fragmentados-XPL.

**Anexo 2.3. Análisis petrográfico de la sección: 39-2, Bosconia-Grupo Cogollo.**

|                              |                |                                      |                         |   |                 |
|------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| <b>ANALISIS PETROGRAFICO</b> |                | <b>Siliciclásticas:</b>              | <b>Carbonatos:</b><br>X | <b>Volcanoclástica</b><br>s:                | <b>Mixtas:</b>  |
| <b>UNIDAD</b>                | <b>MUESTRA</b> | <b>POZO</b><br><b>Profundidad(m)</b> |                         | <b>Columna(metro</b><br><b>arriba base)</b> | <b>EDAD</b>     |
| Grupo<br>Cogollo             | 39-2           |                                      |                         |   | Aptiano         |
| <b>LOCALIZACIÓN</b>          |                |                                      |                         | <b>LATITUD</b>                              | <b>LONGITUD</b> |
| Bosconia – Cesar             |                |                                      |                         |   |                 |

**1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

| <b>LITOFACIES</b>             | <b>COLOR</b> | <b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS</b> |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
|                               |              |                                  |
| <b>OTRAS CARACTERISTICAS:</b> |              |                                  |

**2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**CONTEO 1: CARACTERIZACION TEXTURAL (100 PUNTOS)**

|  |    |  |     |   |
|--|----|--|-----|---|
| <b>Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos</b> |    |  |     | 4   |
| <b>Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)</b>  |    |  |     |   |
| Microesparita  | 13 |  | 13% | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita   | 49 |  | 49% | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros  | 32 |  | 32% | Sílice, circón y Dolomita   |
| <b>Porosidad<sup>2</sup></b>   | 2% |  |     |   |
| <b>Total</b>   |    |  |     | 100   |

**CONTEO 2: CARACTERIZACION DEL ARMAZON (250 PUNTOS)**

| <b>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</b> |               |          |               |                      |
|--|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <b>ALOQUIMICOS NO FOSILIFEROS</b>  | <b>Puntos</b> | <b>%</b> | <b>Tamaño</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                                |            |            |  |                         |
|--------------------------------|------------|------------|--|-------------------------|
| Ooides                         |            |            |  |                         |
| Peloides                       |            |            |  |                         |
| Pellets                        |            |            |  |                         |
| Intraclastos                   |            |            |  |                         |
| <b>ALOQUIMICOS FOSILIFEROS</b> |            |            |  |                         |
| Algas                          |            |            |  |                         |
| Foraminíferos                  |            |            |  |                         |
| Equinodermos                   | 7          | 2.4        |  |                         |
| Moluscos                       | 154        | 53.1       |  | Principalmente Bivalvos |
| Braquiópodo                    |            |            |  |                         |
| Briozoo                        |            |            |  |                         |
| Fósiles sin identificar        |            |            |  |                         |
| Artrópodos                     |            |            |  |                         |
| Fosfatos                       |            |            |  |                         |
| <b>TERRIGENOS</b>              |            |            |  |                         |
| Cuarzo                         | 103        | 35.5       |  |                         |
| Circón                         | 8          | 2.8        |  |                         |
| Apatito                        | 3          | 1.0        |  |                         |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |            |            |  |                         |
| Glaucionita                    | 4          | 1.4        |  |                         |
| Material Ferruginoso           | 11         | 3.8        |  | Óxidos de hierro        |
| <b>Total</b>                   | <b>290</b> | <b>100</b> |  |                         |

CONTEO 3: CARACTERIZACION de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|   | Puntos     | %          |
|---|------------|------------|
| <b>Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados).</b> | 48         | 48         |
| <b>Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glaucionita)</b>      | 29         | 29         |
| <b>Material intersticial primario (matriz-cemento)</b>  | 23         | 23         |
| <b>Total</b>  | <b>100</b> | <b>100</b> |

**3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)**

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| <b>Nombre según conteos 2 y 3:</b> | <b>Packstone</b> |
|------------------------------------|------------------|

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

#### **4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA**

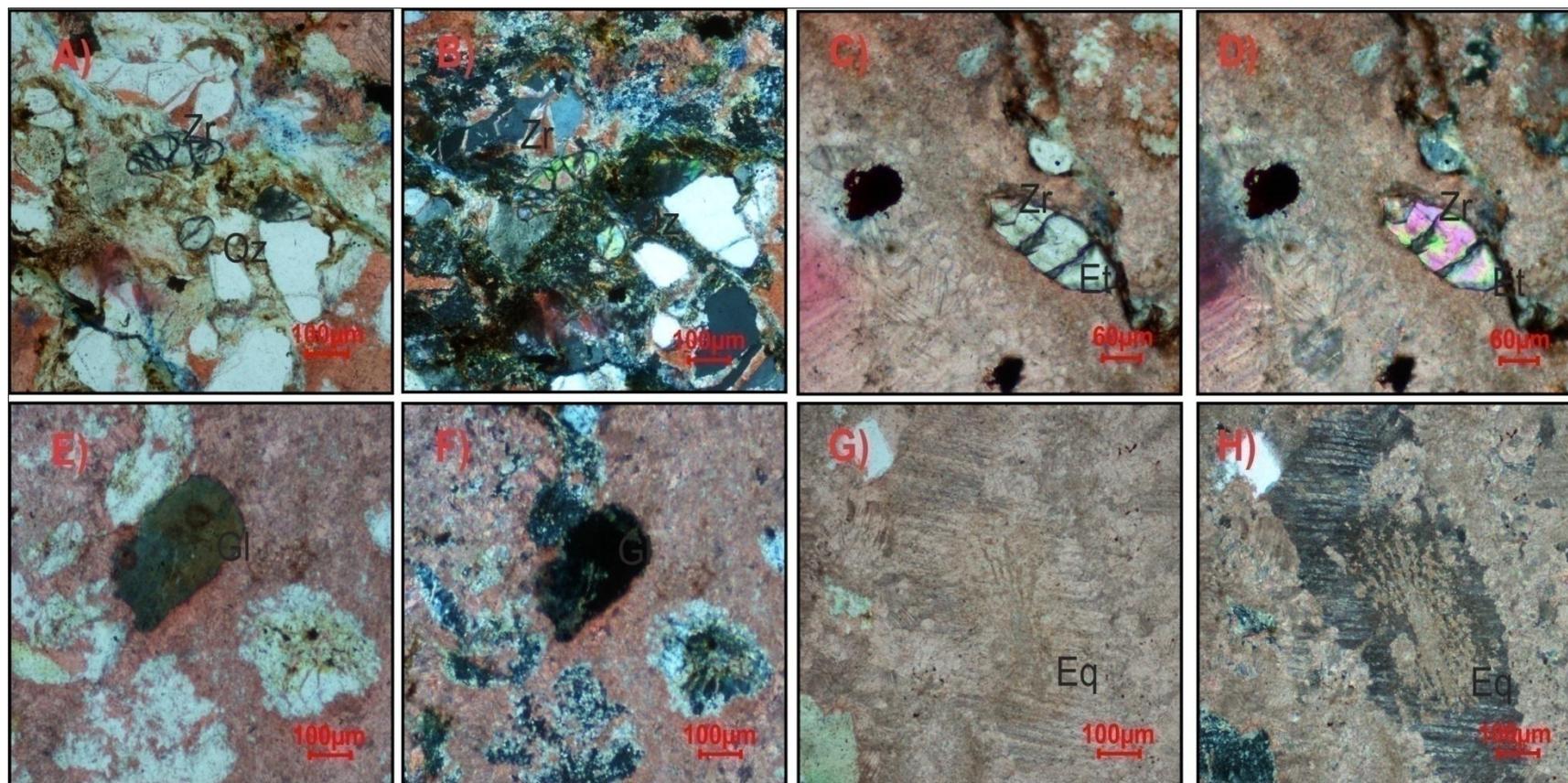
Cemento constituida por microesparita.

Superficie estilolítica.

Dos moluscos representativos de la placa se encuentran reemplazados hacia los bordes por esparita de menor tamaño (en mosaico?), y en el centro aumenta el tamaño (Cemento tipo Equant). En otro lado cambia el tipo de cemento; hacia los bordes la esparita es hojoso y en el centro tipo Equant.

#### **5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD**

Porosidad interpartícula e intrapartícula presente en algunos cuarzos y moluscos, porosidad en microfracturas y asociada a superficies estilolíticas.



**Anexo 2.3.1.** Fotografías tomadas de la sección 39-2. A) Circón y cuarzo subhedral -PPL, B) circón y cuarzo subhedral-XPL, C) circón y superficie estilolítica-PPL, D) circón y superficie estilolítica-XPL, E) glauconita-PPL, F) glauconita-XPL, G) equinodermo-PPL, H) equinodermo-XPL.

**Anexo 2.4. Análisis petrográfico de la sección: 39-5, Bosconia-Grupo Cogollo.**

|                              |                |                                      |                         |   |                 |
|------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| <b>ANALISIS PETROGRAFICO</b> |                | <b>Siliciclásticas:</b>              | <b>Carbonatos:</b><br>X | <b>Volcanoclástica</b><br>s:                | <b>Mixtas:</b>  |
| <b>UNIDAD</b>                | <b>MUESTRA</b> | <b>POZO</b><br><b>Profundidad(m)</b> |                         | <b>Columna(metro</b><br><b>arriba base)</b> | <b>EDAD</b>     |
| Grupo<br>Cogollo             | 39-5           |                                      |                         |   | Aptiano         |
| <b>LOCALIZACIÓN</b>          |                |                                      |                         | <b>LATITUD</b>                              | <b>LONGITUD</b> |
| Bosconia – Cesar             |                |                                      |                         |   |                 |

**1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

| <b>LITOFACIES</b>             | <b>COLOR</b> | <b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS</b> |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
|                               |              |                                  |
| <b>OTRAS CARACTERISTICAS:</b> |              |                                  |

**2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**CONTEO 1: CARACTERIZACION TEXTURAL (100 PUNTOS)**

|  |    |    |     |   |
|--|----|----|-----|---|
| <b>Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos</b> |    |    |     | 11  |
| <b>Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)</b>  |    |    |     |   |
| Micrita  | 53 |    | 53% | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita   | 32 |    | 32% | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros  | 3  |    | 3%  | Sílice  |
| <b>Porosidad<sup>1</sup></b>   |    | 1% |     |   |
| <b>Total</b>   |    |    |     | 100   |

**CONTEO 2: CARACTERIZACION DEL ARMAZON (250 PUNTOS)**

| <b>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</b> |               |          |               |                      |
|--|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <b>ALOQUIMICOS NO FOSILIFEROS</b>  | <b>Puntos</b> | <b>%</b> | <b>Tamaño</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                                |            |            |  |  |
|--------------------------------|------------|------------|--|--|
| Ooides                         |            |            |  |  |
| Peloides                       |            |            |  |  |
| Pellets                        |            |            |  |  |
| Intraclastos                   |            |            |  |  |
| <b>ALOQUIMICOS FOSILIFEROS</b> |            |            |  |  |
| Algas                          |            |            |  |  |
| Foraminíferos                  | 3          | 1.0        |  |  |
| Equinodermos                   | 113        | 39         |  | Compuestos por recristalización de esparita y en menor proporción con estructura original. |
| Moluscos                       | 141        | 48.6       |  | Reemplazados por esparita.   |
| Braquiópodo                    |            |            |  |  |
| Briozoo                        |            |            |  |  |
| Coral                          |            |            |  |  |
| Fósiles sin identificar        | 11         | 3.8        |  | Posiblemente fósiles porosos de coloración verde   |
| Fosfatos                       | 2          | 0.7        |  |  |
| <b>TERRIGENOS</b>              |            |            |  |  |
| Cuarzo                         | 6          | 2.1        |  |  |
| Otros                          |            |            |  |  |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |            |            |  |  |
| Glaucionita                    | 9          | 3.1        |  | De pequeño tamaño  |
| Material Ferruginoso           | 5          | 1.7        |  |  |
| <b>Total</b>                   | <b>290</b> | <b>100</b> |  |  |

CONTEO 3: CARACTERIZACION de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|  | Puntos     | %          |
|--|------------|------------|
| <b>Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados).</b> | 40         | 40         |
| <b>Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glaucionita)</b>       | 5          | 5          |
| <b>Material intersticial primario (matriz-cemento)</b>   | 55         | 55         |
| <b>Total</b>   | <b>100</b> | <b>100</b> |

**3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)**

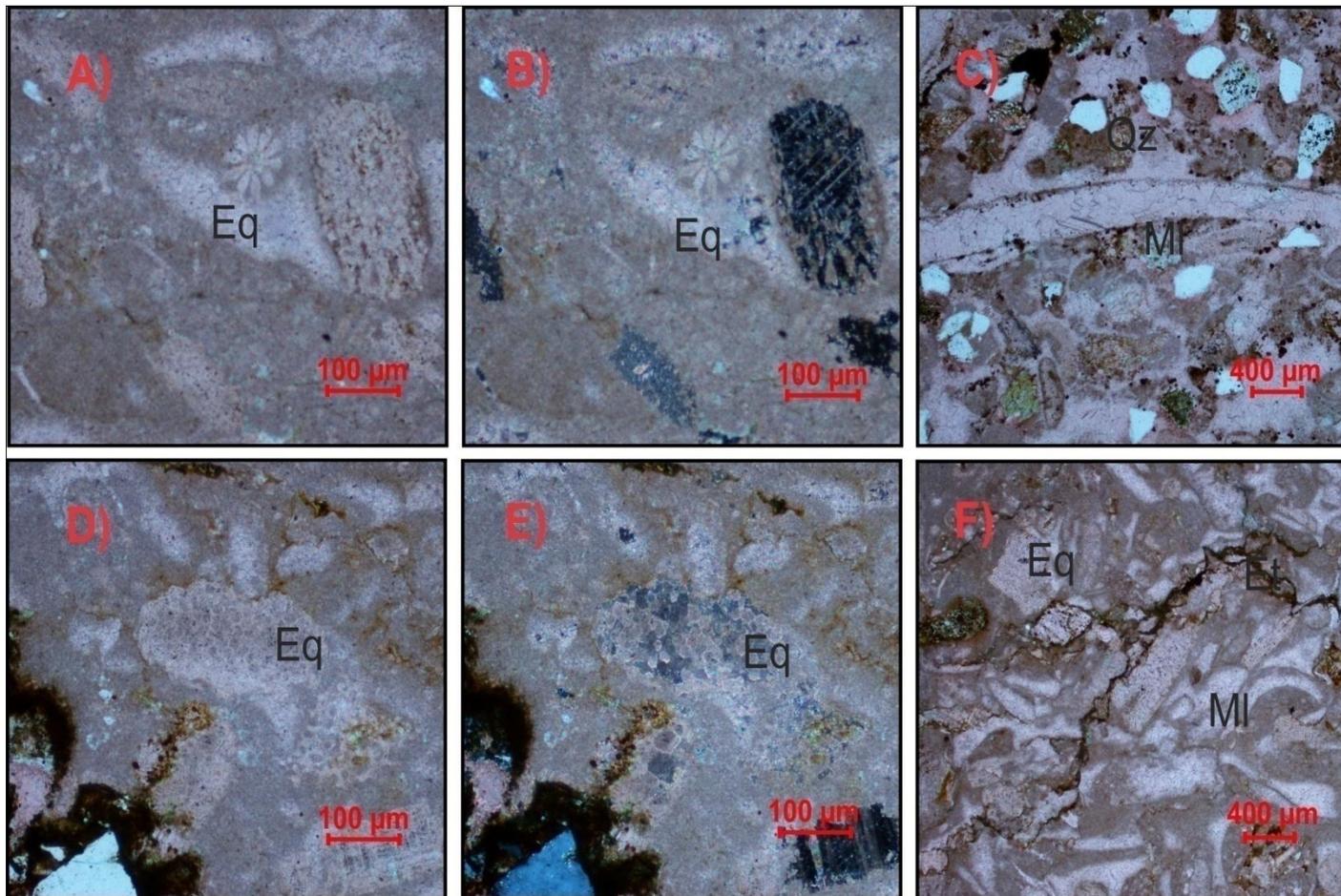
*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

#### **4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA**

Vetillas de esparita.  
Superficies estilolíticas.  
Cemento de esparita tipo Equant.  
Contacto suturado y cóncavo – convexo entre las partículas.

#### **5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD**

Porosidad asociada a superficie estilolítica, porosidad intercrystalina y porosidad intrapartícula en moluscos.



**Anexo 2.4.1.** Fotografías tomadas de la sección 39-5. A) y D) equinodermos-PPL, B) y E) equinodermos-XPL, C) molusco reemplazado por esparita, F) equinodermos y moluscos reemplazados y superficie estilolítica.

**Anexo 2.5. Análisis petrográfico de la sección: 39-9, Bosconia-Grupo Cogollo.**

|                              |                |                                      |                         |   |                 |
|------------------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------------|
| <b>ANÁLISIS PETROGRÁFICO</b> |                | <b>Siliciclásticas:</b>              | <b>Carbonatos:</b><br>X | <b>Volcanoclástica</b><br>s:                | <b>Mixtas:</b>  |
| <b>UNIDAD</b>                | <b>MUESTRA</b> | <b>POZO</b><br><b>Profundidad(m)</b> |                         | <b>Columna(metro</b><br><b>arriba base)</b> | <b>EDAD</b>     |
| Grupo<br>Cogollo             | 39-9           |                                      |                         |   | Aptiano         |
| <b>LOCALIZACIÓN</b>          |                |                                      |                         | <b>LATITUD</b>                              | <b>LONGITUD</b> |
| Bosconia – Cesar             |                |                                      |                         |   |                 |

**1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA**

| <b>LITOFACIES</b>             | <b>COLOR</b> | <b>ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS</b> |
|-------------------------------|--------------|----------------------------------|
|                               |              |                                  |
| <b>OTRAS CARACTERÍSTICAS:</b> |              |                                  |

**2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

**CONTEO 1: CARACTERIZACIÓN TEXTURAL (100 PUNTOS)**

|  |    |    |     |   |
|--|----|----|-----|---|
| <b>Armazón. Se consideran los fragmentos con estructura primaria preservada que incluyen: aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos, terrígenos y minerales autigénicos</b> |    |    |     | 9   |
| <b>Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles)</b>  |    |    |     |   |
| Microesparita  | 60 |    | 60% | Como material intersticial o reemplazando algas o corales.  |
| Esparita   | 6  |    | 6%  | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros  | 20 |    | 20% | Sílice y Dolomita   |
| <b>Porosidad<sup>5</sup></b>   |    | 5% |     |   |
| <b>Total</b>   |    |    |     | 100   |

**CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZÓN (250 PUNTOS)**

| <b>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</b> |               |          |               |                      |
|--|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <b>ALOQUIMICOS NO FOSILIFEROS</b>  | <b>Puntos</b> | <b>%</b> | <b>Tamaño</b> | <b>OBSERVACIONES</b> |

*Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

|                                |            |            |  |                                   |
|--------------------------------|------------|------------|--|-----------------------------------|
| Ooides                         |            |            |  |                                   |
| Peloides                       |            |            |  |                                   |
| Pellets                        |            |            |  |                                   |
| Intraclastos                   |            |            |  |                                   |
| <b>ALOQUIMICOS FOSILIFEROS</b> |            |            |  |                                   |
| Algas                          | 2          | 0.7        |  |                                   |
| Foraminíferos                  | 11         | 3.8        |  |                                   |
| Equinodermos                   | 49         | 16.8       |  | Conservan su estructura original  |
| Moluscos                       | 132        | 45.5       |  | Algunos reemplazados por esparita |
| Braquiópodo                    |            |            |  |                                   |
| Briozoo                        |            |            |  |                                   |
| Fósiles sin identificar        | 8          | 2.8        |  | Posiblemente briozoos             |
| Artrópodos                     |            |            |  |                                   |
| Fosfatos                       | 2          | 0.7        |  |                                   |
| <b>TERRIGENOS</b>              |            |            |  |                                   |
| Cuarzo                         | 53         | 18.3       |  | La mayoría angulosos              |
| Otros                          | 15         | 5.2        |  | Circones                          |
| <b>MINERALES AUTIGÉNICOS</b>   |            |            |  |                                   |
| Glaucionita                    | 8          | 2.8        |  |                                   |
| Material Ferruginoso           | 10         | 3.4        |  | Óxidos de hierro                  |
| <b>Total</b>                   | <b>290</b> | <b>100</b> |  |                                   |

CONTEO 3: CARACTERIZACION de fábrica primaria de acumulación (100 PUNTOS)

|  | Puntos     | %          |
|--|------------|------------|
| <b>Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados).</b> | 24         | 24         |
| <b>Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glaucionita)</b>       | 15         | 15         |
| <b>Material intersticial primario (matriz-cemento)</b>   | 61         | 61         |
| <b>Total</b>   | <b>100</b> | <b>100</b> |

**3. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1964. Considerando las complejidades diagenéticas)**

|                                    |                   |
|------------------------------------|-------------------|
| <b>Nombre según conteos 2 y 3:</b> | <b>Wackestone</b> |
|------------------------------------|-------------------|

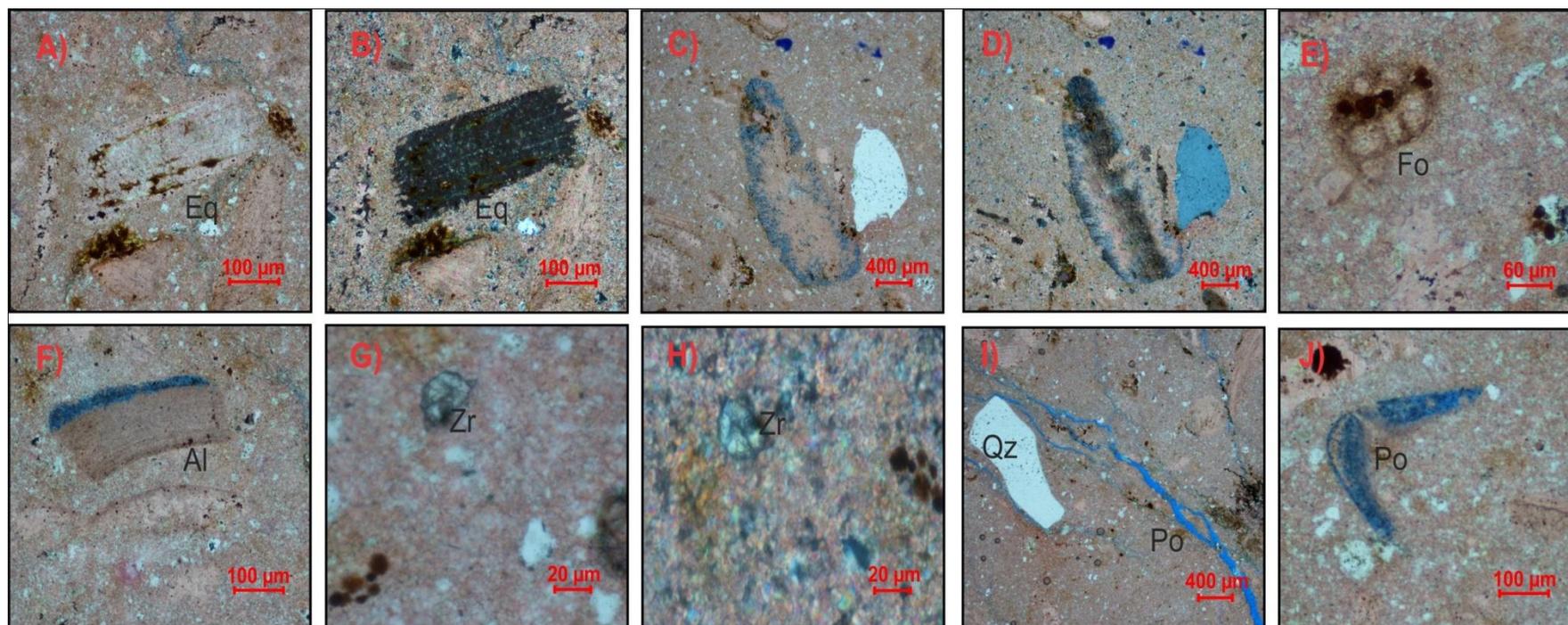
*Zuimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la Cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)*

#### **4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA**

Cemento constituida por microesparita.  
Microfracturas y fracturas rellenas por microesparita.  
Contacto Suturado entre algunos granos; sin embargo la mayoría se encuentran en contacto “flotante” con respecto al cemento (microesparita).  
En general los cuarzos son pequeños, angulosos mientras que los de mayor tamaño presentan bordes mas redondeados.  
Superficies estilolíticas.  
Fósiles fragmentados, sin embargo la mayoría conserva su estructura original.

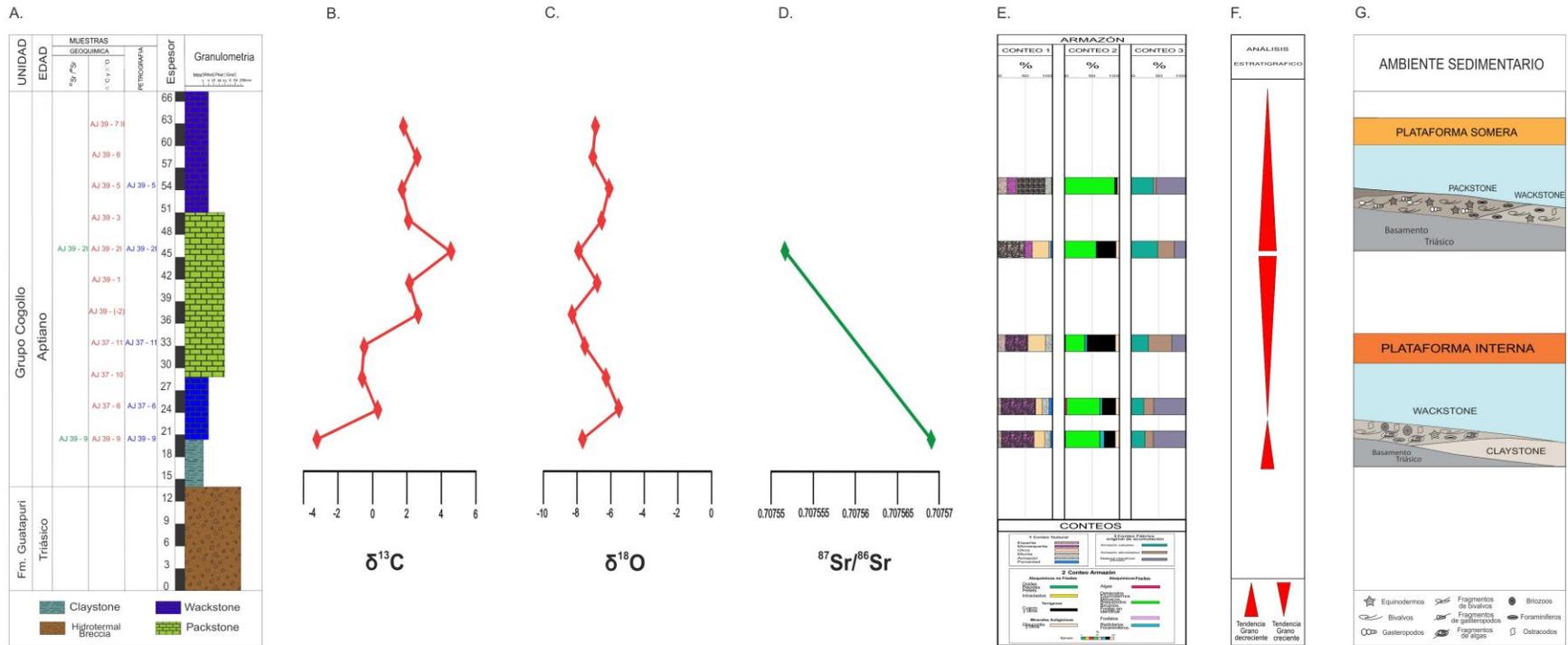
#### **5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD**

Porosidad asociada a estilolitos, intercrystalina presente en algunos cuarzos, porosidad moldica, intra-interparticula asociada a moluscos y porosidad en microfracturas.



**Anexo 2.5.1.** Fotografías tomadas de la sección 39-9. A) equinodermo-PPL, B) equinodermo-XPL, C) fósil sin identificar-PPL, D) fósil sin identificar-XPL, E) foraminífero, F) alga, G) circón-PPL, H) circón-XPL, I) porosidad asociada a microfracturas, J) porosidad intrapartícula.

# Quimioestratigrafía y caracterización diagenética de sucesiones carbonáticas con potencial de generación y acumulación de aceites y gases en la cuenca Cesar-Ranchería, NE Colombiano (Grupo Cogollo)



Anexo 3: (A.) Secuencia estratigráfica del Grupo Cogollo en la sección de Bosconia (Cesar). (B.) Quimioestratigrafía de isótopos de C. (C.) Quimioestratigrafía de isótopos de O. (D.) Quimioestratigrafía de isótopos de Sr. (E.) Caracterización textural, del armazón y de la fábrica primaria de acumulación. (F.) Analisis de la estratigrafía secuencial de la sección estudiada. (G.) Interpretación del ambiente sedimentario de la sección de estudio.