

CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE SUCESIONES DE
CARBONATOS DEL MIEMBRO KESIMA DE LA FORMACIÓN PALANZ

JOHANNA CATALINA RAMÍREZ MORALES

DAVID TRUJILLO CATAÑO

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

CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE SUCESIONES DE
CARBONATOS DEL MIEMBRO KESIMA DE LA FORMACIÓN PALANZ

JOHANNA CATALINA RAMÍREZ MORALES
DAVID TRUJILLO CATAÑO

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

Director
Ph.D JUAN CARLOS SILVA TAMAYO

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

NOTA DE ACEPTACIÓN

Juan Carlos Silva

Director de Trabajo de Grado

Manizales, Mayo de 2013

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo de investigación quiere agradecer a:

Primero que todo a Dios y a nuestras familias por el apoyo incondicional durante toda nuestra formación como profesionales.

Al geólogo y profesor Ph.D director de la tesis Juan Carlos Silva Tamayo por sus enseñanzas, confianza, paciencia y amistad depositada en nosotros, por las sugerencias durante todo el proceso de investigación.

Agradecemos al geólogo y Ph.D Andrés Pardo Trujillo por su paciencia y colaboración en la realización del trabajo, además agradecemos al Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) de la Universidad de Caldas por permitirnos realizar el desarrollo del trabajo en sus respectivos laboratorios.

Agradecemos al Profesor Alcides N. Sial de la Universidad Federal de Pernambuco por permitir realizar los análisis geoquímicos de C y O.

Agradecemos el apoyo económico recibido por parte de la Unión Europea al Prof. Juan Carlos Silva los cuales permitieron realizar los análisis isotópicos de Sr en la Universidad de Washington.

Agradecemos al Dr. Víctor Valencia por la asistencia en la realización de los análisis isotópicos de Sr en la Universidad de Washington.

Especial agradecimiento va dirigido a la corporación Geológica Ares y a Geocuencias S.A. quienes aportaron con apoyo logístico y económico respectivamente a la presente investigación.

A cada uno de los profesores que nos inspiraron en la formación como geólogos. A el geólogo y compañero Sebastián Rosero por sus asesorías. A nuestros compañeros y amigos por su apoyo, ayuda y amistad durante nuestra carrera, viajes y en el desarrollo del trabajo.

Finalmente a todas las personas que nos apoyaron de alguna manera en nuestra formación académica.

RESUMEN

La Serranía de Cosinas ubicada en la Alta Guajira Colombiana presenta una serie de unidades cretácicas. Al sur de la falla Cosinas aflora un conjunto de rocas carbonáticas fosilíferas, intercaladas entre *Bafflestone*, *Grainstone*, *Wackstone*, *Packstone* y *Mudstone*, conocida en la literatura como el Miembro Kesima de la Formación Palanz

Basados en la estratigrafía y petrografía se realiza un estudio diagenético de los carbonatos del Miembro Kesima. Además calibramos la cronoestratigrafía del Miembro Kesima mediante quimioestratigrafía de Sr. También se propuso calibrar mediante quimioestratigrafía de C y O eventos paleoceanográficos y paleoclimáticos ocurridos durante el Cretácico en esta zona, siendo corroborados por análisis de elementos mayores y traza esperando identificar la presencia del evento anóxico Weissert en el norte de Colombia.

Los análisis estratigráficos y petrográficos desarrollados en esta unidad muestran la presencia de carbonatos con fragmentos fósiles distintivos de base a tope en la sección. Los equinodermos, moluscos y briozoos son los principales aloquímicos identificados a la base de la sucesión, cementados principalmente por material micrítico y cemento esparítico. Hacia el tope, la sección es rica en ooides y pellets, envueltos en matriz micrítica. El ambiente depositacional que presenta el Miembro Kesima de acuerdo a las características estratigráficas y las variaciones de ambientes sedimentológicos, sugieren un ambiente marino somero de alta energía generado por acción de olas o corrientes de marea. Los procesos diagenéticos como, silicificación, estilolitización y cementación se encuentran presentes afectando la textura original de los carbonatos.

De acuerdo a los valores de isótopos de Sr se determina una edad Valanginiano-Hauteriviano para el Miembro Kesima apoyados en estudios bioestratigráficos realizados en trabajos previos. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ fluctúan entre 0.29‰ a la base y 0.59‰ al techo de la sección, mostrando una excursión positiva en constante aumento permitiendo identificar el evento anóxico. Además los resultados de los análisis multielementales permiten corroborar las alteraciones diagenéticas a partir de la relación de Mn/Sr y la presencia del evento anóxico Weissert a través de los resultados de Th/U.

Palabras Clave: *Cretácico*, *Cronoestratigrafía*, *Quimioestratigrafía*, *Evento anóxico*, *Miembro Kesima*.

ABSTRACT

The Cosinas ridge is located in the high Colombian Guajira, has a range of Cretaceous units. At south of the Cosinas Fault outcrops a set of fossiliferous carbonate rocks interbedded between *Bafflestone*, *Grainstone*, *Wackstone*, *Packstone* y *Mudstone*, known in the literature with Kesima member of the Palanz Formation.

Based on stratigraphy and petrography was carried a diagenetic study of the carbonates of Kesima Member. Also we calibrating the chronostratigraphy of Kesima Member by chemostratigraphy of Sr. Furthermore we proposed calibrate by chemostratigraphy of C y O paleoceanographic and paleoclimate events occurred during the Cretaceous in this area, being corroborated by analysis of major and trace elements and waiting to identify the presence of Weissert anoxic event in the northern of Colombia.

The stratigraphic and petrographic analysis developed in this unity show the presence of carbonates with fossil fragments distinctive from the base to the top in the section. The echinoderm, molluscs and bryozoans are the main alloquimios identified in the base of succession, mainly cemented by micritic and sparitic. Towards the top, the section is rich in ooids and pellets involved in micritic matrix. The depositional environment presenting in the Kesima Member according to the stratigraphic characteristics of environments and sedimentological variations suggest shallow marine of high energy generated by wave action and tidal currents. Diagenetic processes as silicification, stylolitization and cementation are present affecting the original texture of carbonates.

According to the isotopic values of Sr is determined a Valanginian-Hauterivian age for the Kesima Member support in biostratigraphic studies carried in previous works. The $\delta^{13}\text{C}$ values fluctuates between 0.29‰ to the bottom and 0.59‰ , to the top of the section, showing a positive excursion in constant increase giving the identification of the anoxic event. Further the results of multielement analysis allow to corroborate diagenetic alterations based from Mn/Sr ratios and the presence of the anoxic event Weissert through results of Th/U.

Keywords: *Cretaceous*, *Chronostratigraphy*, *Chemostratigraphy*, *Anoxic event*, *Kesima Member*

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 1.1. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2. LOCALIZACIÓN..... | 4 |
| 1.2.1 Vías de Acceso..... | 5 |
| 2. MARCO GEOLÓGICO..... | 6 |
| 2.1. MARCO TECTÓNICO..... | 6 |
| 2.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA GUAJIRA..... | 8 |
| 2.3. MARCO CRONOESTRATIGRÁFICO..... | 9 |
| 2.3.1. Rocas Metamórficas..... | 9 |
| 2.3.2. Rocas Ígneas..... | 9 |
| 2.3.3. Rocas Sedimentarias..... | 10 |
| 2.3.4. Estado del conocimiento del Miembro Kesima de la Formación Palanz..... | 13 |
| 3. QUIMIOESTRATIGRAFÍA ISOTÓPICA..... | 16 |
| 3.1. Isotopía de $\delta^{13}\text{C}$ | 16 |
| 3.2. Isotopía de $\delta^{18}\text{O}$ | 17 |
| 3.3. Isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | 18 |
| 4. METODOS..... | 19 |
| 4.1. Fase de Campo..... | 19 |
| 4.2. Fase de Laboratorio..... | 20 |
| 4.3. Fase Análisis Geoquímicos..... | 21 |
| 4.4 Fase final..... | 22 |
| 5. RESULTADOS..... | 23 |
| 5.1 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE CAMPO..... | 23 |
| 5.2. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MIEMBRO KESIMA..... | 25 |
| | 28 |
| 5.3. RESULTADOS ISOTÓPICOS DE $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ PARA EL MIEMBRO KESIMA..... | 29 |
| 5.4. RESULTADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ PARA EL MIEMBRO KESIMA..... | 31 |
| | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 6. INTERPRETACIÓN | 33 |
| 6.1. Interpretación ambiental del Miembro Kesima | 33 |
| 6.2. QUIMIOESTRATIGRAFÍA..... | 36 |
| 6.2.1 Edad..... | 36 |
| 6.2.2. Identificación del evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior (Weissert)..... | 39 |
| 6.3. Diagénesis | 45 |
| 7. CONCLUSIONES..... | 47 |
| 8. RECOMENDACIONES | 48 |
| 9. REFERENCIAS | 49 |
| ANEXOS | 52 |

TABLA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1 . Mapa ubicación general de la Alta Guajira Colombiana. El recuadro rojo indica la localización de la sección estratigráfica analizada (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).</i> | 4 |
| <i>Figura 2. Mapa ubicación columna estratigráfica del Miembro Kesima en la sección de Trijajain (triángulo rojo), (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02). MP3NP1-Mg2: Grupo Macuira, J3-Sc: Grupo Cojoro, J-Vf: Riodacita de Ipapure, J1-St: Fm. Cheterló, J2J3-Sm: Fm. Cajú, b1b2-Sctm: Fm. Palanz, b2k1-Sm: Miembro Kesima, N1-Sm: Fm. Jimol, E3n1-Sm: Fm. Siamana, Es: Fm. Simarúa, Q-ca: Abanicos aluviales y depósitos coluviales, Q1-t: Terrazas aluviales. (Tomado de la Memoria Explicativa del mapa Geológico del Departamento de la Guajira, 2003).</i> | 5 |
| <i>Figura 3. Tectónica regional de las placas Cocos, Caribe y Suramericana (Weber et al. ,2010).</i> | 6 |
| <i>Figura 4. Nombres de los principales sistemas de fallas en la Alta Guajira Colombiana (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).</i> | 7 |
| <i>Figura 5. Ubicación de las unidades Neis de Macuira y Neis de Jojoncito (MP3NP1-Mg), Granodiorita de Siapana (T3J-Pi), Riodacita de Ipapure (J-Vf) (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).</i> | 10 |
| <i>Figura 6. Columna estratigráfica generalizada de la Alta Guajira (Modificada de Ingeominas, de la Memoria explicativa y mapa geológico del Departamento de la Guajira, 2003).</i> | 12 |
| <i>Figura 7. Columna estratigráfica generalizada del Miembro Kesima de la Fm. Palanz en el sector de Trijajain (Salazar, 2010).</i> | 15 |
| <i>Figura 8. Diagrama de flujo con los métodos desarrollados durante el proyecto.</i> | 19 |
| <i>Figura 9. Columna estratigráfica del Miembro Kesima de la Formación Palanz y algunas fotografías de muestras recolectadas en campo.</i> | 24 |
| <i>Figura 10. Características petrográficas y algunos aloquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Miembro Kesima. a). Espícula de equinodermo en PPX, cemento micrítico y porosidad asociada a pequeñas fracturas, b). Gasterópodo contenido en matriz micrítica en PPX, c). Coral que se superan los 2mm, recristalizado por microesparita y presenta silicificación en PPL, d). Intraclastos, alga verde y algunos fósiles sin identificar debido a la alta diagénesis en PPL, e). Pellets, ooides concéntricos, algunos de ellos con núcleo de bioclastos y espículas de equinodermos, además se observan moluscos que hacen parte de la composición de la roca, la porosidad está asociada a las fracturas con superficie estilolítica cortando algunos bioclastos y porosidad en el núcleo de los ooides en PPX, f). Pellets, ooides y poliooides concéntricos, algunos de ellos con núcleo de bioclastos siendo reemplazados por esparita en PPL.</i> | 27 |
| <i>Figura 11. Columna estratigráfica Miembro Kesima con la clasificación en sección delgada y los conteos de caracterización textural, de armazón y de fábrica primaria de acumulación.</i> | 28 |

- Figura 12. Grafica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráficos de isótopos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. _____ 30
- Figura 13. Columna estratigráfica del Miembro Kesima con las gráficas de los datos obtenidos a partir de los análisis quimioestratigráficos los isótopos de ^{13}C y ^{18}O . _____ 32
- Figura 14. Interpretación del posible ambiente depositacional de los carbonatos del Miembro Kesima de la Fm. Palanz. _____ 35
- Figura 15. Grafica con los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs Mn/Sr , mostrando una correlación negativa. Esto sugiere una preservación de los valores isotópicos originales de Sr. _____ 37
- Figura 16. Columna generalizada del Miembro Kesima, curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ analizada para esta sección comparada con la curva global de C para el Cretácico (Hu et al., 2012). _____ 41
- Figura 17. Grafica a partir de los datos obtenidos con los valores de la quimioestratigrafía de isótopos de C (Azul) y O (Rojo) _____ 41
- Figura 18. Columna generalizada del Miembro Kesima, curva isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ analizada para esta sección comparada con la curva global de C para el Cretácico (Hu et al., 2012) _____ 42
- Figura 19. Columna estratigráfica del Miembro Kesima con las curvas que representan los valores obtenidos a partir de elementos mayores y traza. En orden se encuentran: Curva de $\delta^{13}\text{C}$, Mn/Sr , Th/U , Ba y P. _____ 45

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1. Datos quimioestratigráficos de isótopos de estroncio de las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Tabla 2. Datos quimioestratigráficos de isótopos de carbono y oxígeno de las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Tabla 3. Interpretación bioestratigráfica de diferentes autores para datar las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Tabla 4. Valores elementos traza para los carbonatos del Miembro Kesima.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 5. Valores elementos mayores para los carbonatos del Miembro Kesima.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 6. Interpretación diagenética, de las sucesiones carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.....</i> | <i>46</i> |

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Petrografía, (formato de clasificación y microfotografías de la sección delgada).

Anexo 2. Tablas de clasificación para carbonatos

Anexo 3. Imagen columna generalizada y curvas isotópicas generadas de acuerdo a los valores obtenidos para el Miembro Kesima.

1. INTRODUCCIÓN

La Serranía de Cosinas ubicada en la Alta Guajira Colombiana presenta una serie de unidades cretácicas carbonáticas y siliciclásticas que han sido consideradas con potencial de generación de hidrocarburos (e.j. Grupo Cogollo, Fm La Luna).

Los carbonatos cretácicos son importantes objetivos exploratorios a lo largo de todo el circum-Caribe. Debido a su fábrica, las zonas arrecifales fósiles se consideran de gran importancia en la búsqueda de reservorios de aceite y gas. La Formación Palanz está compuesta por areniscas de grano grueso y conglomerados, con intercalaciones de lodolitas y calizas (Rollins, 1965). El Miembro Kesima está conformado por intercalaciones de *bafflestone*, *grainstone*, *wackstone*, *packstone* y *mudstone* con contenido fosilífero. El Miembro Kesima de la Formación Palanz representaría el primer registro calcáreo del Cretácico en la Serranía de Cosinas (Rollins, 1965).

A pesar de los estudios realizados, la edad de depositación del Miembro Kesima de la Formación Palanz no está bien definida, sin embargo estudios bioestratigráficos utilizando amonitas y foraminíferos sugieren edades Valanginiano-Hauteriviano, Berriasiano- Valanginiano y Hauteriviano por anteriores autores.

La quimioestratigrafía de isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ha sido ampliamente utilizada no solo para determinar la edad de depositación de sucesiones carbonáticas, sino también para determinar la existencia de potenciales eventos anóxicos oceánicos que puedan sugerir la preservación de materia orgánica sedimentaria en el sustrato marino. El intervalo Berriasiano-Valanginiano está caracterizado por importantes perturbaciones en el ciclo del carbono oceánico, posiblemente asociados a cambios en la oxigenación de los océanos. Esta perturbación se ve reflejada en una excursión negativa seguida por una excursión positiva en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de carbonatos (Weissert *et al.*, 1968). Los valores altos de $\delta^{13}\text{C}$ durante el Valanginiano sugieren la ocurrencia de un evento anóxico global (evento Weissert) el cual ocurrió durante un período de ascenso en el nivel del mar y altas temperaturas globales, está ultima promoviendo el aumento en la meteorización química de los continentes (Hu *et al* 2012). Las variaciones en las temperaturas globales y meteorización resultaron en cambios únicos en las composiciones isotópicas de O y Sr del agua de mar (Föllmi, 2011).

En este estudio se realizaron análisis estratigráficos, petrográficos y geoquímicos en carbonatos del Miembro Kesima de la Formación Palanz con el objetivo de caracterizar los ambientes depositacionales, determinar su historia diagenética e inferir de una forma más exacta su edad de depositación. Estos análisis son utilizados para determinar la presencia de posibles eventos anóxicos durante la depositación de estos carbonatos y para realizar una evaluación preliminar del potencial que presenta dicha unidad como reservorio de hidrocarburos.

1.1. OBJETIVOS

- Realizar análisis estratigráficos a partir de trabajo de campo y secciones delgadas para el estudio diagenético y ambiental de los carbonatos en el Miembro Kesima de la Formación Palanz.
- Determinar la paragénesis y la historia diagenética de los carbonatos del Miembro Kesima de la Formación Palanz a partir de análisis petrográficos y geoquímicos.
- Mejorar la cronoestratigrafía del Miembro Kesima de la Formación Palanz a partir de geoquímica de isótopos de Sr.
- Investigar la posible presencia del evento anóxico Weissert a partir de la quimioestratigrafía de isótopos de C.

1.2. LOCALIZACIÓN

La Alta Guajira Colombiana corresponde a una península con un área aproximada de 7000 km² ubicada en la zona más septentrional de Suramérica, enmarcado con las coordenadas geodésicas 10° 23' y 12° 28' latitud norte y 71° 06' y 73° 39' de longitud oeste (Figura 1).

La columna estratigráfica analizada, está localizada en el sector de Trijajain, 25 Km al noreste de la ranchería Whatchuari y en la confluencia de los arroyos Toromana y Taururu a 8 Km hacia el oeste de la Ranchería de Punta Espada (Salazar., 2010).

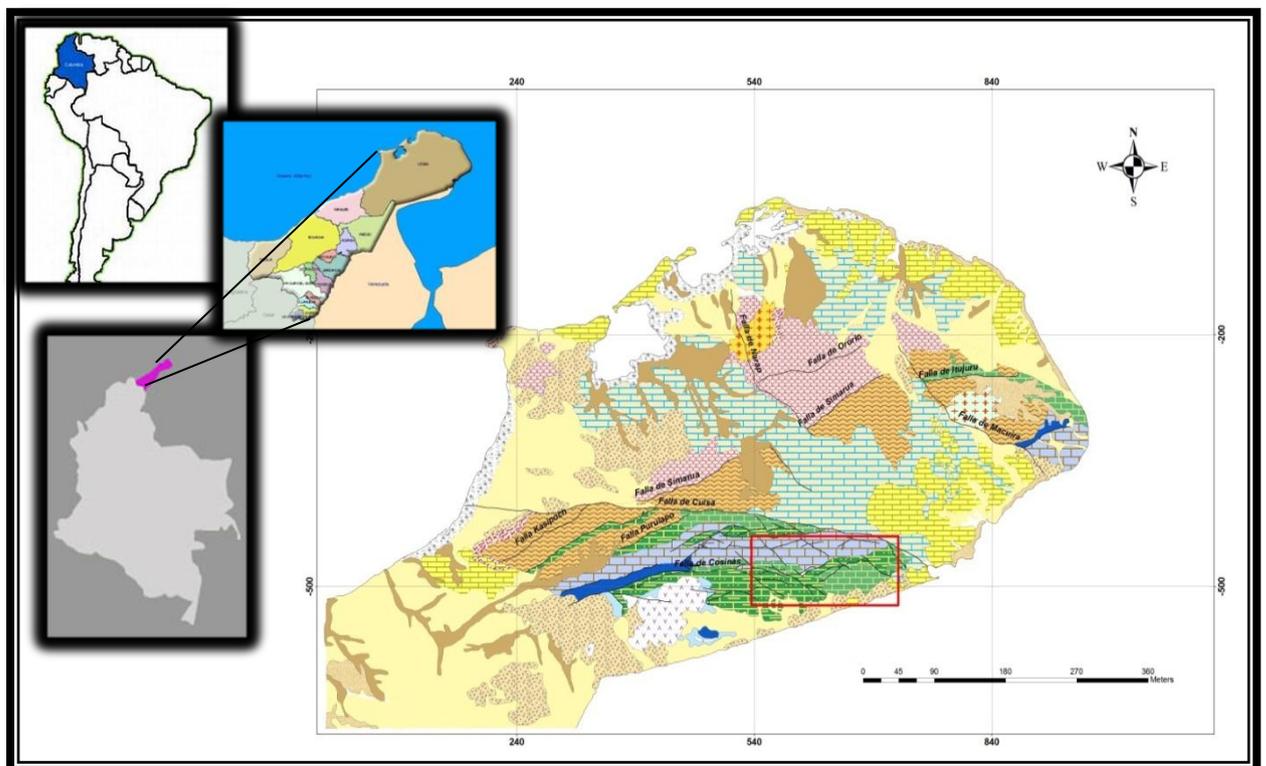


Figura 1 . Mapa ubicación general de la Alta Guajira Colombiana. El recuadro rojo indica la localización de la sección estratigráfica analizada (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).

1.2.1 Vías de Acceso

Para el acceso al sector estudiado, se deben tomar carretables desde el municipio de Uribía, por la vía que conduce a las Rancherías de Cerro de la Teta, Ipapure. El recorrido tiene una duración aproximada de 4 horas con clima seco; en temporada invernal los trayectos pueden tomar hasta 10 horas. A partir de este punto se continúa el recorrido hacia el este, pasando por las rancherías, Chirramana, Mapuaquito, Watchuari; tomando hacia el oriente hasta llegar al sector de Trijajain (Salazar, 2010), donde se llevó a cabo el levantamiento de la columna estratigráfica.

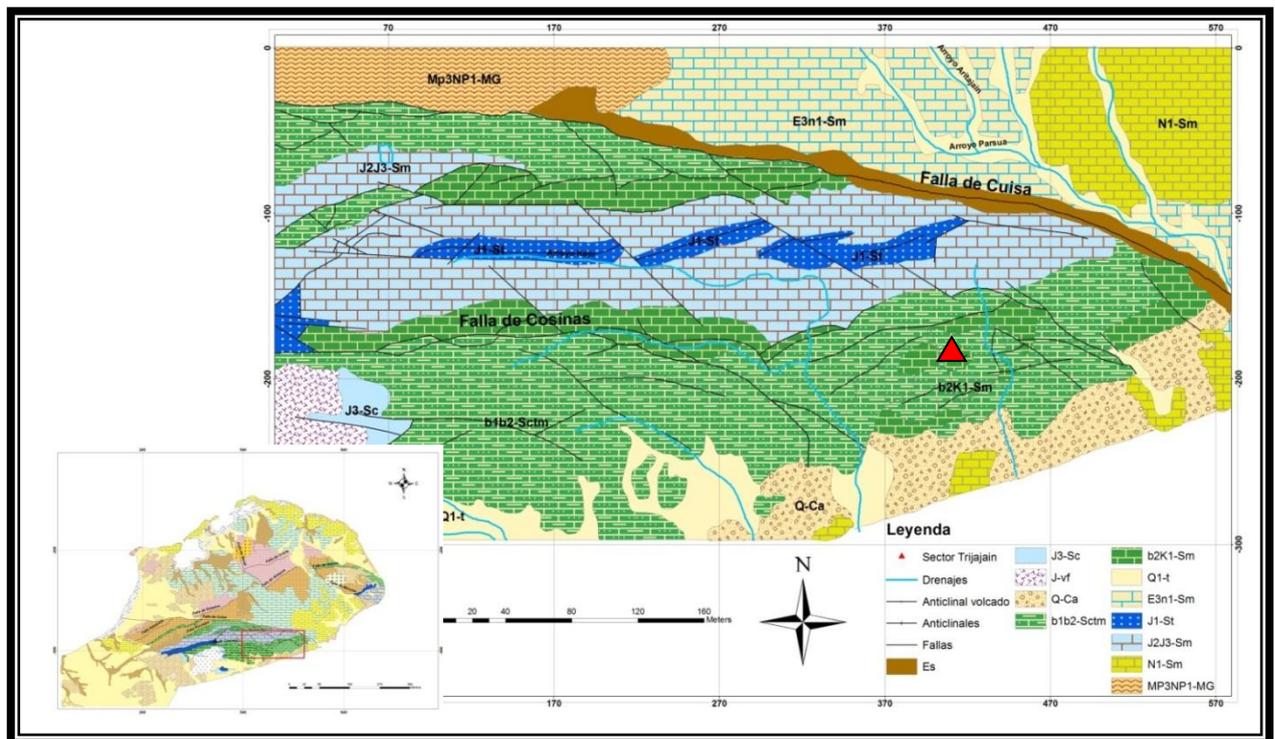


Figura 2. Mapa ubicación columna estratigráfica del Miembro Kesima en la sección de Trijajain (triángulo rojo), (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02). *MP3NP1-Mg2*: Grupo Macuira, *J3-Sc*: Grupo Cojoro, *J-Vf*: Riodacita de Ipapure, *J1-St*: Fm. Cheterló, *J2J3-Sm*: Fm. Cajú, *b1b2-Sctm*: Fm. Palanz, *b2k1-Sm*: Miembro Kesima, *N1-Sm*: Fm. Jimol, *E3n1-Sm*: Fm. Siamana, *Es*: Fm. Simarúa, *Q-ca*: Abanicos aluviales y depósitos coluviales, *Q1-t*: Terrazas aluviales. (Tomado de la Memoria Explicativa del mapa Geológico del Departamento de la Guajira, 2003).

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. MARCO TECTÓNICO

La península de la Guajira se encuentra ubicada en el extremo nororiental de Colombia en la zona más septentrional de América del Sur. Tectónicamente se encuentra próxima a la zona de contacto de las placas Caribe en forma oblicua bajo la Suramericana. Además del empuje ejercido por la placa de Cocos bajo la placa Caribe (Pindell & Kennan, 2001) es clave en el desarrollo estructural del área (figura 3). La interacción entre estas tres placas ha causado que las unidades geológicas aflorantes en el área presenten diferentes estilos estructurales relacionados a cada uno de los eventos marcando así la configuración geológica actual.

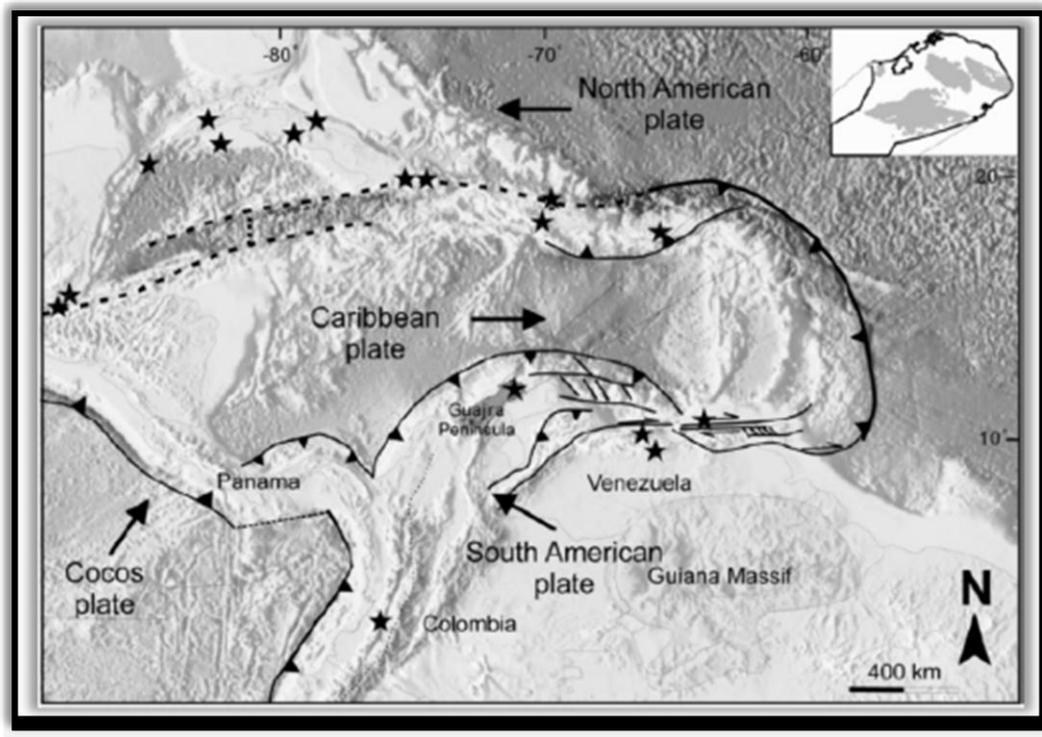


Figura 3. Tectónica regional de las placas Cocos, Caribe y Suramericana (Weber *et al.*, 2010).

Existen tres tendencias estructurales claras que han sido descritas por McDonald (1964), Lockwood (1965), Rollins (1965), Álvarez (1967), Rodríguez & Londoño (2002).

- El sistema de fallas N-NE, son fallas de cabalgamiento o de rumbo dextral. Representado por las fallas de Ororio, Uraitchipa, Simarúa, Kasipoch, Santa Ana, Alas y Puralapo.
- El sistema de fallas NW-SE, son fallas marcados por un alto ángulo y con un importante movimiento vertical, en algunos casos con componente de rumbo lateral dextral. Se destacan fallas como Narap, Huimatirra, Macuira, Nazareth, Orocho y el sistema fallas de Cosinas con su falla principal Ararieru con sentido NW.
- El sistema de fallas E-W integrado por sistemas de rumbo dextral, destacándose fallas como Falla de Cuisa y todas las Fallas E-W y E-NE del sistema de fallas de Cosinas.

Estas tres tendencias estructurales (Figura 4) son manifestadas de forma regional observándose fácilmente en imágenes satelitales. A nivel local se muestran rasgos como estructuras planares, foliaciones, clivajes, pliegues isoclinales, pliegues invertidos, fallas locales, lineamientos, rocas de falla e indicadores cinemáticos como porfiroblastos rotados, pliegues locales, cizallas riedel y estrías de falla (Zuluaga *et al.* 2009).

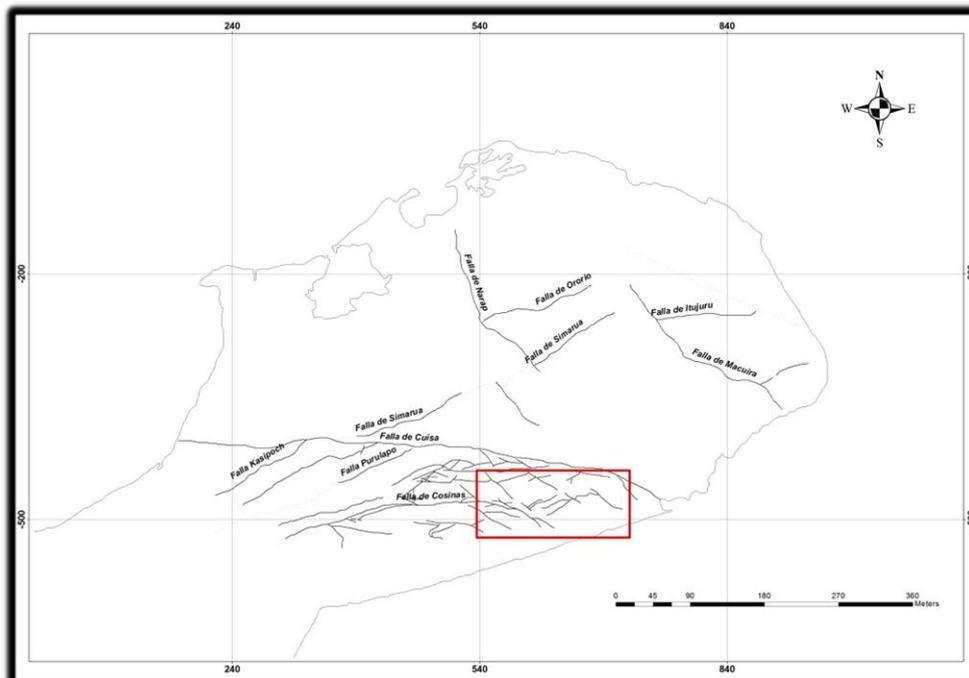


Figura 4. Nombres de los principales sistemas de fallas en la Alta Guajira Colombiana (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).

2.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA GUAJIRA

El desplazamiento del arco de las Antillas hacia el Este durante el Cretácico Tardío dio como resultado en la colisión y obducción en el occidente de la placa Suramericana, generando tectonismo compresivo con dirección NW-SE (Pindell *et al.* 1998).

El Sistema de Fallas de Cosinas se localiza en la parte suroriental de la Serranía de Cosinas, compuesto por múltiples fallas subparalelas que tienen una extensión aproximada de 60 Km con tendencia hacia el E o levemente hacia el NE. La inclinación de estas fallas no ha sido establecida con certeza pero se propone que son casi verticales (Rodríguez y Londoño, 2002). La tendencia en promedio del Sistema de fallas de Cosinas es N84°E, paralelo al eje del pliegue que se encuentra entre la Falla Cuisa y el Sistema de Fallas de Cosinas afectando rocas jurásicas y cretácicas. Cortando el sistema de fallas se encuentra un conjunto de fallas de rumbo con movimiento dextral con tendencia N58°W, además un conjunto de fallas menores con tendencia N16°E y movimiento de rumbo lateral izquierdo (Rollins, 1965).

De acuerdo con Rodríguez & Londoño (2002), el Sistema de fallas de Cosinas corresponde a cabalgamientos que hacen parte de un tren estructural regional N-NE a N-E, sin embargo el bloque Cosinas limitado por las fallas de Puralapo y Cuisa, el tren estructural ha manifestado una tendencia de N85°E en la orientación de las unidades litológicas, fallas menores y plegamientos.

Las estructuras regionales y estructuras más antiguas, como el pliegue que se encuentra entre Sistema de Fallas Cosinas y la Falla de Cuisa, fueron deformados hacia el Este, cambiaron la dirección regional de las unidades y fallas N50-60°E a N80°E, demostrado como el doblez generado por el resultado de los esfuerzos causados por la fallas Cuisa sobre el bloque sur, formando un sistema de fallas cortas a manera de escamas. Al sur del Sistema de Fallas Cosinas, los pliegues son suaves y amplios, lo que indica un menor esfuerzo compresivo.

2.3. MARCO CRONOESTRATIGRÁFICO

2.3.1. Rocas Metamórficas

La Alta Guajira contiene rocas que poseen un amplio rango de edades, siendo desde el Proterozoico hasta el reciente, conformadas por litologías metamórficas, ígneas y sedimentarias. Las litologías más antiguas que hacen parte del basamento corresponde al Neis de Jojoncito aflorando en el sector occidental de la Serranía de Cosinas y en el sector oriental de la Serranía de Simarúa, limitado por la Falla Simarúa al lado oeste y en contacto con el Neis de Macuira y los Esquistos de Jarara. El Neis de Macuira está constituido por neises cuarzo feldespáticos y anfibólicos de protolito sedimentario pelítico, conformado por lodolitas, arenas y conglomerados en menor proporción que alcanza una edad Ordovícica.

Cabe resaltar los dos eventos metamórficos regionales más importantes.

- Metamorfismo Pre-Mesozoico correlacionable con el evento Grenvilliano (Cardona *et al.* 2006), que generó rocas de facies granulita y anfibolita. Es representado por un Leucogranito de Jojoncito datado por el método U/Pb circones en 1.260 Ma (Cordani *et al.* 2005) y el grupo Macuira con metamorfismo en facies anfibolita de almandino (Lockwood, 1965; Álvarez, 1967; Cardona *et al.* 2005).
- Metamorfismo Cretácico Superior representado en un evento del Cretácico-Paleógeno en la Península de la Guajira. Este evento es representado en las formaciones de Jarara, Etpana, Paráukrein, Ipanaruhu y Carpintero, bajo las facies esquistos verdes a facies más bajas (Lockwood, 1965; Álvarez 1967; Ingeominas 2002).

2.3.2. Rocas Ígneas

En general, las rocas ígneas afloran en el sector de la Serranía de Macuira, La Teta, Parashi, Siapana y en la parte oriental de la Serranía de Cosinas, donde corresponde la Granodiorita de Siapana con edad de 167 ± 9 Ma, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (Cardona *et al.*, 2006), (MacDonald, 1964) reporta una edad de 195 ± 4 Ma en Moscovitas por K/Ar, interpretada como edad mínima de intrusión.

La Tonalita de Cosinas comprende una edad pre-Mesozoica por relaciones de campo con unidades que la suprayacen (Zuluaga *et al.*, 2009). La Riodacita de Ipapure, Cerro La Teta con una edad de 143 ± 7 Ma en K/Ar (MacDonald & Opdyke, 1972), Granodiorita de Ipapure posee una edad de 120 ± 4 Ma determinada en roca total por K/Ar (MacDonald & Opdyke, 1972) y la Cuarzodiorita de Parashi con edad de 48 ± 4 Ma obtenida por el método K/Ar en hornblendas (Lockwood, 1965).

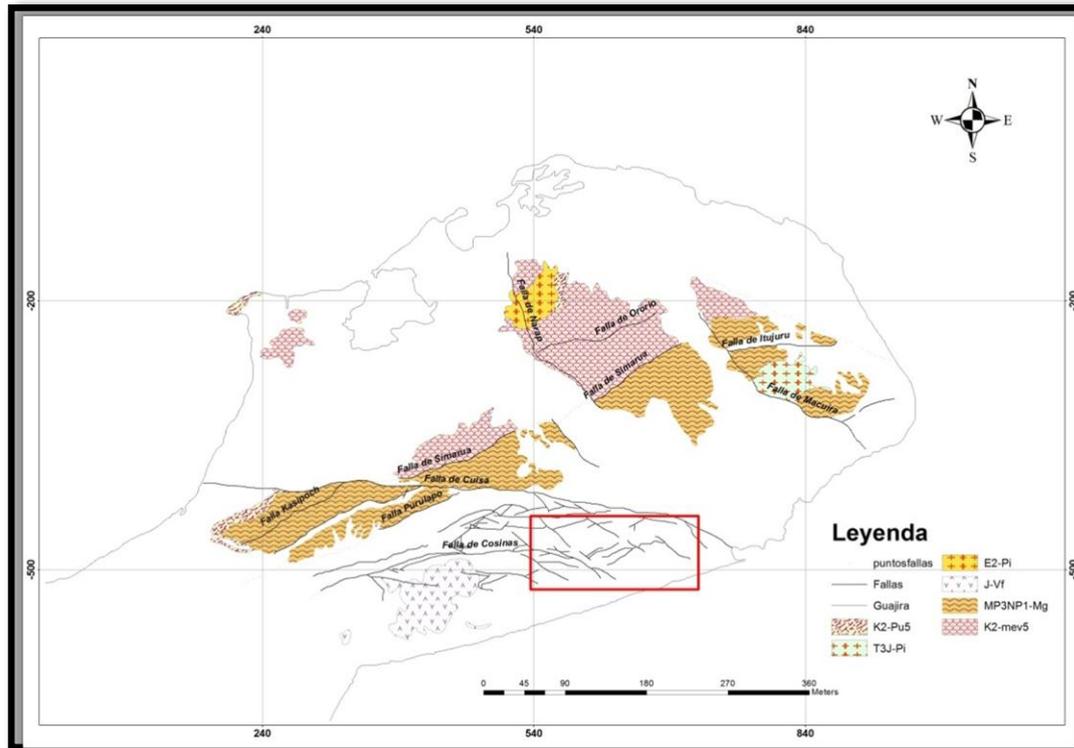


Figura 5. Ubicación de las unidades Neis de Macuira y Neis de Jojuncito (MP3NP1-Mg), Granodiorita de Siapana (T3J-Pi), Riodacita de Ipapure (J-Vf) (Modificado del mapa Geológico de la Guajira de Ingeominas plancha 5-02).

2.3.3. Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias han sido descritas y divididas en más de 20 formaciones, han sido propuestas inicialmente por Renz (1960) y Rollins (1965). Las edades de estas unidades abarcan desde el Triásico-Jurásico hasta el Neógeno producto de las transgresiones y regresiones marinas.

El Grupo Cojoro, es integrado por la Formación Rancho Grande y Uitpana de edad Triásico-Jurásico Inferior siendo principalmente conglomerados y arenitas, el Grupo Cosinas conformado por las Formaciones Cheterlo, Cajú, Chinapa y Cuisa que son Jurásicas siendo principalmente limolitas y arenitas. Estos depósitos a su vez son suprayacidos de manera discordante por depósitos cretácicos manifestados ampliamente en la parte sur de la Alta Guajira, en el sector de la Serranía de Cosinas.

Las rocas cretácicas abarcan edades desde el Berriasiano hasta el Campaniano generado por diversos pulsos de ingesión del mar Cretácico en toda la cuenca Colombiana. Iniciando con un ambiente clástico (Fm Palanz), que corresponden a ambientes fluviales de alta energía, con un miembro carbonatado (Miembro Kesima), son las unidades calcáreas de ambientes marinos someros de frente de playa, con algunos episodios de profundización como el del Turoniano las que predominan durante todo el Mesozoico Superior (Lockwood, 1965: Rollins, 1965: Salazar, 2010). A partir del Valanginiano se inicia la ingesión total del mar Cretácico en la cuenca de la Alta Guajira que produce la depositación de las formaciones Moina, Yuruma superior, Grupo Cogollo (Cogollo inferior-Maraca), La Luna y Guaralamai; donde cada una de ellas representan eventos regresivos y transgresivos correlacionables a lo largo de la cuenca colombiana y venezolana (Rollins, 1965).

En el tope del Cretácico y el Paleoceno se presenta un hiato (Rollins, 1965), iniciándose el registro estratigráfico cenozoico en el Eoceno Tardío que están ampliamente distribuidas por la Alta Guajira siendo rocas esencialmente calcáreas, depositadas en ambientes marinos someros de frente de playa que se extienden por las Serranías de Jarara, Macuira y Cosinas. La Formación Macarao aparece de forma lineal en una pequeña área al este de la Península con una edad Eoceno, es cubierta de manera discordante por depósitos de carbonatos de edad Oligoceno que corresponden a la Formación Siamana (Rollins, 1965). El registro estratigráfico a partir del Oligoceno Inferior?- Medio hasta el Plioceno donde corresponde la Formación Uitpa con una edad Mioceno Inferior-Medio, la Formación Jimol con edad Mioceno Medio-Superior y la Formación Castilletes asignada con edad Mioceno Superior-Plioceno Inferior (Rollins, 1965).

COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA DE LA ALTA GUAJIRA

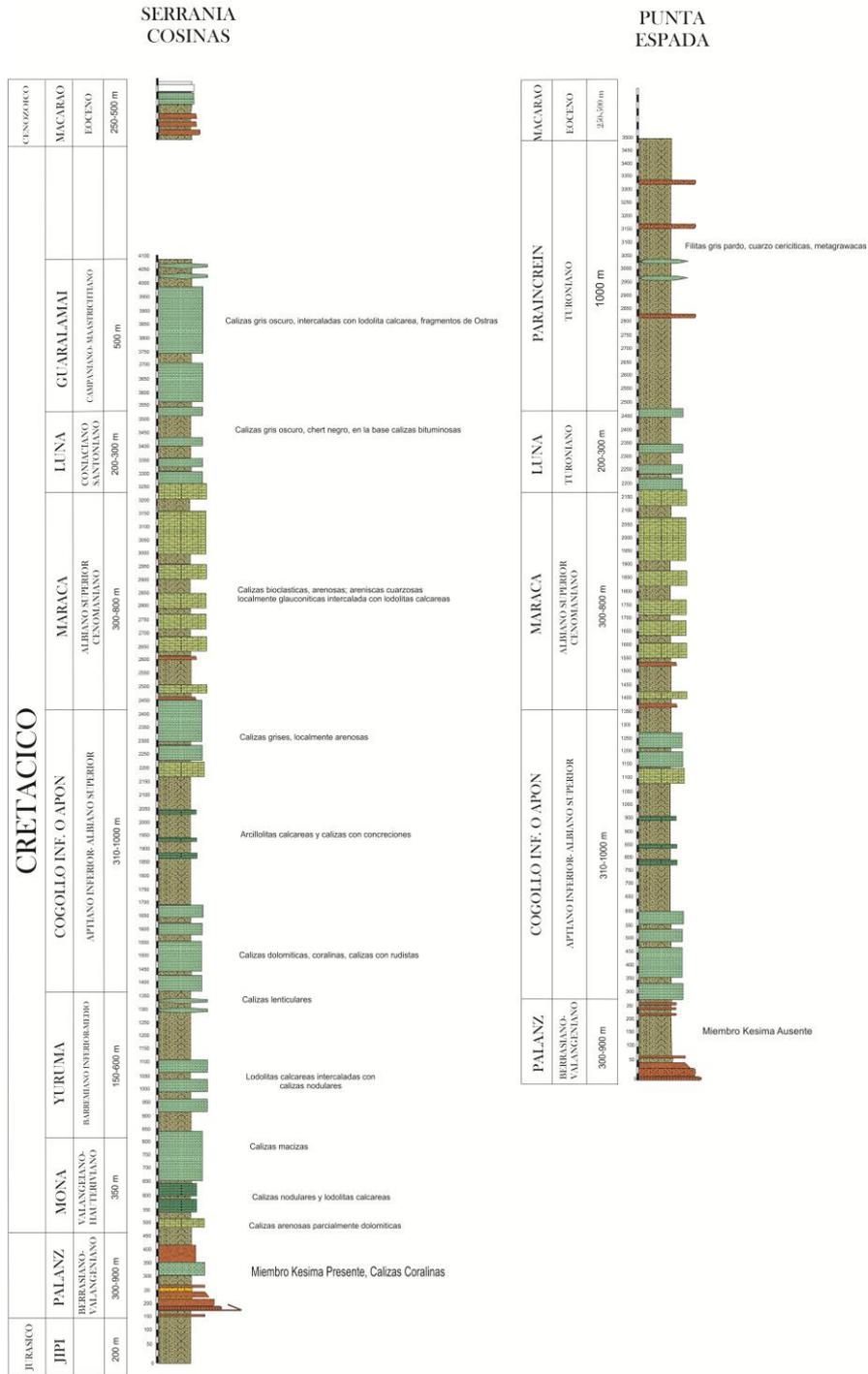


Figura 6. Columna estratigráfica generalizada de la Alta Guajira (Modificada de Ingeominas, de la Memoria explicativa y mapa geológico del Departamento de la Guajira, 2003).

2.3.4. Estado del conocimiento del Miembro Kesima de la Formación Palanz

Las primeras investigaciones geológicas previas en el área fueron desarrolladas principalmente en las décadas de 1950 y 1960. El primer trabajo que se reporta en la zona es el de Renz (1956), quien nombra las unidades de la Alta Guajira, donde emplea el término Formación Rionegro y Formación Kesima para hacer referencia a sedimentos del Cretácico Inferior que afloran en la Serranía de Cosinas. Rollins (1965), estima edades con base en estudios paleo y micropaleontológicos. Además propone ambientes de depositación realizando correlaciones litoestratigráficas con formaciones de la cuenca de Maracaibo en Venezuela.

Rollins (1965), basado en el trabajo de Renz (1956, 1960), realizó una descripción detallada de las unidades sedimentarias del Mesozoico y el Cenozoico. En sus trabajos complemento las descripciones de las unidades anteriormente mencionadas, propuso nuevas secciones y redefinió las unidades con los nombres, edades y posición estratigráfica vigentes actualmente, redefiniendo los límites de la Formación Palanz y degradando al rango de Miembro a la Formación Kesima propuesta por Renz (1960). Además describe un segmento clástico que Renz lo consideraba como del Jurásico Superior siendo realmente la base de la Formación Palanz.

La Formación Kesima, está constituida por calizas neríticas, grises muy fosilíferas alternadas con margas. En algunos sectores Renz (1960) reporta que las calizas neríticas han sido remplazadas por biohermas coralinas y algas que generan colinas sobresalientes. Renz (1960) propuso una edad para la Formación Kesima, que podría corresponder al Valanginiano – Hauteriviano de acuerdo con un fósil de *Trigonia lorentii* Dana.

Bürgl (1960) realizó una revisión de las unidades aflorantes en la Alta Guajira haciendo énfasis en la bioestratigrafía del Cretácico basado en el material paleontológico recolectado anteriormente por Renz (1956). Bürgl presenta gran diversidad de especies fósiles de telebratulidos, brachiopodos y fragmentos de corales que permiten asignar las edades de las formaciones propuestas por Renz (1956), asignándole así a la Formación Rionegro la edad de Valanginiano.

Para Rollins (1965), la Formación Palanz está constituida por segmentos arenosos divididos por calizas arrecifales coralinas y de algas de color gris oscuro, macizas y densas interdigitadas con arenitas calcáreas, margas “shales” calcáreos y biohermas del Miembro Kesima, las cuales Renz (1960) definía como calizas neríticas en la parte intermedia de la Formación Palanz, la parte inferior

está constituida por cuarzoarenitas de grano grueso y la parte superior por conglomerados y arenitas conglomeráticas arcóscicas con esporádicas cuarzoarenitas.

Salazar (2010), describió el Miembro Kesima dividiéndolo en tres facies en el sector de Trijajain donde la Facies A, la clasificó como oopesparitas de color gris claro, dispuestas en capas tabulares con estratificación planoparalela discontinua. La Facies B clasificada como bafflestone y biomicritas de foraminíferos, bivalvos y gasterópodos, compuesta por corales en posición de vida, sin estructura de estratificación y la Facies C, es nombrada como oopesparenitas y ooesparitas, dispuestas en capas gruesas con estratificación planoparalela. La edad propuesta por este autor corresponde al Hauteriviano por la asociación de la microfauna identificada en los análisis petrográficos.

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DEL MIEMBRO KESIMA
 EN EL SECTOR DE TRIJAJAIN, ESCALA 1:300**

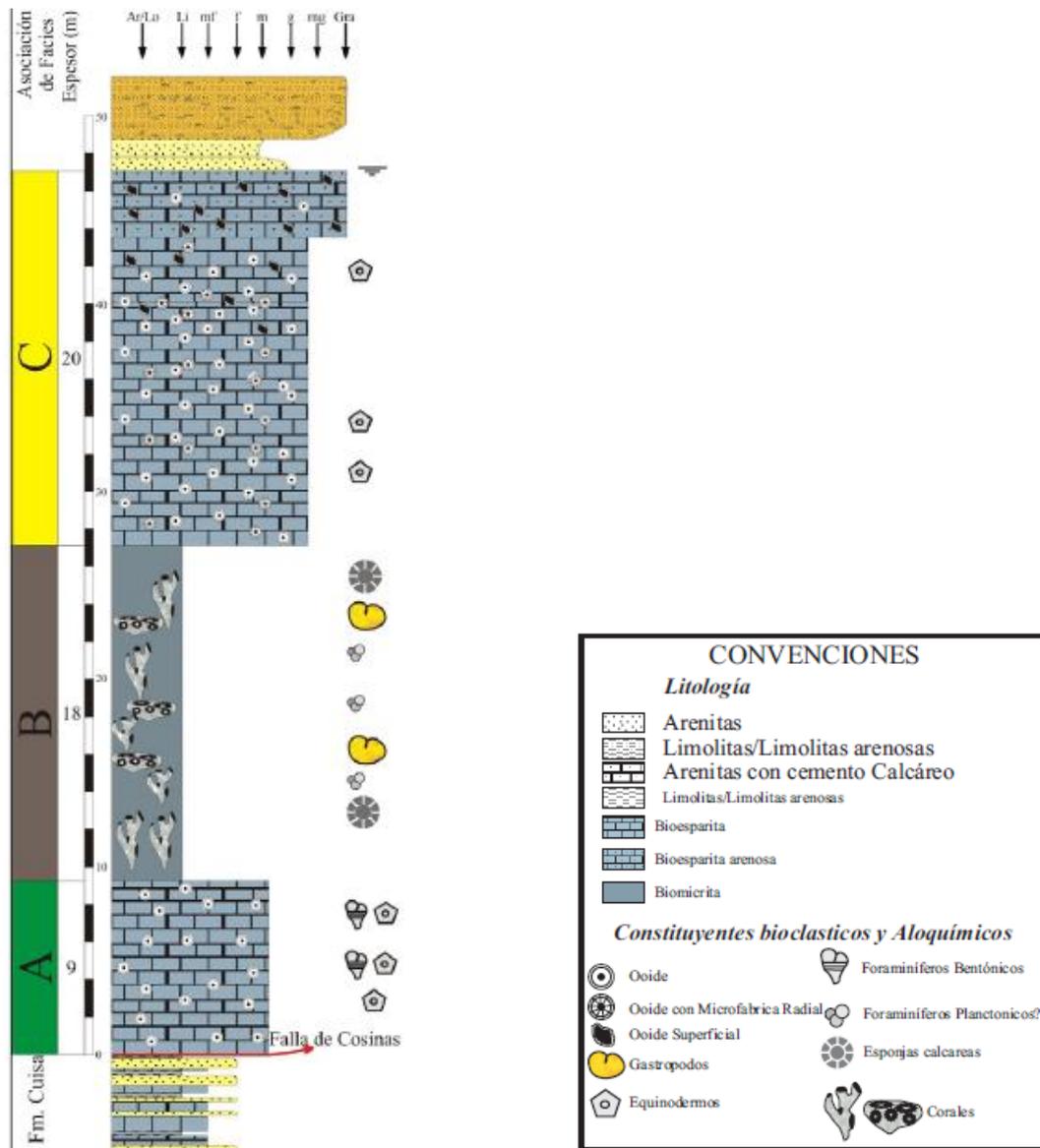


Figura 7. Columna estratigráfica generalizada del Miembro Kesima de la Fm. Palanz en el sector de Trijajain (Salazar, 2010).

3. QUIMIOESTRATIGRAFÍA ISOTÓPICA

La quimioestratigrafía de isótopos establece la distribución geoquímica de los elementos (variaciones químicas y fisicoquímicas) de las sucesiones sedimentarias, además determina la evolución y el significado estratigráfico y sedimentario de una cuenca (Berger & Vincent, 1981). El estudio quimioestratigráfico del Miembro Kesima de la Formación Palanz se orientó en el análisis de isótopos estables de C, O y Sr. La abundancia relativa de los isótopos de C, O y Sr en el agua de mar, depende de la disponibilidad y movilidad entre reservorios (agua de mar, materia orgánica, carbonatos, corteza continental), del tiempo de resistencia isotópica y de la presencia relativa de uno de los mecanismos de fraccionamiento isotópico (e.j. el secuestro preferencial de carbono ^{12}C por parte de los organismos marinos en el caso del carbono), entre otros.

3.1. Isotopía de $\delta^{13}\text{C}$

Las variaciones isotópicas en carbonatos reflejan la composición isotópica del agua del mar a partir de la cual se precipitaron. Estas variaciones pueden representar procesos que ocurren en la superficie terrestre y que afectan los ciclos biogeoquímicos, e.j. eventos anóxicos oceánicos globales (Hoefs, 1980). La isotopía de $\delta^{13}\text{C}$, es utilizada principalmente para determinar biogeoquímicos y paleo-oceanográficos que afectaron el ciclo del carbono en el océano. Los isótopos de carbono se miden normalmente en organismos carbonatados, como foraminíferos, ostrácodos, corales, moluscos, etc. No se pueden aplicar en organismos silíceos ya que éstos no llevan carbono en su estructura y también es posible medir la composición isotópica del carbono en la materia orgánica preservada en el sedimento (Einsele *et al.*, 1991).

El $\delta^{13}\text{C}$ en carbonatos se utiliza para calibrar ciclos globales del C en el tiempo geológico. Esta herramienta se basa en el hecho de que los organismos carbonatados toman el carbono directamente a partir del CO_2 del agua y en equilibrio con él. La temperatura de agua, la salinidad o el ciclo de almacenamiento de C, pueden traducirse por los cambios bruscos en los valores presentados por $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$, (Einsele *et al.*, 1991 en Hincapié y Moreno, 2010). La concentración de los isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ en carbonatos se realizó con respecto a un patrón conocido como Pee Dee Belemmite (PDB) del Cretácico. Este es utilizado porque los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ se acercan a los valores de las calizas marinas, (Rollinson *et al.*, 1993 en Hincapié y Moreno, 2010).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los carbonatos son cercanos a cero. Las excursiones positivas de los valores de $\delta^{13}\text{C}$ reflejan cambios globales en el ciclo del C y representan incremento en el enterramiento de C orgánico, Weissert *et al.*, 1998 en (Hincapié y Moreno, 2010). Este puede generarse por incremento en la productividad marina, condiciones de baja oxigenación en aguas profundas e intermedias y por altas tasas de sedimentación.

Las excursiones negativas de los valores $\delta^{13}\text{C}$ se deben a transgresiones marinas, donde se presenta erosión y retrabajamiento de sedimentos. La liberación del isótopo se debe a la erosión y oxidación de la materia orgánica acumulada en los sedimentos que dejan las excursiones positivas, (Weissert *et al.*, 1998, en Hincapié y Moreno, 2010). Excursiones negativas han sido asociadas a importantes crisis biológicas, e.j. las extinciones del Pérmico-Triásico y Cretáceo-Terciario. Estas excursiones negativas ocurren a falta de la bomba biológica encargada de secuestrar el isótopo ^{12}C el cual es preferencialmente incorporado en la materia orgánica (Hoefs, 1980).

3.2. Isotopía de $\delta^{18}\text{O}$

La relación entre los isótopos de oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) en sedimentos marinos es muy utilizada en paleoceanografía para evaluar diferentes procesos como son la temperatura del agua del mar, salinidad, volumen de hielo terrestre (polos y montañas), etc. Esta relación es medida generalmente en conchas de carbonatos de organismos marinos, como foraminíferos, corales, moluscos, entre otros (Rosman & Taylor, 1998).

El fundamento de este método consiste en que el organismo toma el oxígeno que necesita para condensar los cristales de calcita de su concha del oxígeno existente en el agua del mar, con el que logra un equilibrio entre la composición isotópica del agua del mar y el carbonato que sintetiza el organismo al formar su concha. Los valores isotópicos de una concha fósil varían en función de la composición isotópica del agua del mar en el momento en que vivió ese organismo y de la temperatura existente en el agua durante la etapa de segregación de la concha. Por tanto a la hora de interpretar un resultado isotópico se debe determinar cómo era la composición isotópica del agua del mar y cuál era su temperatura (Hoefs, 1980).

La composición isotópica del agua del mar varía en función del volumen de hielo almacenado en los polos y de la relación entre precipitaciones y evaporación, aspectos que depende naturalmente del clima y condiciones locales (Rosman & Taylor, 1998). El factor de la temperatura no condiciona la composición isotópica del agua, sino que determina la composición isotópica de O del carbonato que precipita en equilibrio con la masa de agua. La composición isotópica del carbonato y del agua del mar es diferente, y esa diferencia crece a medida que la temperatura decrece. Por tal motivo, aunque la composición isotópica del agua no varíe, a medida que ésta se enfría la composición isotópica del carbonato que precipita en ella es cada vez más alta, es decir valores mayores de $\delta^{18}\text{O}$. En general los carbonatos se precipitan en equilibrio químico-isotópico, con el agua marina, por lo que estos preservan la composición isotópica del agua marina al momento de la sedimentación. Luego por procesos post-depositacionales (diagénesis) tienden a alterar la composición isotópica de carbono y oxígeno en los carbonatos, alterando el registro isotópico original acompañado por cambios mineralógicos, texturales presentes desde la sedimentación hasta la exhumación de la roca (Veizer & Hoefs, 1976).

3.3. Isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

El estroncio es un metal de comportamiento químico y radio iónico similar al calcio, sin embargo tienen diferencias como las constantes de ionización y productos de solubilidad. Parte de Sr terrestre proviene de la desintegración del rubidio en rocas continentales, las rocas ígneas con mayores valores de Rb/Sr son las pegmatitas ya que las plagioclasas retienen el Sr en la diferenciación magmática. Posteriormente en los procesos de meteorización el Sr igualmente que el Ca son removidos de las rocas y transportados hacia los ríos en solución o en partículas minerales, enriqueciendo el agua del océano y las arcillas marinas (Reading, 1996), donde posteriormente vuelve a ser removido por organismos marinos para la construcción de sus esqueletos y los que quedaron atrapados en las rocas son incorporados a procesos erosivos debido al levantamiento de montañas (Hincapié & Moreno, 2010).

La corteza continental tiene una relación más alta de Rb/Sr que la corteza oceánica. La meteorización química en los continentes genera más Sr radiogénico que la generada por los basaltos de fondos oceánicos. El valor promedio de Sr en aguas fluviales es de 0.712 mientras que en fuentes termales de piso oceánico es de 0.703, Ledeer, 1999 en (Hincapié & Moreno, 2010).

4. METODOS

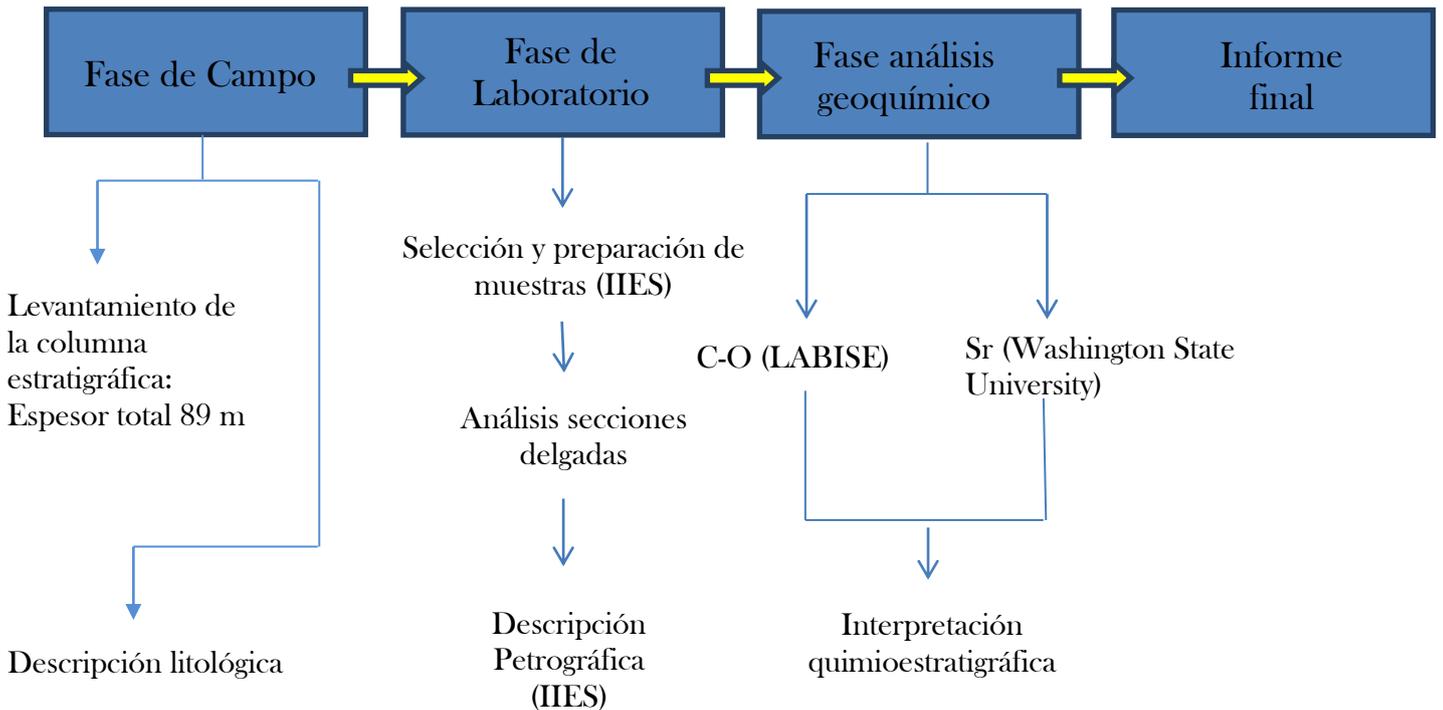


Figura 8. Diagrama de flujo con los métodos desarrollados durante el proyecto.

4.1. Fase de Campo

Para un mejor entendimiento de la zona de investigación se realizó un estudio bibliográfico previo al campo, en el cual se recopiló información de trabajos anteriores realizados por Renz (1956 y 1960), Rollins (1960, 1965) y Bürgl (1960) principalmente.

La columna estratigráfica se realizó en el Miembro Kesima de la Formación Palanz en el sector de Trijajain localizado con coordenadas planas origen Bogotá 955204 N, 1803187 E con una altura de 88 msnm a la base y 955217 N, 1803089 E con altura de 117 msnm al tope, y un espesor de 89 m. El levantamiento de la misma se realizó utilizando el bastón de Jacob a escala 1:100. En el campo se determinaron el tipo de empaquetamiento y las principales estructuras sedimentarias. Los espesores de las capas, unidos a la diversidad de facies sedimentarias, sirvió para determinar los ambientes y generar un modelo depositacional para los carbonatos estudiados clasificados según Folk (1962) y Embry & Klovan (1971). En total se recolectaron 20 muestras durante el levantamiento de la columna estratigráfica tomadas en intervalos irregulares para su posterior análisis.

4.2. Fase de Laboratorio

Para el trabajo se realizaron 10 secciones delgadas teniendo en cuenta las características más relevantes: texturales y/o composicionales, las cuales fueron teñidas con alizarina roja para determinar la presencia de dolomita e impregnadas con epóxido azul para el análisis de porosidad. Con el fin de clasificar los fragmentos biogénicos, aloquímicos, tipo de cemento y matriz para establecer la diagénesis y porosidad asociada a la textura original de los carbonatos a través de petrografía clásica. Para el análisis de las secciones delgadas se caracterizó 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. Posteriormente se utilizó un formato en el cual se especifica la cantidad de matriz y cemento incluyendo el material que está reemplazando los fragmentos fósiles para la caracterización textural a través del conteo de 100 puntos. Por otra parte para la caracterización del armazón se hace un conteo de 290 puntos donde se diferencian los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos. Por último se realizó un tercer conteo de 100 puntos para determinar la caracterización de fábrica primaria de acumulación diferenciando el armazón calcáreo, el armazón siliciclástico, material intersticial primario (matriz- cemento). Se procedió a clasificar la roca petrográficamente según Dunham, (1962) y Embry & Klovan (1971), (Figuras 7 y 8). Finalmente se procede describir su historia diagenética según los procesos encontrados en la sección y describir la porosidad encontrado en ella. (Anexo 1).

4.3. Fase Análisis Geoquímicos

Para los análisis isotópicos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se tomaron cinco muestras distribuidas desde la base al tope de la columna con buen registro de material fósil, tomado de conchas de bivalvos, foraminíferos planctónicos y oncolitos microperforados garantizando así que no estén afectados por procesos diagenéticos.

La preparación de muestras se realizó por medio de microdrilling, en los laboratorios del Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES) de la Universidad de Caldas, donde permitió coleccionar muestras de carbonatos libres de superficies de meteorización, fracturas y facies recristalizadas que pudiesen alterar la calidad y los datos arrojados en los análisis isotópicos de C, O y Sr.

Se realizaron análisis geoquímicos de isótopos de C, O y Sr con el fin de contribuir al cuadro cronoeestratigráfico mediante quimioestratigrafía de estos elementos para el Miembro Kesima, además de permitir calibrar los eventos paleoceanográficos y paleoclimáticos ocurridos durante el Cretácico de esta zona esperando identificar el evento anóxico Weissert en esta parte de Colombia y complementar el análisis diagenético realizado a partir de sección delgada. Para el análisis de isótopos de C y O se tomaron muestras de carbonato pulverizadas, reaccionándolo con H_3PO_4 al 100% durante 12 horas a 25°C . El CO_2 liberado de esta reacción es separado en una línea de alta extracción por limpieza criogénica, mediante el método propuesto por Craig (1957). Las muestras de CO_2 fueron analizadas para isótopos de ^{13}C y ^{18}O en un multicolector de doble entrada con fuente de gas en un espectrómetro de masas (SIRA II). Este proceso fue realizado en el laboratorio de isótopos estables (LABISE), Departamento de Geología, de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil.

Los datos obtenidos de la composición isotópica en las muestras analizadas se reportan en unidades internacionales delta per mil ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$) haciendo referencia a la composición isotópica estándar *Belemnitella Americana* de la Formación Pee Dee del Cretácico, en Carolina del Sur, Estados Unidos.

Para el análisis de Sr se tomaron muestras de conchas de bivalvos, muestras de foraminíferos planctónicos y oncolitos microperforados. Para determinar la composición de Sr se tomaron entre 0,1 y 1 gr de carbonato. Se disolvieron 5 mg de carbonato pulverizado en ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$) ultralimpio a 0,5 M se lixivió y centrifugó para obtener el Sr puro. Posteriormente el Rb y el Sr son separados por soluciones lixiviadas y técnicas estándar de intercambio iónico.

Luego se usaron entre 500 a 1000 ng de Sr puro, los cuales fueron cargados en filamentos de Ta, junto con 1 μm de ácido ortofosfórico (H_3PO_4), para análisis en un espectrómetro de masa de ionización térmica (TIMS). Análisis de elementos mayores y traza de las muestras de carbonatos fueron realizados usando un espectrómetro de masas acoplado a plasma (ICP-MS), Este proceso fue realizado en la Washington State University, USA.

4.4 Fase final.

Etapa donde se analizaron y se interpretaron los datos obtenidos en campo y de laboratorio. Los análisis petrográficos fueron utilizados para interpretar ambientes de depositación y caracterizar diagenéticamente las rocas carbonáticas del Miembro Kesima. Los análisis de quimioestratigrafía 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 eventos anóxicos y la edad de depositación de las sucesiones carbonáticas estudiadas.

5. RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE CAMPO

La sucesión inicia con un *packstone* intercalado con *wackstone* a los 7m de la columna con un espesor de 1.3m y el paquete de *packstone* un espesor aproximado de 15m conteniendo fragmentos fósiles de corales, bivalvos, algas, briozoos, equinodermos y ocasionalmente ooides de tamaño milimétricos. A los 16m de la sección se identifica un estrato clasificado como *mudstone* con un espesor de 1.3m con abundantes *Thallasinoides* siendo el resultado de la disolución parcial del carbonato. Esta capa se encuentra suprayacida por un paquete de *grainstone* con ooides, fragmentos de bivalvos y corales que abarcan un espesor de 3m. Seguido una capa gruesa de 9.5m de *packstone* rico en bivalvos, equinodermos y corales en posición de vida. En el metro 31 de la base se encuentra un *bafflestone* con espesor aproximado de 4m, supayacido por una intercalación entre *grainstone* y *wackstone* con espesores que varían entre 1 y 7m. A los 35m la sección se encuentra cubierta. Al tope se evidencia una capa de 20m de *grainstone* con gran abundancia de oolitos.

Secuencia Estratigráfica del Miembro Kesima en la Formación Palanz

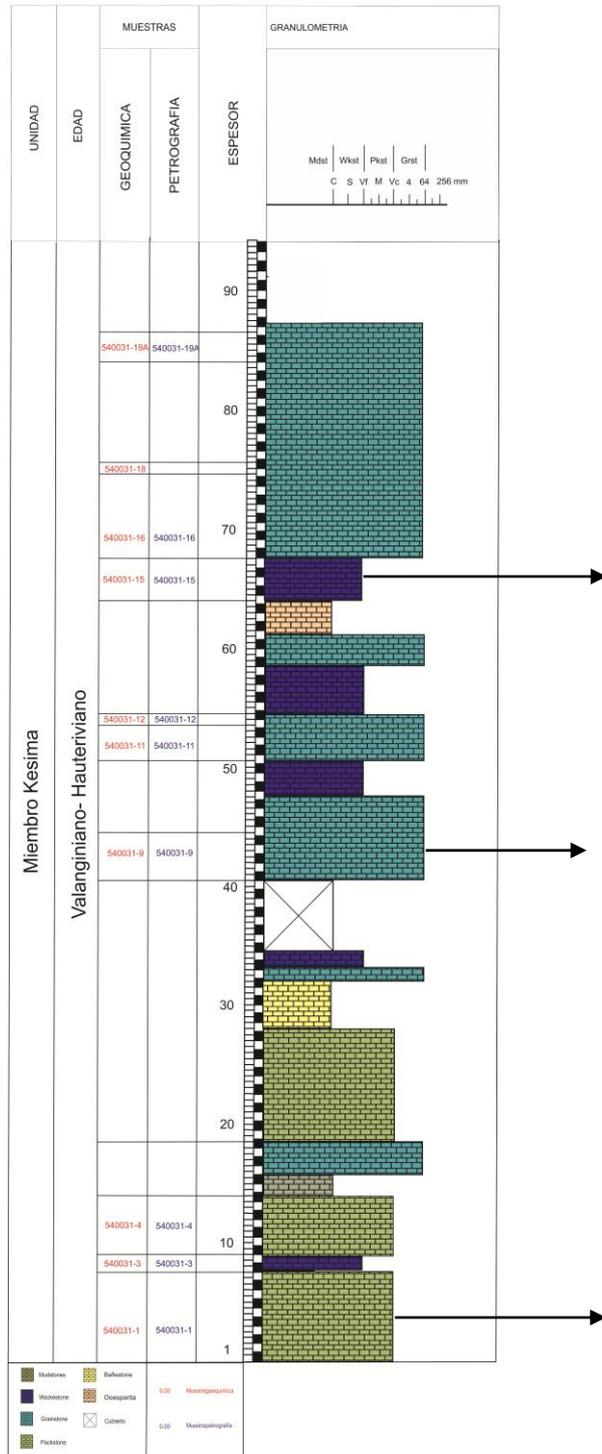


Figura 9. Columna estratigráfica del Miembro Kesima de la Formación Palanz y algunas fotografías de muestras recolectadas en campo.

5.2. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MIEMBRO KESIMA

El trabajo petrográfico se realizó a partir de secciones delgadas de las sucesiones carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz, elaborando un conteo de los aloquímicos para cada muestra permitiendo determinar el porcentaje de la caracterización textural, caracterización de armazón y caracterización de fábrica primaria de acumulación de cada uno de los materiales identificados en la petrografía, la caracterización diagenética, clasificación petrográfica y el tipo de porosidad. Las microfotografías de cada una de las secciones delgadas se pueden observar en el capítulo de anexos con los formatos y sus respectivas descripciones (Figura 10).

En las secciones delgadas analizadas, se identificó gran diversidad de aloquímicos, donde se reconocen principalmente equinodermos, ooides, fragmento de moluscos, briozoos, algas verdes, corales, entre otros (Figura 11). Cada una de las secciones delgadas posee fragmentos fósiles distintivos de base a techo. La mayoría de estos se encuentran en mal estado debido a la actividad diagenética y recristalización. Los procesos diagenéticos más comunes son la silicificación, micritización, cementación, estilolitización afectando considerablemente la roca y no permiten un buen reconocimiento de los microfósiles.

En la base de la sucesión se encuentra en su mayoría espículas de equinodermos, fragmentos de moluscos (muchos de ellos recristalizados por esparita) y cortados por fracturas (anexo 1.2), a medida que se asciende en la sucesión se encuentran fragmentos originales de equinodermos con procesos de silicificación y espículas deformadas reemplazadas por sílice y esparita tipo equant (anexo 1.3 y 1.4) fragmentos de moluscos en cortes longitudinales donde se reconocen bivalvos y gasterópodos. La aparición de briozoos, foraminíferos y pellets es muy baja. Se encuentran intraclastos rodeados de material ferruginoso (estilolitización) y esparita, observándose también fracturas asociadas a porosidad (anexos 1.3 y 1.4).

La parte media de la sección, fundamentalmente contiene fragmentos de equinodermos, espículas deformadas y recristalizadas con esparita, corales en diferentes cortes muestran rupturas debido a fracturas o estilolitización y algunos gasterópodos distribuidos en la sección.

El aumento de aloquímicos no fosilíferos como ooides, peloides deformados y recristalizados, pellets contenidos en una matriz micrítica (Figura 11), fragmentos de bioclastos como algas verdes en el núcleo de ooides y algunos de ellos con procesos diagenéticos, también se da la aparición de algunos foraminíferos se evidencian a medida que se asciende en la sucesión.

En la parte superior de la sección se observaron aloquímicos recristalizados por esparita tipo equant y fibrosa en algunos casos, corales que superan los 2mm recristalizados por microesparita y se identifican septos de los mismos reemplazados por micrita, acompañados de briozoos adheridos a ellos en contacto suturado (anexo 1.8). Además se identifican equinodermos, moluscos, briozoos de menor tamaño y gran abundancia de ooides, clasificando la roca como un bafflestone, sin embargo también se aprecian intraclastos, algas verdes y algunos fósiles sin identificar debido a la alta diagénesis presente (anexo 1.9).

El tope de la columna está marcado por la gran abundancia de aloquímicos no fosilíferos predominantes en diferentes rasgos; pellets, ooides y poliooides concéntricos ligeramente irregulares, algunos de ellos con núcleo de algas verdes, bioclastos de fragmentos y espículas de equinodermos (anexo 1.10 y 1.11). La porosidad encontrada está asociada a fracturas, porosidades intrapartícula, interpartícula y moldica no muy alta. En general los contactos más representativos son cóncavo-convexo entre ooides (anexo 1.10 y 1.11), contacto flotante entre equinodermos, bivalvos y ooides (anexo 1.9) y en algunos casos puntuales suturados entre equinodermos (anexo 1.7 y 1.9).

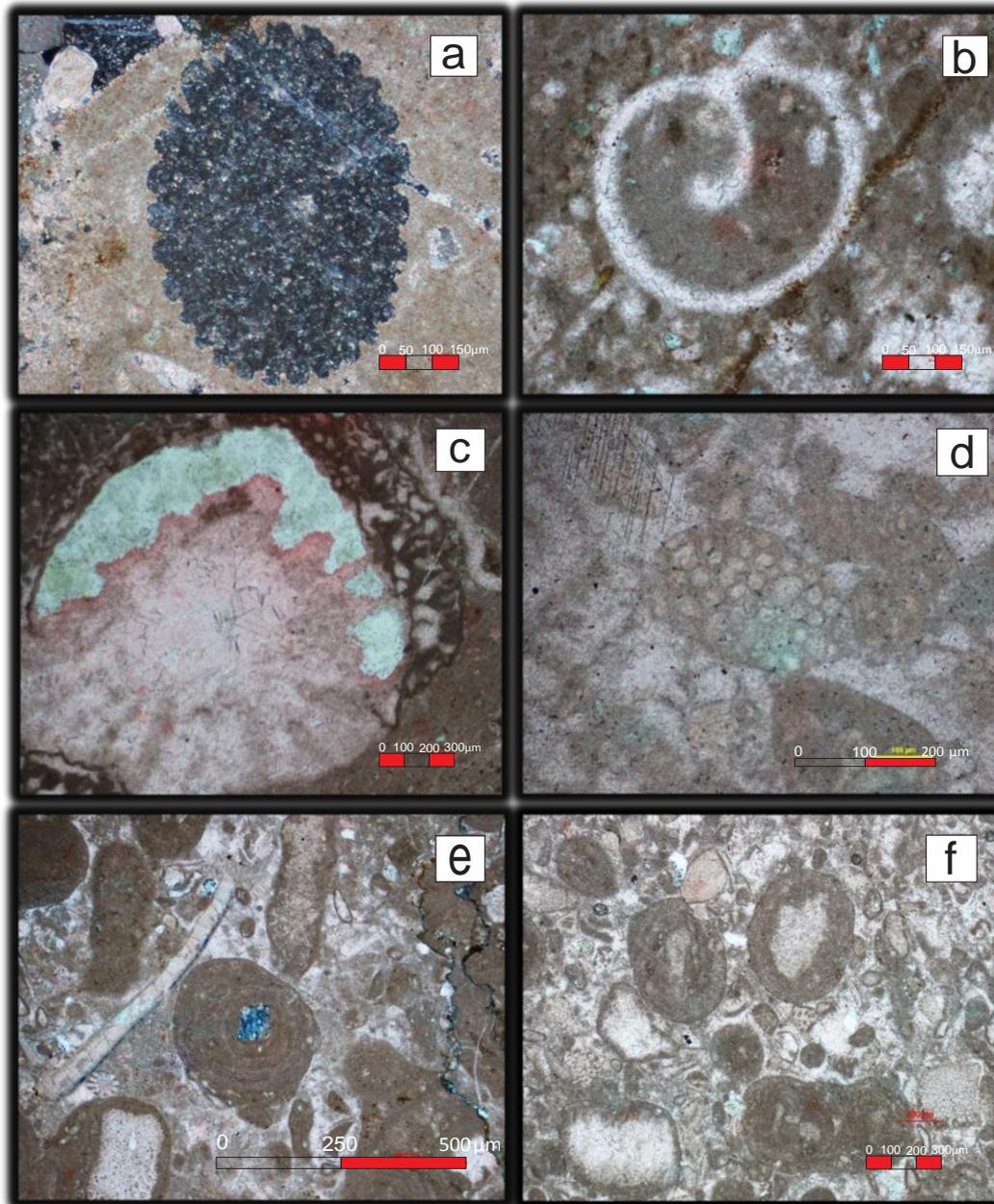


Figura 10. Características petrográficas y algunos aloquímicos representativos observados en las secciones delgadas del Miembro Kesima. a). Espícula de equinodermo en PPX, cemento micrítico y porosidad asociada a pequeñas fracturas, **b).** Gasterópodo contenido en matriz micrítica en PPX, **c).** Coral que se superan los 2mm, recristalizado por microesparita y presenta silicificación en PPL, **d).** Intraclastos, alga verde y algunos fósiles sin identificar debido a la alta diagénesis en PPL, **e).** Pellets, ooides concéntricos, algunos de ellos con núcleo de bioclastos y espículas de equinodermos, además se observan moluscos que hacen parte de la composición de la roca, la porosidad está asociada a las fracturas con superficie estilolítica cortando algunos bioclastos y porosidad en el núcleo de los ooides en PPX, **f).** Pellets, ooides y poliooides concéntricos, algunos de ellos con núcleo de bioclastos siendo reemplazados por esparita en PPL.

5.3. RESULTADOS ISOTÓPICOS DE $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ PARA EL MIEMBRO KESIMA

La siguiente tabla muestra los datos obtenidos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y La figura 12 muestra la columna generalizada del Miembro Kesima con la curva de composición isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

| Muestras | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ |
|-----------|---------------------------------|
| 540031-1 | 0.707350 |
| 540031-3 | |
| 540031-4 | |
| 540031-9 | |
| 540031-11 | 0,7073456 |
| 540031-12 | 0.7074382 |
| 540031-15 | |
| 540031-16 | 0.707285 |
| 540031-18 | |
| 540031-19 | 0,7073996 |

Tabla 1. Datos quimioestratigráficos de isótopos de estroncio de las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.

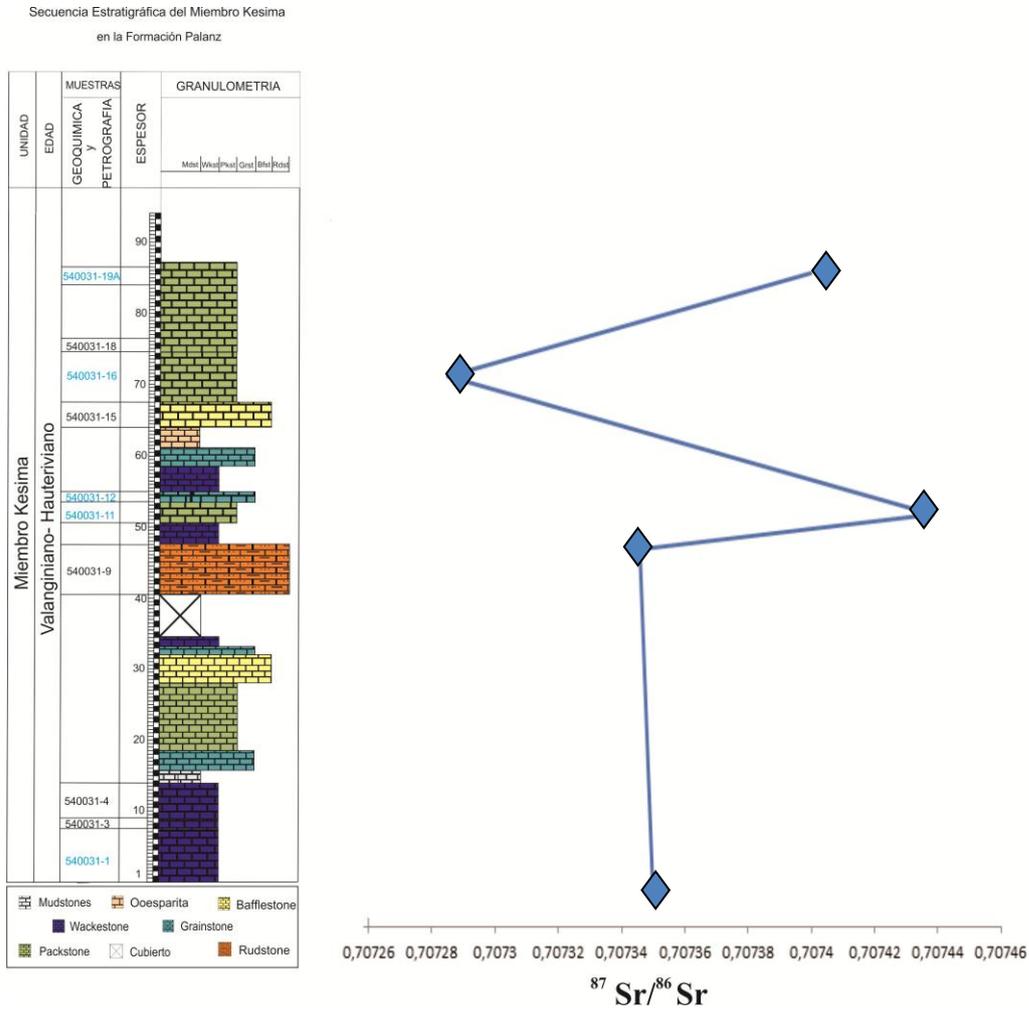


Figura 12. Grafica de los datos obtenidos a partir de análisis quimioestratigráficos de isótopos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

5.4. RESULTADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ PARA EL MIEMBRO KESIMA

La figura 13 muestra la curva local elaborada con los resultados obtenidos en el análisis de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ para el Miembro Kesima. Adicionalmente la figura muestra la columna estratigráfica del área y las muestras que fueron sometidas al análisis de isotopía. En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$.

| Muestra | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 540031,1 | 0,29 | -6,93 |
| 540031,3 | -0,22 | -6,21 |
| 540031,4 | 0,74 | -5,95 |
| 540031,9 | 1,17 | -5,58 |
| 540031,11 | 1,71 | -5,44 |
| 540031,12 | 1,86 | -5,57 |
| 540031,15 | 1,5 | -5,23 |
| 540031,16 | -0,73 | -5,83 |
| 540031,18 | 1,51 | -5,09 |
| 540031.19 ^a | 0,59 | -6,65 |

Tabla 2. Datos quimioestratigráficos de isótopos de carbono y oxígeno de las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.

Secuencia Estratigráfica del Miembro Kesima en la Formación Palanz

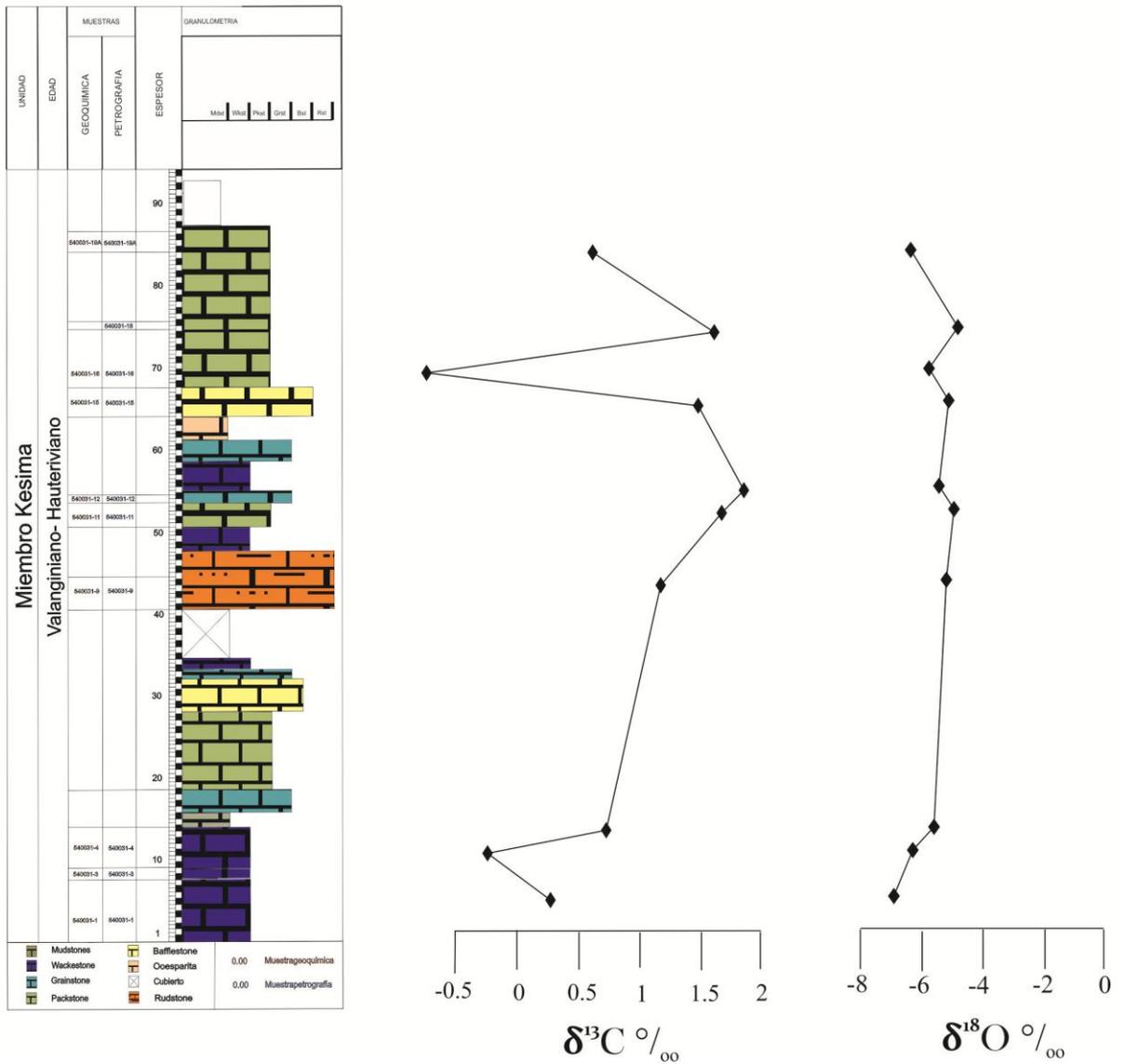


Figura 13. Columna estratigráfica del Miembro Kesima con las gráficas de los datos obtenidos a partir de los análisis quimioestratigráficos los isótopos de ^{13}C y ^{18}O .

6. INTERPRETACIÓN

6.1. Interpretación ambiental del Miembro Kesima

La sucesión estratigráfica descrita inicia con un paquete de *wackstone* con un espesor aproximado de 14 m desde la base, presentado microfósiles marinos como (equinodermos en mayor proporción, moluscos y briozoos), asociados generalmente a zonas someras y aguas tranquilas (Flügel, 2004) (Figura 14). A medida que se avanza en la sucesión y de acuerdo a las secciones analizadas se encuentra una roca clasificada como *rudstone* a 40 m, indicando un aumento en el nivel del mar y por lo tanto de energía (Flügel, 2004), mostrando principalmente espículas de equinodermos, pellets y ooides. A los 50 m de la base la roca es clasificada como *packstone* con abundantes pellets y ooides y poca ocurrencia de equinodermos y moluscos, suprayacido por un *grainstone* conteniendo gran cantidad de ooides, pocos moluscos y equinodermos y aporte de material terrígeno como cuarzo (en muy baja proporción), esta sedimentación se presenta en ambientes de plataforma abierta somera de moderada a alta energía (Flügel, 2004). Estratigráficamente más arriba en la sección, entre los 64 y 68 m la roca es clasificada como *bafflestone* con corales y briozoos de gran tamaño. Este tipo de roca indica zonas arrecifales con predominio de olas y promedios de aguas de alta energía (Flügel, 2004). Esta zona de *bafflestone* es seguida de un paquete de *packstone* con 20 m de espesor al tope se la sucesión, presentando ooides en gran cantidad seguido de pellets, equinodermos, moluscos y algas, las cuales sugieren una sedimentación en una plataforma interna bajo la acción de oleaje.

De acuerdo a las características estratigráficas y las variaciones de ambientes sedimentológicos arriba evidenciados, puede deducirse un aumento en el nivel del mar. La presencia de *wackstone* en la base de la sucesión indica sedimentación de grano fino en la parte más profunda de la plataforma (figura 14). Posteriormente se evidencia un aumento de energía (*rudstone*) seguido de una tendencia granodecreciente vinculado a una transición de una zona relativamente profunda a una un poco más somera (*packstone*), continuando con una secuencia *grainstone- bafflestone* asociada posiblemente a un leve aumento en el nivel del mar seguido de un descenso progresivo del mismo al encontrar un *packstone* al tope de la sucesión, indicando somerización de la cuenca (figura 14).

Por lo anteriormente mencionado se establece para el Miembro Kesima un ambiente marino somero de alta energía generado por acción de olas o corrientes de marea evidenciado por el retrabajamiento de los microfósiles encontrados y variación lateral de facies coincidiendo con Salazar, (2010).

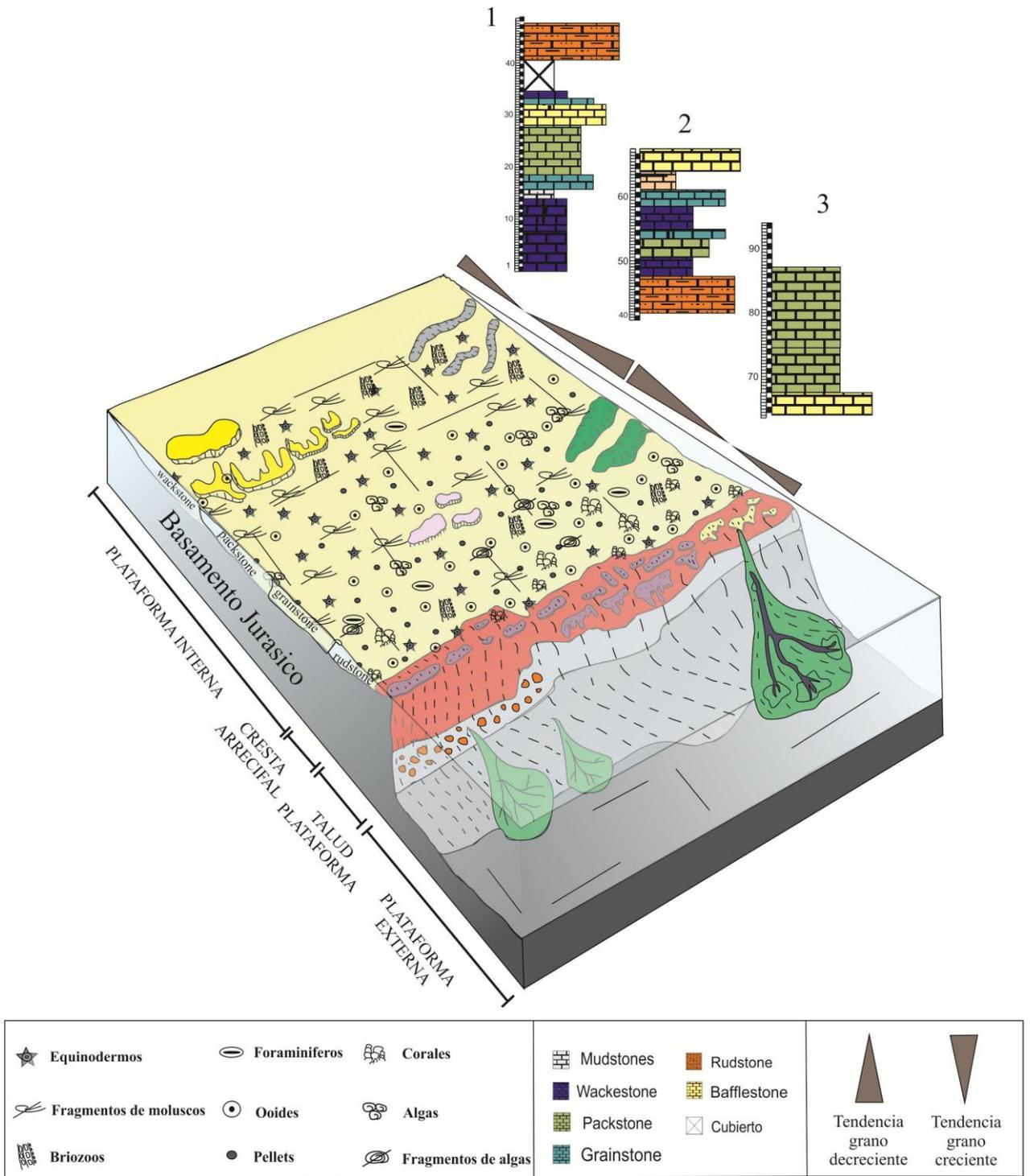


Figura 14. Interpretación del posible ambiente depositacional de los carbonatos del Miembro Kesima de la Fm. Palanz.

6.2. QUIMIOESTRATIGRAFÍA

6.2.1 Edad

Las muestras analizadas con isotopía de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arrojaron valores correspondientes entre 0.707285 y 0.7074382 respectivamente (Tabla 1). La preservación de los valores del agua del mar se corrobora basados en la falta de correlación entre los valores Mn/Sr y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Figura 15). Los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ se graficaron en la curva global de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Bralower *et al.* 1997) (Figura 16), teniendo dos posibilidades en edades como Albiano inferior o Valanginiano- Hauteriviano, sin embargo con estudios previos en bioestratigrafía se pudo corroborar la edad de Valanginiano- Hauteriviano para el Miembro Kesima debido a la homogeneidad de las edades arrojadas por los diferentes autores (Tabla 3).

| Autor | Dataciones bioestratigráficos | Edad |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| Renz, O (1956) | Bivalvos (<i>Trigonia Lorentii</i> Dana) | Valanginiano - Hauteriviano |
| Rollins, J (1960) | Telebratulidos, Brachiopodos y fragmentos de corales | Berriasiano - Valanginiano |
| Salazar, E, A (2010) | Foraminíferos bentónicos y corales esclerectinidos faceloides | Hauteriviano |
| Este trabajo (2013) | Isótopos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | Valanginiano - Hauteriviano |

Tabla 3. Interpretación bioestratigráfica de diferentes autores para datar las rocas carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.

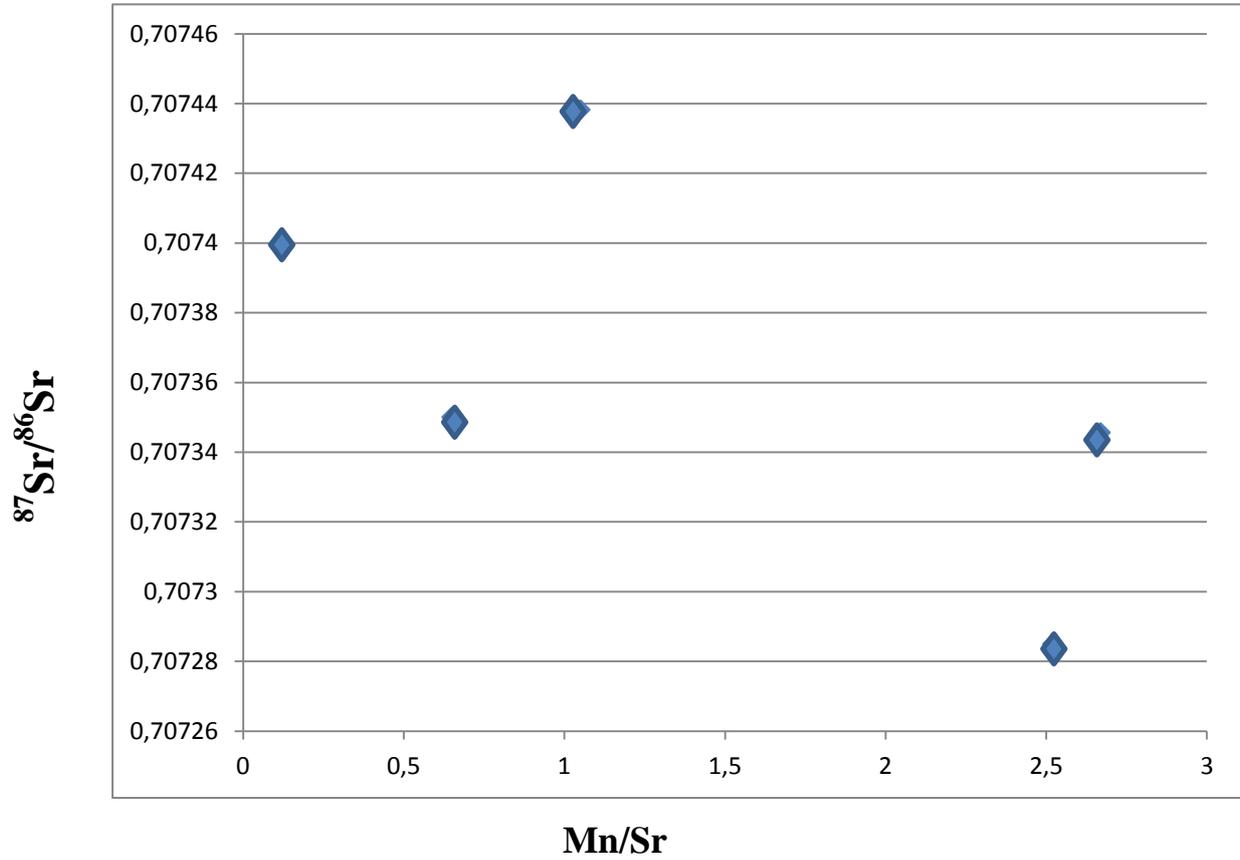


Figura 15. Grafica con los valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs Mn/Sr, mostrando una correlación negativa. Esto sugiere una preservación de los valores isotópicos originales de Sr.

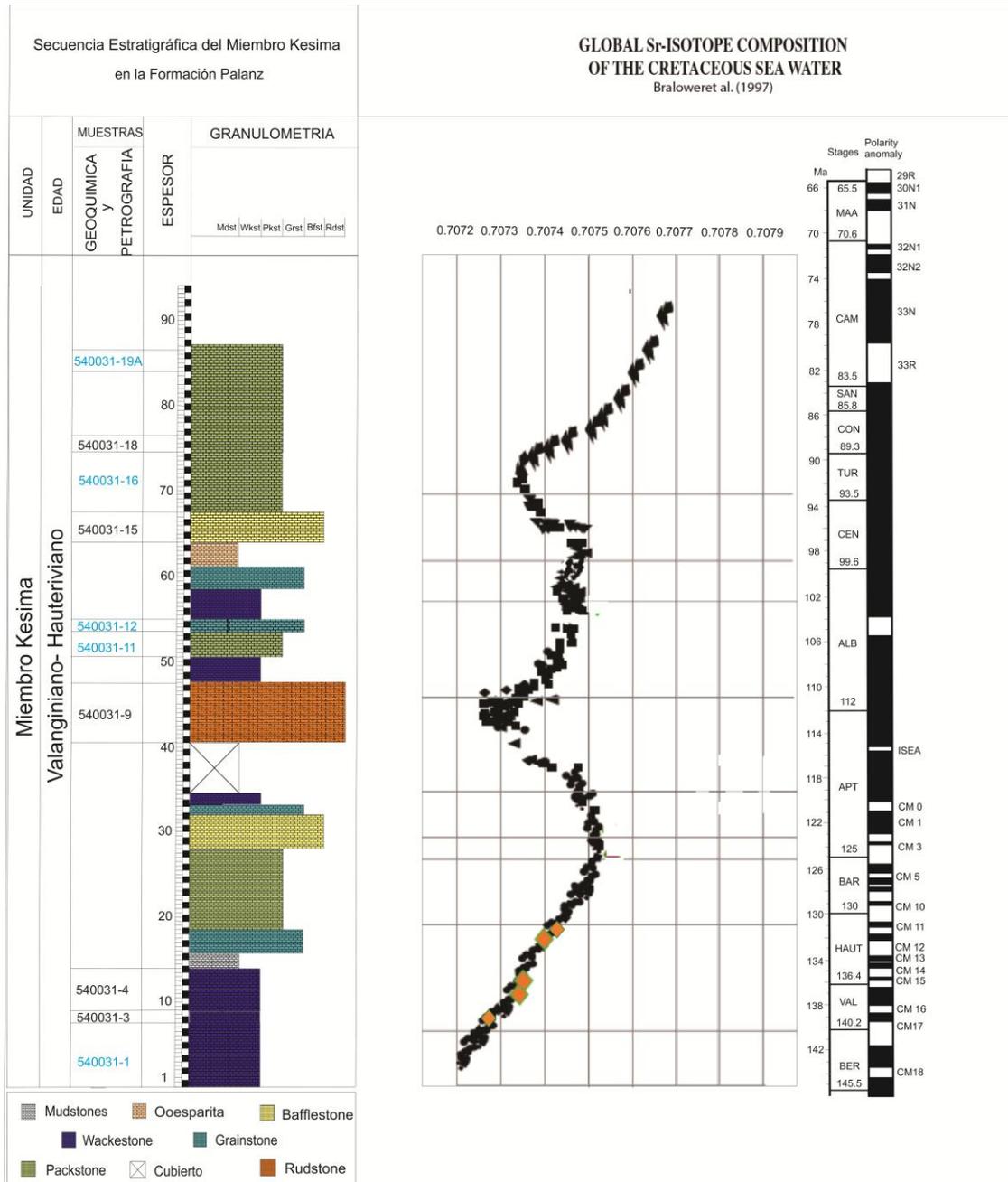


Figura 16. Columna generalizada del Miembro Kesima con la curva local de composición isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ del agua de mar en el Cretácico (Bralower et al., 1997). Los rombos amarillos indican las muestras estudiadas.

6.2.2. Identificación del evento anóxico oceánico del Cretácico Inferior (Weissert)

Los valores arrojados en los análisis isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ para el Miembro Kesima fluctúan entre $-5,09\text{‰}$ y $-6,93\text{‰}$ mostrando una diferencia de 2 unidades aproximadamente. Estos valores son muy altos y tienen poca diferencia. De acuerdo con esto se puede deducir que en el Miembro Kesima hay poca afectación diagenética de los isótopos debido a que los valores están por encima de -8‰ , ya que en general si los isótopos estuvieran alterados presentarían condiciones isotópicas de $\delta^{18}\text{O}$ por debajo de -10‰ .

La figura 13 muestra que las curvas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$ presentan una tendencia muy paralela. La curva de ^{13}C muestra una excursión positiva en constante incremento con valores desde $0,29\text{‰}$ a la base hasta la muestra número 540031-12 con un valor de $1,86\text{‰}$, con excepción de las muestras 540031-3 y 540031-16 con valores negativos de $-0,22\text{‰}$ y $-0,73\text{‰}$ respectivamente.

Análisis de multielementos y elementos traza fueron realizados para determinar alteraciones diagenéticas en las muestras. De acuerdo a los valores obtenidos de Mg/Ca nos indican que efectivamente no existe dolomita en esta sucesión y los niveles altos de silicificación coinciden con alto contenido de Si.

Los valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$ asociados a altos contenidos de Mn están indicando alteración diagenética. Los valores de Mn/Sr que se tienen por encima de 2.5 indican afectación diagenética, mientras que los que se encuentran por debajo de este valor están conservados. La presencia de un valor tan bajo en esta secuencia ($-0,73\text{‰}$ de $\delta^{13}\text{C}$) se debe a una alteración diagenética apoyados en el valor de Mn/Sr (Tabla 6). Estas muestras presentan valores negativos de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, pero no presentan valores negativos de $\delta^{18}\text{O}$. Valores negativos $\delta^{13}\text{C}$ podrían representar una afectación diagenética de las muestras (Hoefs, 1976). Esto es corroborado por los altos valores de Mn/Sr de las muestras con valores bajos de $\delta^{13}\text{C}$.

De otro lado, la tendencia general de la curva es positiva lo que nos puede estar indicando una perturbación original en el ciclo del carbono durante la depositación del Miembro Kesima. Durante el Valanginiense-Hauteriviense ocurrió un evento anóxico (evento Weissert) caracterizado por valores entre 0 y 2‰ de $\delta^{13}\text{C}$. Se propone que el Miembro Kesima de la Formación Palanz registró este evento. El evento Weissert que se caracterizó por alta productividad orgánica en los océanos, la cual resultó en incremento de utilización de oxígeno y por tanto en una disminución en el oxígeno oceánico.

El aumento en la productividad y en la disminución en el oxígeno oceánico están evidenciados por los altos contenidos de Ba, P y los altos niveles de Th/U coincidiendo con la excursión positiva de C. El Uranio generalmente migra hacia las partes anóxicas y por lo tanto el agua de mar queda pobre o nula de este elemento, por esto los valores de U obtenidos para esta sucesión son bajos. Sin embargo la muestra presenta valores de Th/U muy bajos lo que indica que el U en ese momento estuvo muy presente en la cuenca, por lo que esta pudo haber sido oxigenada de forma muy puntual, mientras que los otros valores son muy altos representando definitivamente la presencia de un evento anóxico.

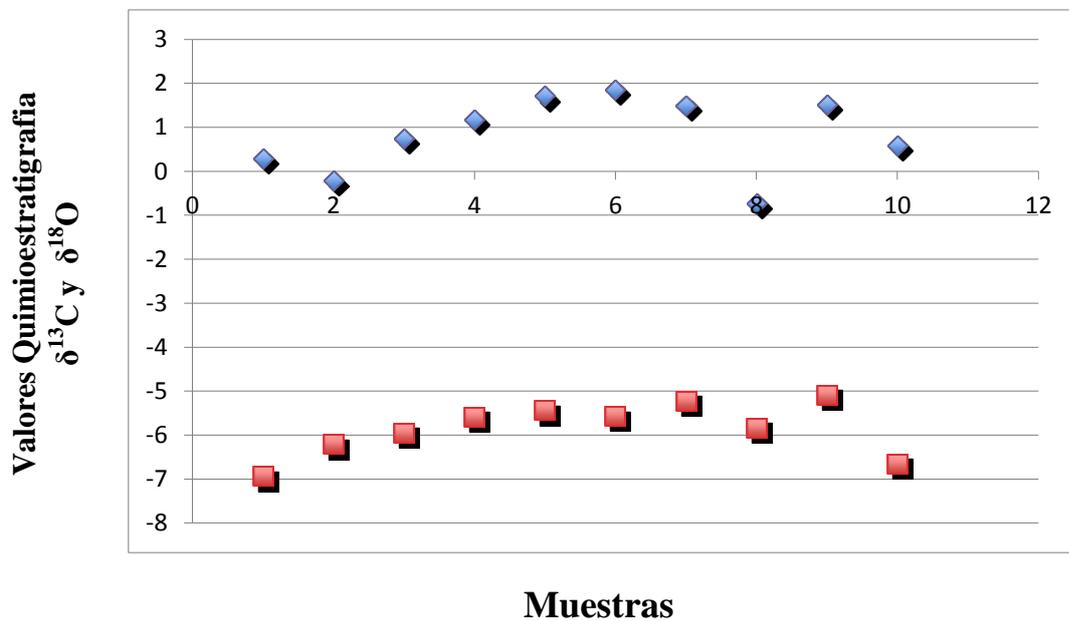


Figura 17. Grafica a partir de los datos obtenidos con los valores de la quimioestratigrafía de isótopos de C (Azul) y O (Rojo).

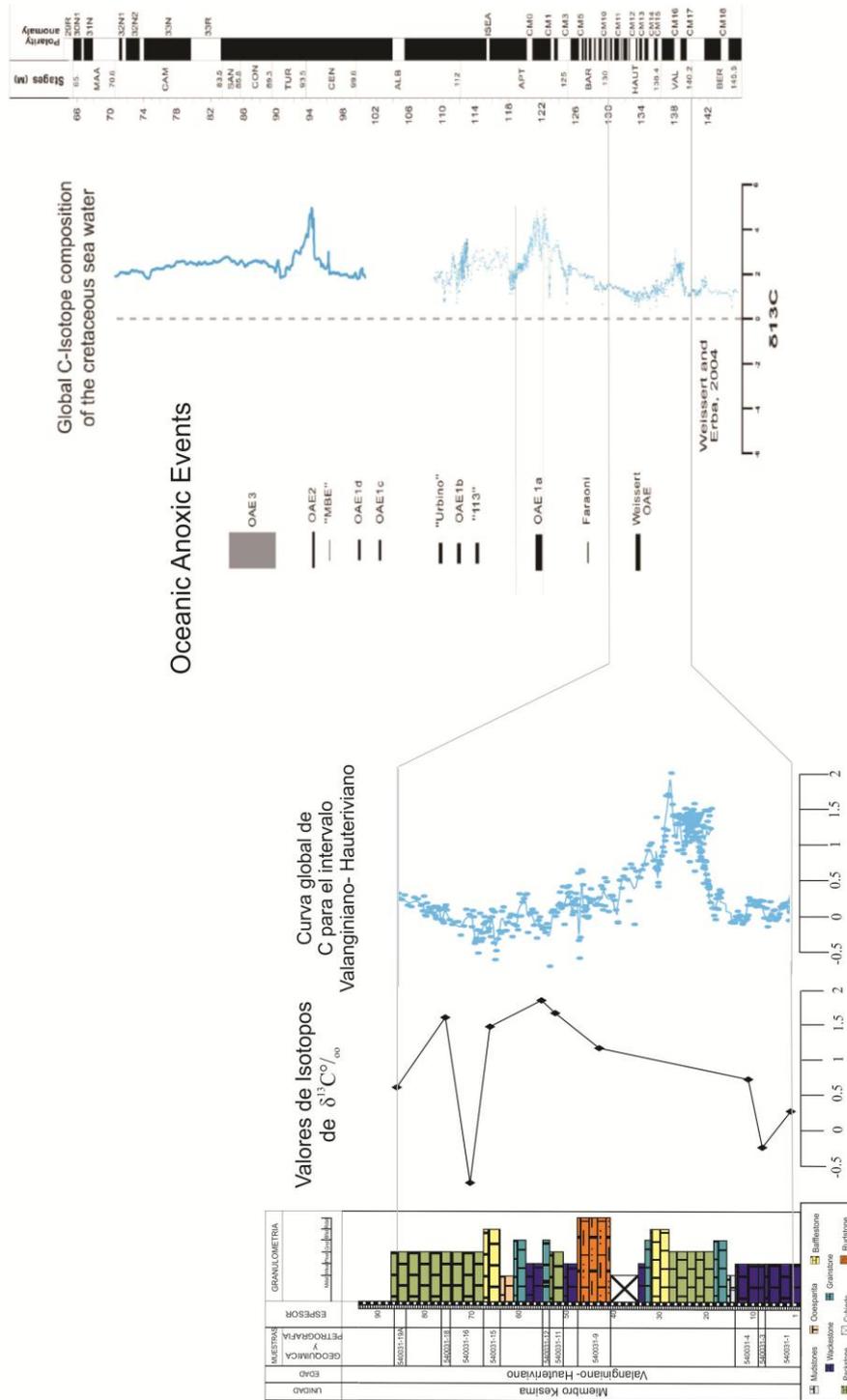


Figura 18. Columna generalizada del Miembro Kesima, curva isotópica de $\delta^{13}C$ analizada para esta sección comparada con la curva global de C para el Cretácico (Hu et al., 2012).

| Elementos | 540031-19A | 540031-16 | 540031-12 | 540031-11 | 540031-1 |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Si | 2863 | 20093 | 21836 | 38420 | 4693 |
| Ti | 31 | 85 | 140 | 461 | 0 |
| Al | 627 | 2615 | 3876 | 8762 | 58 |
| Fe | 375 | 4417 | 2670 | 5355 | 674 |
| Mn | 26 | 418 | 267 | 449 | 87 |
| Mg | 445 | 2638 | 4762 | 3608 | 228 |
| Ca | 53202 | 544119 | 542423 | 531602 | 52850 |
| Na | 12 | 53 | 99 | 122 | 23 |
| K | 192 | 691 | 1385 | 2372 | 15 |
| P | 39 | 267 | 372 | 426 | 9 |

Tabla 4. Valores elementos traza para los carbonatos del Miembro Kesima.

| Elementos | 540031-19A | 540031-16 | 540031-12 | 540031-11 | 540031-1 |
|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Ni | 367 | 229 | 303 | 230 | 1024 |
| Cr | 211 | 387 | 70 | 95 | 343 |
| Sc | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| V | 17 | 13 | 17 | 16 | 5 |
| Ba | 12 | 20 | 18 | 28 | 7 |
| Rb | 5 | 2 | 3 | 6 | 0 |
| Sr | 240 | 166 | 255 | 169 | 135 |
| Zr | 18 | 9 | 12 | 35 | 2 |
| Y | 13 | 10 | 17 | 9 | 5 |
| Nb | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,1 |
| Ga | 5 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| Cu | 11 | 14 | 5 | 8 | 12 |
| Zn | 31 | 40 | 74 | 29 | 8 |
| Pb | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 |
| La | 7 | 9 | 7 | 10 | 4 |
| Ce | 7 | 7 | 19 | 11 | 11 |
| Th | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nd | 5 | 5 | 9 | 4 | 5 |
| U | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |

Tabla 5. Valores elementos mayores para los carbonatos del Miembro Kesima.

| Elementos | 540031-19A | 540031-16 | 540031-12 | 540031-11 | 540031-1 |
|--------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Mn/Sr | 0,11 | 2,52 | 1,05 | 2,67 | 0,65 |
| Mg/Ca | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0 |
| Th/U | 0,0013 | 0,0003 | 0,0015 | 0,0015 | 0,0009 |
| Ba | 12 | 20 | 18 | 28 | 7 |
| P | 39 | 267 | 372 | 426 | 9 |

Tabla 6. Valores obtenidos a partir de la relación entre elementos mayores y traza.

6.3. Diagénesis

La diagénesis se refiere a los cambios físicos, químicos y biológicos sufridos por un sedimento antes de su depósito inicial, durante y después de su litificación; excluyendo al metamorfismo (Longman, 1981).

La diagénesis de carbonatos incluye seis procesos como: cementación, micritización, neomorfismo, disolución, compactación (mecánica y química) y dolomitización (Bathurst, 1975). Estos procesos se pueden presentar en diferentes eventos, de acuerdo a los cambios que sufre el ambiente diagenético en la historia o paragénesis de una roca carbonatada.

Las secciones delgadas analizadas para el Miembro Kesima están compuestas principalmente por carbonato tipo calcita. A su vez la calcita está siendo recristalizada por cemento esparítico (microesparita en su mayoría) y esparita tipo equant. Este material se encuentra reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas, cavidades y poros al igual que el material micritico como matriz encontrado en las secciones.

Un proceso importante observado durante el análisis es la silicificación. Este material se encuentra principalmente rellenando fracturas y reemplazando los aloquímicos. Este proceso de reemplazamiento ocurre en ambientes someros (Bustillo, 2000; Pérez-Jiménez *et al.*, 2004; Pérez-Jiménez 2010). La silicificación frecuentemente se realiza a microescala, mediante un reemplazamiento pseudomórfico que permite que se conserven muchas características de la roca encajante. De esta manera, estudiando las características petrológicas de una roca silícea formada por reemplazamiento se puede llegar a deducir cómo fue la roca previa: forma de los cristales, microestructuras, microfósiles que incluía, etc. (Bustillo. M.A, José Luis Pérez-Jiménez y Manuel Bustillo, 2012).

La diagénesis que ocurre en esta sección afecta directamente el material original de la roca al ser reemplazado (cementación), acompañada de superficies estilolíticas que a su vez están rellenas por material ferruginoso, porosidades secundarias (intrapartícula, moldica, microfracturas), diferentes tipos de contactos (cóncavo-convexo, suturados y flotantes) y deformación de granos todo asociado al enterramiento (Tabla 4).

Secuencia Estratigráfica del Miembro Kesima en la Formación Palanz

| UNIDAD | EDAD | GEOQUÍMICA | PETROGRAFÍA | ESPESOR | GRANULOMETRÍA Mm Wm Plm Gm Bm Rm | ESTADO | | | | | | | | |
|---|------|------------|-------------|---------|---|---|--|-------------------------------------|--|-------------------------------|--|---|--|---|
| | | | | | | EODIAGENESIS incluye exposición subaerea temprana | | MESODIAGENESIS por enterramiento | | | TELODIAGENESIS procesos de exhumación | | | |
| | | | | | | FASES DIAGENÉTICAS | | | | | | | | |
| | | | | | | Esparita reemplazando mineralogía original de los aloquímicos | Esparita reemplazando mineralogía original del material intersticial | Estilolitización | Deformación de granos por compactación | Esparita rellenando fracturas | porosidad por fracturamiento | Porosidad secundaria por disolución de granos o material intersticial | Silicificación en aloquímicos o en fracturas | |
| Miembro Kesima Valanginiense-Hauteriviense | | 54001-15a | 54001-15a | 80-90 | | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | | 54001-16 | 54001-16 | 70-80 | | X | X | X | X | X | | | X | |
| | | 54001-16 | 54001-16 | 65-70 | | X | X | X | X | X | X | | X | |
| | | 54001-16 | 54001-16 | 60-65 | | X | X | X | | | X | | X | |
| | | 54001-12 | 54001-12 | 55-60 | | X | X | X | X | X | | X | X | |
| | | 54001-11 | 54001-11 | 50-55 | | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | | 54001-9 | 54001-9 | 45-50 | | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| | | 54001-11 | 54001-11 | 35-40 | | | | | | | | | | |
| | | 54001-4 | 54001-4 | 25-30 | | | | | | | | | | |
| | | 54001-3 | 54001-3 | 15-20 | | | | | | | | | | |
| | | 54001-4 | 54001-4 | 10-15 | | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | | 54001-3 | 54001-3 | 5-10 | | | X | X | X | X | X | | | X |
| | | 54001-1 | 54001-1 | 1-5 | | | X | X | X | | X | X | | X |

Mudstone Bafflestone 0.00 Muestrageoquímica

Wackestone Coesparita 0.00 Muestrapetrografía

Grainstone Cuberto

Packstone Rudstone

Tabla 6. Interpretación diagenética, de las sucesiones carbonáticas del Miembro Kesima de la Formación Palanz.

7. CONCLUSIONES

- Las características sedimentológicas y microscópicas del Miembro Kesima de la Formación Palanz sugiere un ambiente de depositación en una plataforma carbonatada somera de alta energía, en constante oleaje con limitación de material terrígeno.
- Las evidencias petrográficas indican una diagénesis por enterramiento caracterizada por alta silicificación, tanto en los fragmentos fósiles como en fracturas, estilolitización y cementación secundaria.
- Se atribuye una edad Valanginiano- Hauteriviano al Miembro Kesima determinado por el análisis isotópico de Sr. La excursión positiva de los isótopos de C sugieren la presencia del evento anóxico Weissert en el anticlinal de Cosinas y por tanto en la cuenca de la Alta Guajira, que presentaría por lo menos dos intervalos de eventos anóxicos globales (OAE1a y OAE). esto debe tenerse en cuenta en las campañas exploratorias tanto en la cuenca de la Guajira como en otras cuencas del oriente Colombiano (e.j. Cesar-Ranchería). estos resultados sobresaltan las ventajas del uso de la quimioestratigrafía de isótopos para datar sucesiones sedimentarias marinas con problemas cronoestratigráficos.
- El tipo de ambiente donde fue efectuado la depositación de los carbonatos sugieren una zona de back reef (zona detrás del arrecife coralino) debido a los tipos y proporción de aloquímicos, desarrollando así la historia paragenética de los carbonatos comenzando desde la sedimentación hasta el momento actual de la roca.
- Los análisis de multielementos y elementos traza sirvieron para determinar las alteraciones diagenéticas, la presencia de dolomita, sílice y la identificación del evento anóxico relacionados en la cuenca.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis estratigráficos y muestreos detallados a lo largo de toda la unidad del Miembro Kesima para determinar la continuidad de los arrecifes identificados en la sección de estudio.
- Los avanzados procesos diagenéticos que se desarrollan sobre el Miembro Kesima han destruido la mayoría de estructuras coralinas, por lo tanto se sugiere un muestreo detallado de los organismos coralinos, la identificación y clasificación de algas verdes para comprender de manera detallada las condiciones ambientales y sedimentológicas del “back reef” del Miembro Kesima.
- Se sugiere realizar dataciones de U-Pb en carbonatos y circones del Miembro Kesima para conocer el tiempo de apertura de las cuencas cretácicas en Colombia y en general la paleogeografía del norte de Suramérica durante el Cretácico.
- Realizar más dataciones de C y O a lo largo de toda la sección del Miembro Kesima para 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.
- Es recomendable realizar levantamientos de columnas estratigráficas en otros sectores del Miembro Kesima de la Formación Palanz, para complementar estudios litoestratigráficos y bioestratigráficos y correlacionarlos con las sucesiones carbonáticas de la Formación Rosablanca en Santander.

9. REFERENCIAS

ALVAREZ, W., 1967. Geology of the Simarúa and Carpintero Areas. Guajira Península. Colombia. Thesis Ph.D., Princeton Univ 168p, New Jersey.

ALARCON, A., GUZMÁN, G., OCHOA, A., ESCALLON, J., PATIÑO, J.N., PULIDO, G.M., MERCADO, M., SANTOFIMIO, J., 2003. Mapa Geológico del Departamento de La Guajira, memoria explicativa, Instituto de Investigación e Información Geocientífica Minero Ambiental y Nuclear INGEOMINAS

BATHURST, F.G. C., 1975. Carbonate sediments and their diagenesis. Developments In Sedimentology, 47. Elsevier. Amsterdam, 658 pp.

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

BUSTILLO, M. A. José Luis Pérez-Jiménez y Manuel Bustillo. (2012). Caracterización geoquímica de rocas sedimentarias formadas por silicificación como fuentes de suministro de utensilios líticos (Mioceno, cuenca de Madrid). Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 1, 2012, p. 233-247.

BUSTILLO, M. A. (1976). Texturas de rocas de la sílice inorgánicas en ambiente continental y significado genético. Estudios Geológicos, 32, 371-383.

BÜRGL, H., 1960. Geología de la Península de la Guajira: Serv. Geol.Nac (Colombia), Bol.Geol., v.6.

BRALOWER, T.J., FULLAGAR, P.D., PAULL, C.K., DWYER, G.S., AND LECKIE, R.M., 1997, Mid-Cretaceous strontium-isotope stratigraphy of deep-sea sections: Geological Society of America Bulletin, v. 109.

CORDANI, U, G., CARDONA, A., JIMÉNEZ, D, M., LIU, D., NUTMAN, A, P., 2005. Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt, From: Vaughan, A.R.M., Leat, P.T. Pankhurst, R.J. (eds), *terrene Processes at the Margins of Gondwana*. Geological Society, London, Special Publications.

CRAIG, H., 1957. Isotope standard for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometry analysis of carbon dioxide. *Geochim Cosmochim Acta* 12: 133-149.

DUNHAM, R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. - Classification of carbonate rocks, a symposium. American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1, Tulsa, Oklahoma.

- EINSELE, G., W. Ricken, and A. Seilacher, 1991, Cycles and Events in Stratigraphy. Springer-Verlag: Berlín, 955 p.
- EMBRY, A., KLOVAN, J., 1971. A Late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island. N.W.T. Bulletin of Canadian Petroleum Geology. v. 19, p. 730-781.
- FOLK, R., 1962. Spectral subdivision of Limestone types. – Classification of carbonate rocks, a symposium. American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1, Tulsa, Oklahoma.
- FLÜGEL, E., 2004. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and application. Springer, New York.
- HOEFS, J. (1980): “Stable isotope geochemistry”–Second edition. Springer-Verlag, Heidelberg and New York, p. 48-53, 58-66.
- LOCKWOOD, J, P., 1965. Geology of the Serranía de Jarara Area. Guajira Peninsula, Colombia. Thesis Ph.D., Princeton Univ 167p, New Jersey.
- MACDONALD, W, D., 1964. Geology of the Serranía de Macuira Area. Guajira Peninsula, Colombia Thesis Ph.D., Princeton Univ 237p, New Jersey.
- MACDONALD, W., OPDYKE, N, D., 1972. Tectonic Rotations Suggested by paleomagnetic results from northern Colombia, South America Journal of Geophysical Research, p 5720-5730.
- MERCADO, M., 2003. Mapa Geológico del Departamento de La Guajira. Memoria Explicativa. INGEOMINAS. Escala 1:250.000. Bogotá.
- MORENO, M., HINCAPIÉ, G., 2010. Estudio de Isótopos de carbono (^{13}C) y estroncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en los depósitos cretáceos-terciarios de la cordillera oriental, Universidad de Caldas, p. 50-68.
- NOVA, G., BAYONA, G., MONTAÑO, P. Columna estratigráfica generalizada de la Alta Guajira escala 1: 5000. Corporación Geológica ARES, Smithsonian Tropical Research Institute.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J. L. (2010). Sedimentología, silicificaciones y otros procesos diagenéticos en las unidades Intermedia y Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid (Zonas NE, NW y W). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. 336 pp.
- PINDELL, J, L., HIGGS, R., DEWEY, J., 1998. Cenozoic palinspatic reconstructions, paleogeographic evolution and hydrocarbon setting of the Northern margin of South America. Society for Sedimentary Geology, SEPM, Special publications No. 58.
- PINDELL, J, L., KENNAN, L., 2001. Kinematic evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean. GCSSEPM FOUNDATION, 21 ST Annual Research Conference Transactions, Petroleum System of Deep-Water, p, 193-220.

READING, H., 1996. Sedimentary environments processes, facies, and stratigraphy: Cambridge, blackwell science, 688 p.

RENZ, O., 1956. Cretaceous in Western Venezuela and the Guajira (Colombia). 20 Congr. Geol. Internat., 11 figs, manuscrito. México.

ROLLINS, J., 1960. Stratigraphy and structure of the Guajira unpublished Ph.D. thesis, Dept. Geol., Univ. of Nebraska, Lincon, Nebraska (Revised version in press, Univ. of Nebraska Press).

ROSMAN JR, TAYLOR PD (1998) Isotopic compositions of the elements (technical report): commission on atomic weights and isotopic abundances.

SALAZAR, E, A., 2010. análisis estratigráfico y determinación de ambientes de depósito para la Formación Palanz. Inicio de la Sedimentación Cretácica en la Alta Guajira, Colombia, Tesis de Maestría Universidad Nacional de Colombia.

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): " $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater"-Chemical Geology, p. 8, 13, 16.

WEBER, M, A., CARDONA, A., VALENCIA, V., GARCÍA-GASCO, A., TOBÓN, D., ZAPATA, A., 2010. U/Pb detrital zircon provenance from late cretaceous metamorphic units of the Guajira Peninsula, Colombia: Tectonic implications on the collision between the Caribbean arc and the South American Margin . Journal of South American Earth Sciences. Article in Press.

ZULUAGA, C., OCHOA, A., MUÑOZ, C., GUEREREO, N., MARTINEZ, A, M., MEDINA, P., PINILLA, A., RIOS, P., RODRIGUEZ, P., SALAZAR, E., ZAPATA, V., 2009. Proyecto de Investigación Cartografía e historia geológica de la Alta Guajira, implicaciones en la búsqueda de recursos minerales, Memoria de las planchas 2, 3,5 y 6 (con parte de las planchas 4, 10 y 10 BIS). Informa Interno 535 pág. INGEOMINAS.

CARACTERIZACIÓN DIAGENÉTICA Y QUIMIOESTRATIGRÁFICA DE SUCESSIONES DE
CARBONATOS DEL MIEMBRO KESIMA DE LA FORMACIÓN PALANZ

ANEXOS

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

ANEXO 1

PETROGRAFIA

**(FORMATO DE CLASIFICACIÓN Y MICROFOTOGRAFÍAS DE LA SECCIÓN
DELGADA)**

Muestra 540031-1

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | Columna(metro arriba base) | EDAD | |
| Fm Palanz | 540031-1 | | | Hauteriviano | |
| LOCALIZACIÓN | | | LATITUD | LONGITUD | |
| Miembro Kesima | | | | | |

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 remplazando fragmentos fósiles) | | | | |
| Micrita | 37 | | | Como material intersticial o remplazando algas o corales. |
| Esparita/Microesparita | 51 | | | Esparita o microesparita remplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros :Dolomita, Sílice | 11 | | | |
| Porosidad | 1 | | | |
| Total | | | | 100 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

| | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------------------|
| Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos. | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
| <i>Ooides</i> | | | | | |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | 1 | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 201 | | | Espículas |
| <i>Moluscos</i> | | 46 | | | Fragmentos de Bivalvos |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | 1 | | | |
| <i>Coral</i> | | 1 | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | 11 | | | Siendo los 11 fósiles diferentes |

| | | | |
|------------------------------|------------|--|--|
| | | | |
| TERRIGENOS | | | |
| Cuarzo | | | |
| Otros | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
| Glauconita | | | |
| Otros | | | |
| Total | 261 | | |

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

| | Puntos | % |
|--|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 21 | 21% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita) | 7 | 7% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 72 | 72% |
| Total | 100 | 100% |

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

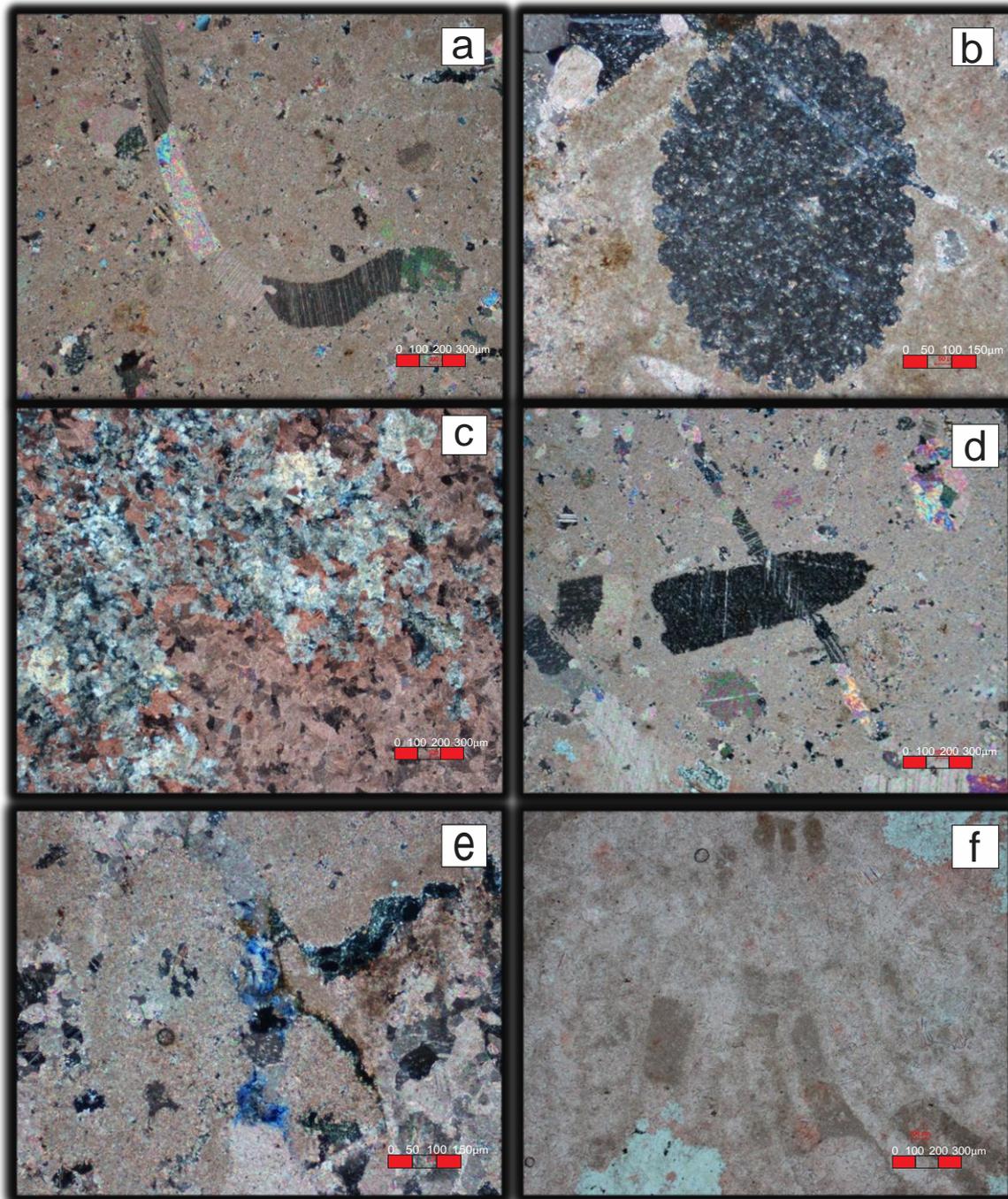
| | |
|--|------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: WACKSTONE. | Embry and Klovan, 1971 |
|--|------------------------|

4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <p>Fracturas de esparita sin cortar partículas. Fracturas rellenas de esparita Fractura de esparita cortando Equinodermos y Moluscos Equinodermos recristalizados con Sílice Fractura con material ferruginoso.</p> <p>Tipo de cemento: Equant (Esparita) Matriz micrítica</p> |
|---|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---|
| Porosidad asociada a fracturas / intercristal asociada a fractura rellena de Esparita |
|---|



Anexo 1.2. Microfotografías muestra 540031-1. (a) Fragmento de molusco en PPX, (b) espícula de equinodermo en PPX, (c) cemento de esparita con reemplazamiento de Sílice en PPX, (d) fragmento de equinodermo cortado por fractura de esparita en PPX, (e) porosidad asociada a fractura en PPX, (f) fragmento de coral en PPL y reemplazamiento del cemento esparítico por la silicificación.

Muestra 540031- 3

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm.Palanz | 540031-3 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

5. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

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

6. 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 | | 1 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles) | | |
| Micrita | 81 | |
| Esparita/Microesparita | 22 | |
| Dolomita/ Sílice | 2 | |
| Porosidad | | |
| Total | | 100 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

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

| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <i>Ooides</i> | | | | | |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 136 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | 1 | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 111 | | | Espículas |
| <i>Moluscos</i> | | 22 | | | Bivalvos |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | 24 | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | 1 | | | |
| <i>Fósil sin identificar</i> | | 1 | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |
| <i>Cuarzo</i> | | | | | |
| <i>Otros</i> | | | | | |

| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
|------------------------------|------------|--|--|
| Glauconita | 1 | | |
| Otros | | | |
| Total | 297 | | |

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

| | Puntos | % |
|--|---------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye alquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 70 | 70% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales antigénicos (glauconita) | 1 | 1% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 30 | 30% |
| Total | 101 | 101% |

7. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1962. Considerando las complejidades diagenéticas)

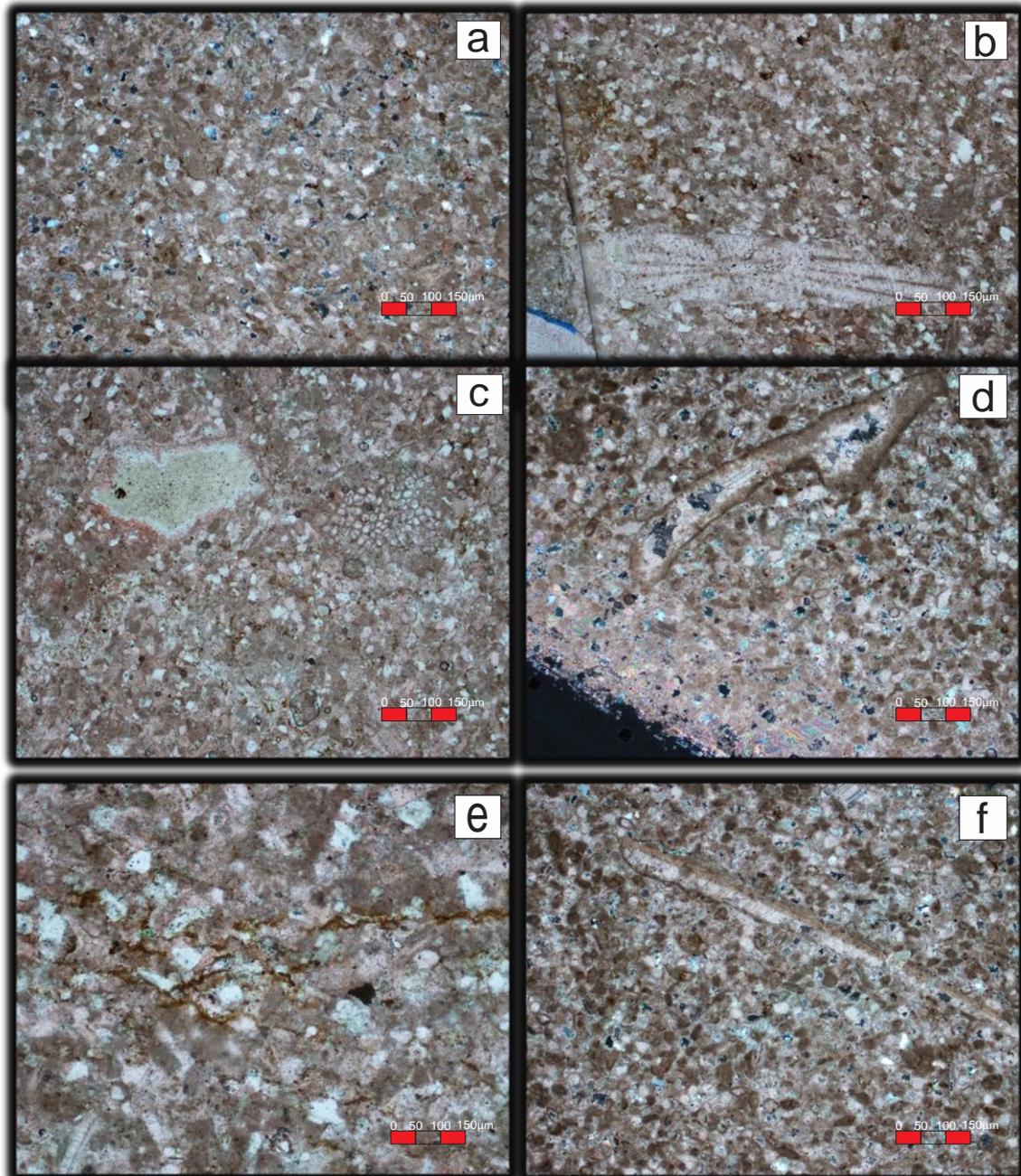
| | |
|--|-------------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Wackstone | Embry and Klovan, 1971 |
|--|-------------------------------|

8. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Fractura de esparita cortando alquímicos - Superficie estilolíticas - Fracturas de sílice cortando alquímicos - Alquímicos (Equinodermos deformados) - Equinodermos sufriendo procesos de silicificación <p>Tipos de contactos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cóncavo-Convexo entre cristales de cuarzo y esparita - Suturado entre cristales de cuarzo - Fracturas frágiles de granos - Contacto flotante. |
|---|

9. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|------------------------|
| No presenta porosidad. |
|------------------------|



Anexo 1.3. Microfotografías muestra 540031-3. (a) Pellets en matriz micritica en PPX, (b) espícula de equinodermo deformado en PPL, (c) fragmento de equinodermo silicificado y Briozoo en PPL, (d) fragmento de molusco en PPX, (e) Superficie estilolítica en PPX, (f) fragmento longitudinal de molusco en PPX.

Muestra 540031-4

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm Palanz | 540031-4 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

10. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

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

11. 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 | 71 | | | Como material intersticial o reemplazando algas o corales. |
| Esparita/Microesparita | 23 | | | Esparita o microesparita reemplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros Sílice | 4 | | | Reemplazando los aloquímicos |
| Porosidad | 2 | | | |
| Total | | | | 100 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

| | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------|---------------|--|
| Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos. | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
| <i>Ooides</i> | | | | | |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 32 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | 2 | | | Rodeado de esparita y material ferruginoso |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | 2 | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 131 | | | |
| <i>Moluscos</i> | | 65 | | | Bivalvos, Gasterópodos |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | 14 | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |

| | | | | |
|------------------------------|------------|--|--|--|
| Fósiles sin identificar | | | | |
| Fósil sin identificar | | | | |
| TERRIGENOS | | | | |
| Cuarzo | | | | |
| Otros | | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | | |
| Glaucónita | | | | |
| Otros | | | | |
| Total | 246 | | | |

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

| | Puntos | % |
|---|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye alquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados). | 31 | 31% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales antigénicos (glaucónita) | 12 | 12% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 57 | 57% |
| Total | 100 | 100% |

12. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1962. Considerando las complejidades diagenéticas)

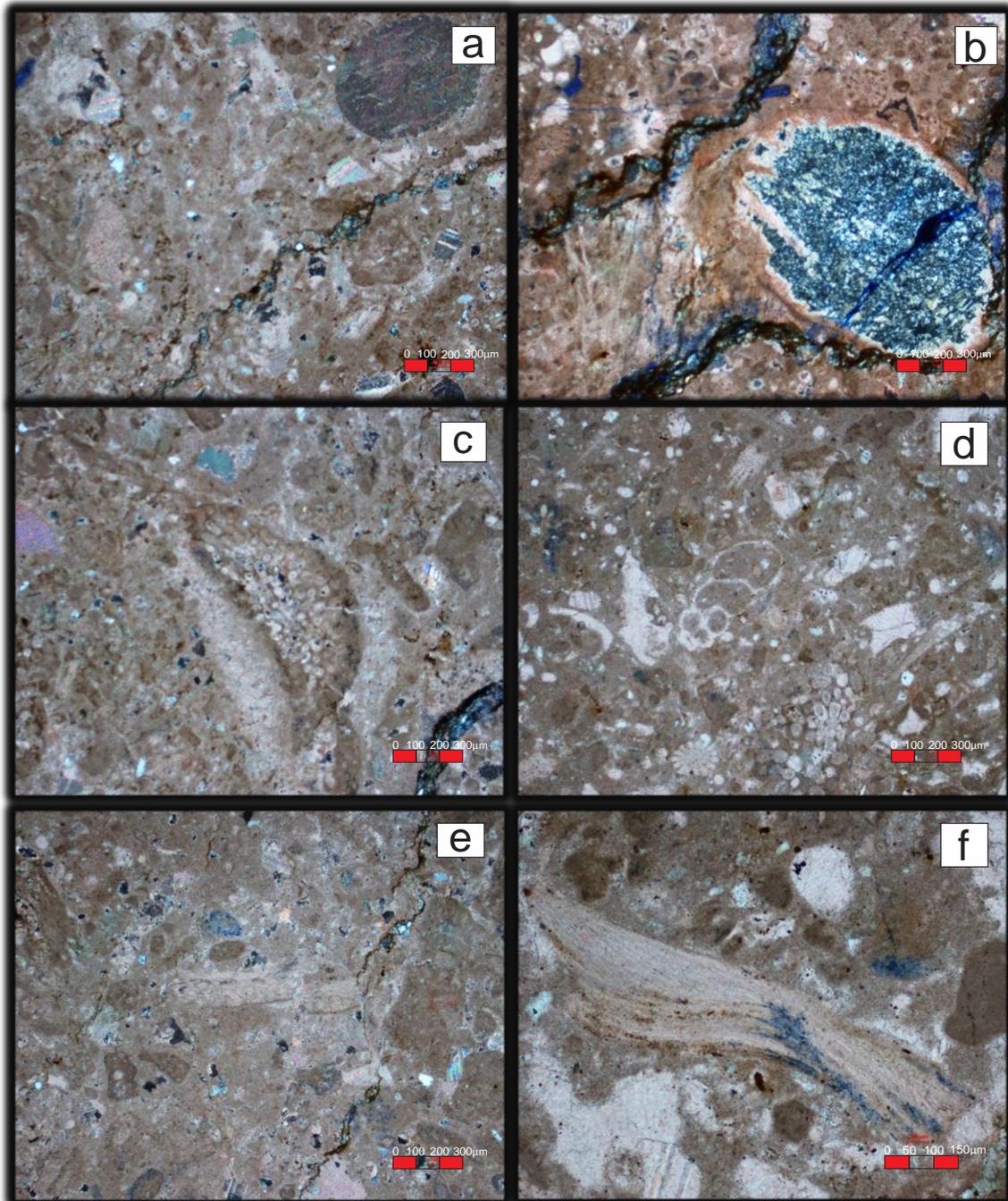
| | |
|---|-------------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Wackstone. | Embry and Klovan, 1971 |
|---|-------------------------------|

13. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Superficies estilolíticas - Fracturas asociadas a porosidad y material ferruginoso - Aloquímicos siendo reemplazados por material silíceo (equinodermos, moluscos) - Fracturas rellenas con material silíceo - Fracturas cortando alquímicos y cristales <p>Tipo de cemento: Esparita (la esparita que reemplaza los cristales es de tipo equant) Matriz micrítica</p> |
|---|

14. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Porosidad intracristal - Porosidad intrapartícula - Porosidad entre las fracturas - Porosidad moldica - Porosidad interpartícula. |
|---|



Anexo 1.4. Microfotografías muestra 540031-4. (a) Espícula de equinodermo, superficie estilolítica y porosidad moldica en PPX, (b) fragmento de equinodermo mostrando procesos de silificación, superficie estilolítica con material ferruginoso y porosidad asociada a fracturas en PPX, (c) fragmento de briozoo en PPX, (d) foraminífero bicerado, espícula de equinodermo algunos de ellos deformados, fragmentos de briozoos en PPL, (e) fragmento de molusco fracturado, superficie estilolítica en PPX, (f) molusco con porosidad asociada en PPL.

Muestra 540031-9

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm Palanz | 540031-9 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

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 | | 20 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita remplazando fragmentos fósiles) | | 9 |
| Micrita | 61 | Como material intersticial o remplazando algas o corales. |
| Esparita/Microesparita | 10 | Esparita o microesparita remplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros: Dolomita, Sílice | 3 | |
| Porosidad | | |
| Total | | 103 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZÓN (290 PUNTOS)

| | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <i>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
| <i>Ooides</i> | | 62 | | | poliooides |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 75 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | 3 | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 80 | | | |
| <i>Moluscos</i> | | 35 | | | |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | | | | |
| <i>Coral</i> | | 52 | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | | | | |

| | | | |
|------------------------------|------------|--|--|
| | | | |
| TERRIGENOS | | | |
| Cuarzo | | | |
| Otros | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
| Glauconita | | | |
| Otros | | | |
| Total | 306 | | |

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

| | Puntos | % |
|---|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 40 | 40% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita) | | |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 64 | 64% |
| Total | 104 | 104% |

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

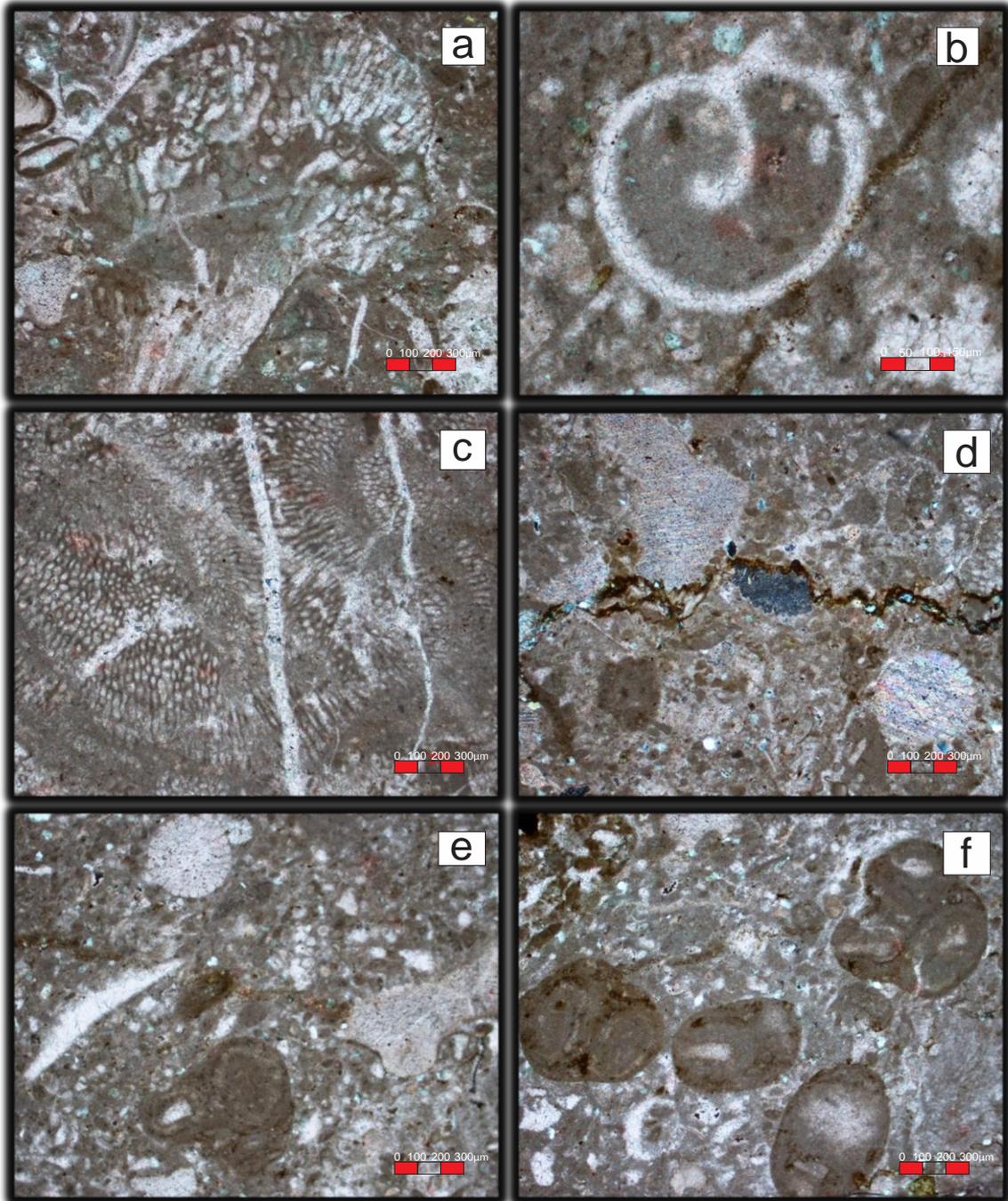
| | |
|---|-------------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Rudstone | Embry and Klovan, 1971 |
|---|-------------------------------|

4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|--|
| <p>Fracturas con material ferruginoso y partículas de Sílice Superficie Estilolítica Fractura de Esparita cortando aloquímicos Equinodermos recristalizados con Sílice y Esparita Equinodermos deformados (Espículas) Ooides con recristalización de Esparita</p> <p>Tipo de cemento: Equant (Esparita) Matriz micrítica</p> <p>Tipo de Contactos. Deformación plástica de granos (Ooides deformando equinodermos) Fractura frágil de grano (fósil sin identificar micritizado) Contacto saturado en Ooides Contacto flotante</p> |
|--|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---|
| Porosidad parcialmente moldica en molusco Porosidad asociada a fracturas y parte de matriz con material ferruginoso 4% |
|---|



Anexo 1.5. Microfotografías muestra 540031-9. (a) Pólipo y fragmentos de coral en PPL, (b) gasterópodo en forma redondeada en PPL, (c) coral cortado por fracturas rellenas de esparita en PPX, (d) espículas y fragmentos de equinodermos, Pellets cortados por una superficie estilolítica en PPX, (e) polioide, espícula de equinodermo, fragmento de molusco, pellets embebidos en la matriz micrítica en PPL, (f) ooides compuestos indicando somerización en PPL.

Muestra 540031-11

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm Palanz | 540031-11 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

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 | | 31 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita remplazando fragmentos fósiles) | | 8 |
| Micrita | 42 | Como material intersticial o remplazando algas o corales. |
| Esparita/Microesparita | 24 | Esparita o microesparita remplazando aloquímicos, rellenando fracturas y ocasionalmente como cemento |
| Otros: Dolomita, Sílice | | |
| Porosidad | | |
| Total | | 105 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZÓN (290 PUNTOS)

| | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <i>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
| <i>Ooides</i> | | 73 | | | poliooides |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 144 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 51 | | | Crinoideo |
| <i>Moluscos</i> | | 26 | | | |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | 4 | | | |

| | | | | |
|------------------------------|------------|--|--|--|
| | | | | |
| TERRIGENOS | | | | |
| Cuarzo | | | | |
| Otros | | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | | |
| Glauconita | | | | |
| Otros | | | | |
| Total | 294 | | | |

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

| | Puntos | % |
|---|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 48 | 48% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita) | | |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 51 | 51% |
| Total | 103 | 103% |

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

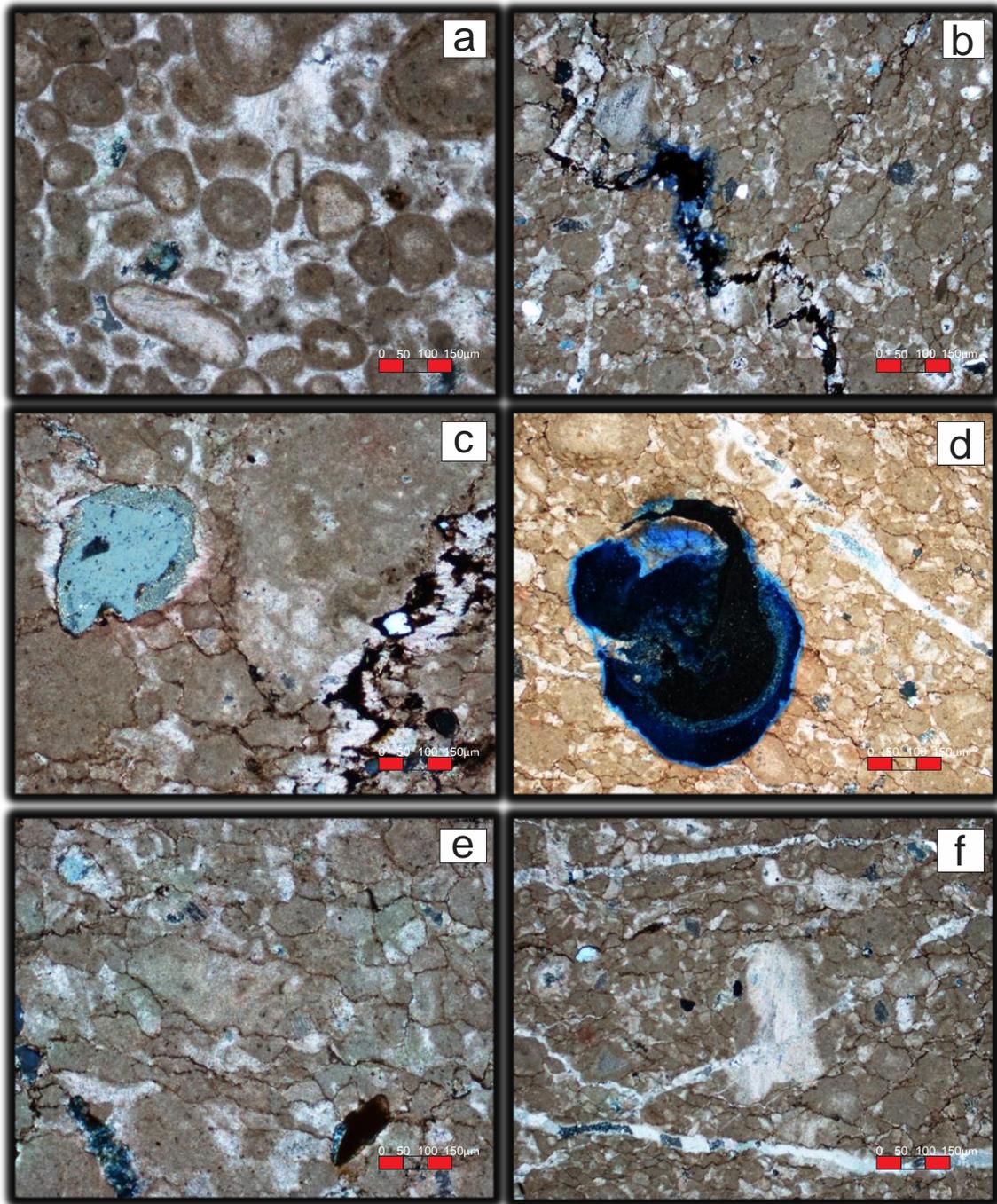
| | |
|--|-------------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Packstone | Embry and Klovan, 1971 |
|--|-------------------------------|

4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|--|
| <p>Fracturas con material ferruginoso formando superficies estilolíticas</p> <p>Superficie Estilolítica</p> <p>Fractura de Esparita cortando aloquímicos (Equinodermos, Ooides, Pellets)</p> <p>Equinodermos sufriendo silicificación</p> <p>Ooides con recristalización de Esparita</p> <p>Carbonato con bordes prismáticos sufriendo silicificación</p> <p>Ooide (Composited Ooid)</p> <p>Tipo de cemento: Equant (Esparita)</p> <p>Matriz micrítica</p> <p>Tipo de Contactos.</p> <p>Contacto suturado entre granos en Ooides, Pellets</p> <p>Contacto flotante (Ooides, pellets)</p> <p>Contacto cóncavo, convexo</p> |
|--|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---|
| <p>Porosidad asociada a fracturas bordeando la superficie estilolítica y en matriz micrítica 2%</p> <p>Porosidad asociada a equinodermo (intrapartícula) 1%</p> |
|---|



Anexo 1.6. Microfotografías muestra 540031-11. (a) Ooides concéntricos en cemento esparítico en PPX, (b) superficie estilolítica y porosidad asociada en PPX, (c) clasificación de carbonatos con bordes prismáticos sometido a silicificación en PPX, (d) porosidad en PPX (e) matriz micrítica sometida a fracturamiento en PPX, (f) fragmento de equinodermo cortado por fractura rellena de esparita en PPX.

Muestra 540031-12

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm. Palanz | 540031-12 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

15. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

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

16. 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 | | 7 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles) | | |
| Micrita | 78 | 78 |
| Esparita/Microesparita | 24 | 24 |
| Porosidad | 1 | |
| Total | | 110 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

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

| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|---------------------------------|
| <i>Ooides</i> | | 168 | | | Esparitizados, silicificados |
| <i>Peloides</i> | | 46 | | | |
| <i>Pellets</i> | | 12 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | 6 | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | 4 | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 13 | | | |
| <i>Moluscos</i> | | 19 | | | |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | 1 | | | Posiblemente fragmento de coral |
| <i>Fosil sin identificar</i> | | | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |
| <i>Cuarzo</i> | | 16 | | | |

| | | | |
|------------------------------|------------|--|--|
| Otros | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
| Glauconita | | | |
| Otros | | | |
| Total | 291 | | |

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

| | Puntos | % |
|--|--------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados). | | 75% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales antigénicos (glauconita) | | 3% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | | 22% |
| Total | | 100% |

17. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1962. Considerando las complejidades diagenéticas)

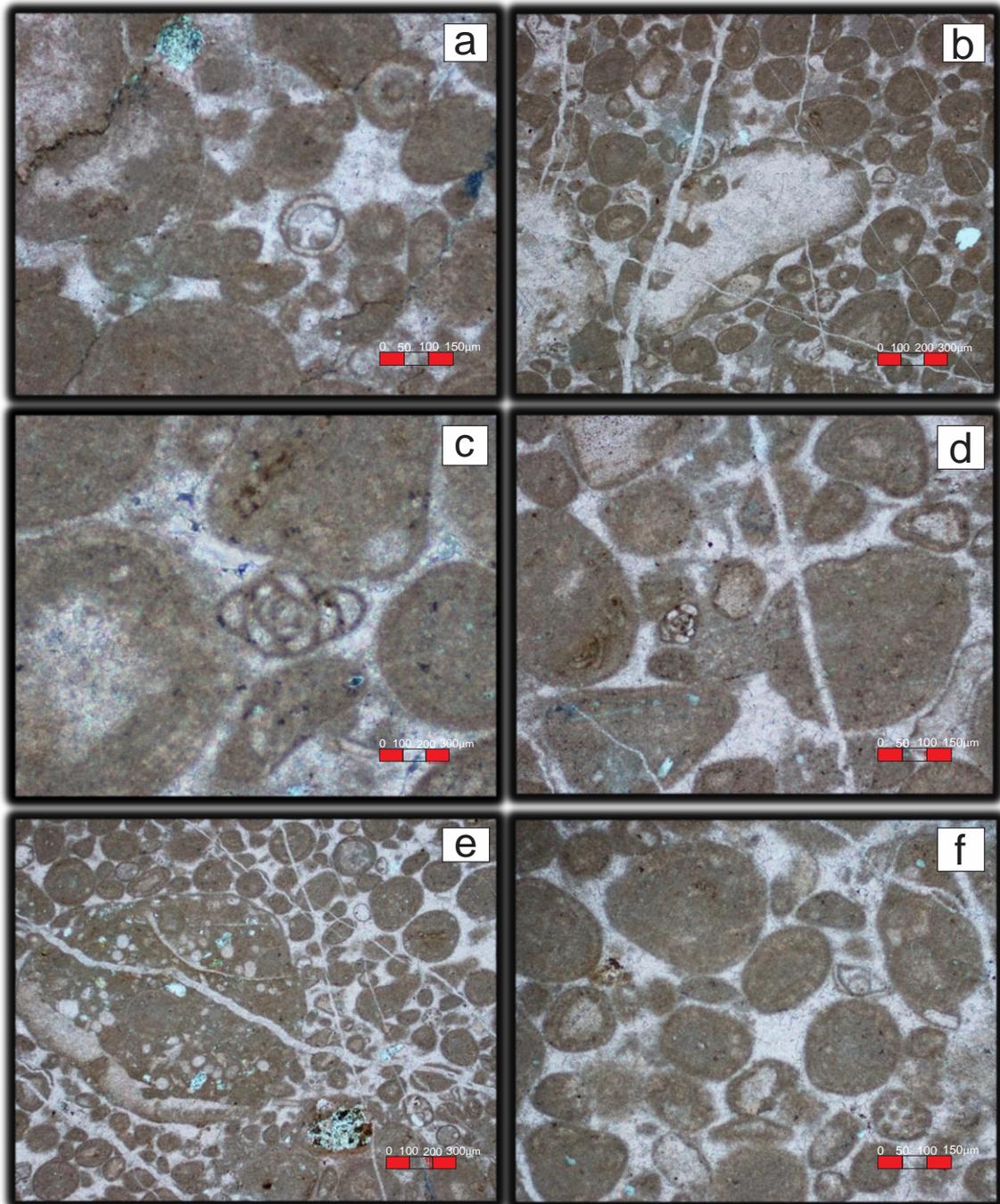
| | |
|--|-------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Grainstone | Embry and Klovan, 1971: |
|--|-------------------------|

18. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Aloquímicos reemplazados por micrita - Aloquímicos con procesos de silicificación - Fracturas cortando aloquímicos - Fracturas rellenas por esparita - No hay presencia de matriz, esta cementada por microesparita y esparita equant <p>Tipos de Contactos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contacto cóncavo-convexo - Contacto suturado - Contacto flotante - Fracturas de granos frágiles - Deformación plástica |
|---|

19. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|-------------------------------|
| Poca porosidad intraparticula |
|-------------------------------|



Anexo 1.7. Microfotografías muestra 540031-12. (a) Ooides concéntricos con núcleo de alga verde, pellets y superficie estilolítica en PPL, (b) fracturas rellenas de esparita cortando fragmentos de equinodermo, pellets y ooides concéntricos en PPL, (c) foraminífero en PPL, (d) ooides, foraminífero y fractura cortando aloquímicos en PPL, (e) intraclasto cortado por fractura esparítica, pellets y ooides concéntricos en PPL, (f) ooides, alga verde en PPL.

Muestra 540031-15

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm. Palanz | 540031-15 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

20. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

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

21. 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 | 67 | |
| Esparita/Microesparita | 47 | |
| Porosidad | | |
| Total | | 108 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

| | | | | | |
|--|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <i>Diferenciando los fragmentos tanto con estructura primaria como los que fueron afectados por procesos diagenéticos.</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
| Ooides | | 42 | | | |
| Peloides | | | | | |
| Pellets | | | | | |
| Intraclastos | | 1 | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| Algas | | | | | |
| Foraminíferos | | | | | |
| Equinodermos | | 24 | | | |
| Moluscos | | 18 | | | |
| Braquiópodo | | | | | |
| Briozoo | | 5 | | | |
| Coral | | 3 | | | |
| Fósiles sin identificar | | | | | |
| Fosil sin identificar | | | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |
| Cuarzo | | 2 | | | |

| | | | |
|------------------------------|-----------|--|--|
| Otros | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
| Glauconita | | | |
| Otros | | | |
| Total | 95 | | |

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

| | Puntos | % |
|--|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles reemplazados). | 47 | 47% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales antigénicos (glauconita) | 2 | 2% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 51 | 51% |
| Total | 100 | 100% |

22. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1962. Considerando las complejidades diagenéticas)

| | |
|--|--|
| Nombre según conteos 2 y 3: Bafflestone | |
|--|--|

23. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

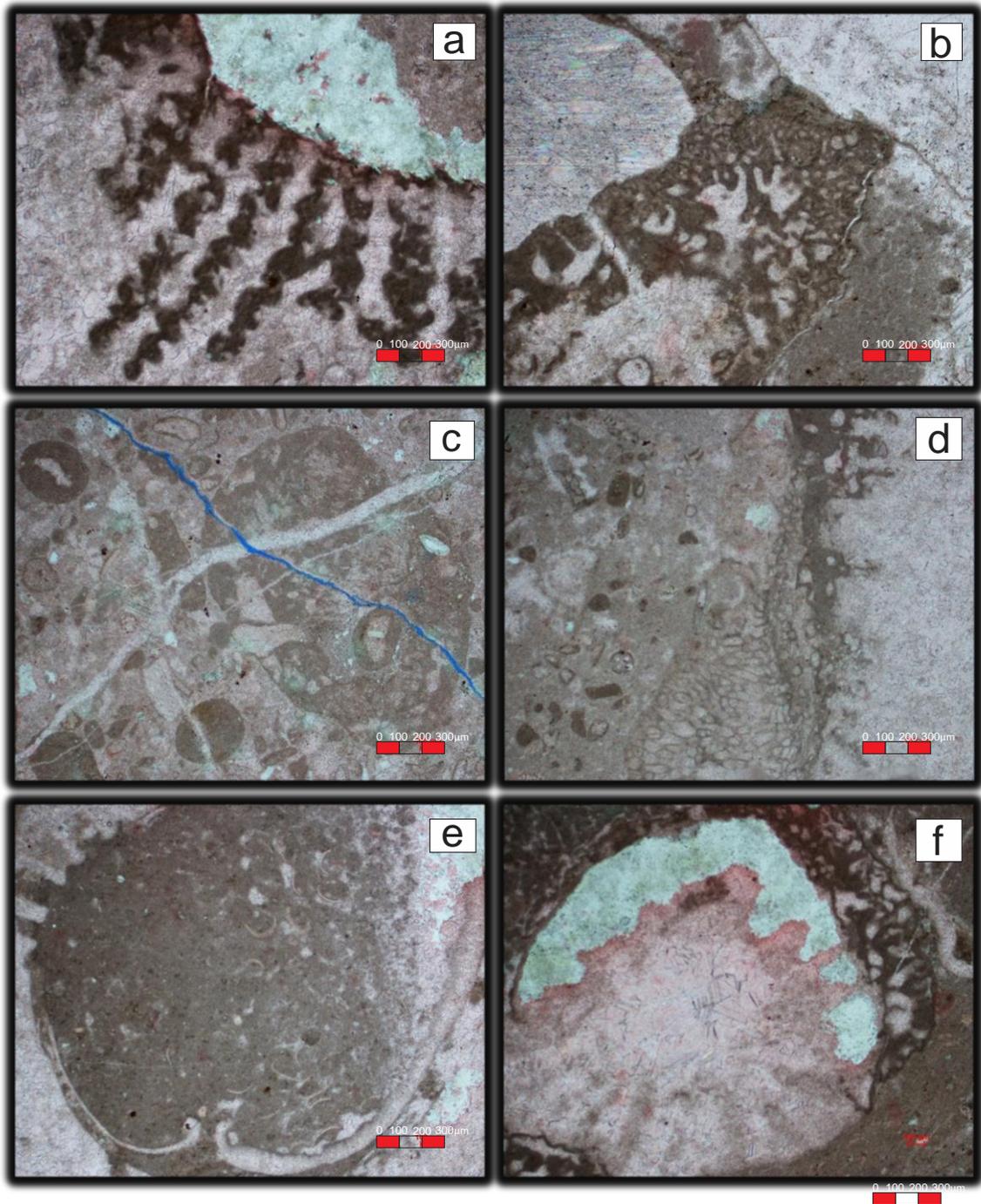
- Aloquímicos reemplazados por micrita
- Aloquímicos reemplazados por Esparita tipo Equant y ¿fibrosa?
- Los aloquímicos que ya están reemplazados por micrita y esparita se están reemplazando por sílice
- Pequeñas fracturas rellenas de esparita, sílice y material ferruginoso, algunas están cortando aloquímicos
- Presenta aloquímicos de gran tamaño > 2mm totalmente esparitizados y comenzando una silicificación, en la parte de la matriz se encuentran aloquímicos micritizados y y esparitizados abundantes en contacto flotante.
- El contacto entre los ¿corales? Y ¿briozoos? Es suturado ya q los briozoos siguen el borde del coral.

Nota:

El conteo numero 2 solo salieron tan pocos granos por el tamaño tan grande de los aloquímicos, abundan muchos Ooides, Equinodermos y Moluscos en la parte donde hay matriz.

24. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---------------------------------|
| Porosidad asociada a fracturas. |
|---------------------------------|



Anexo 1.8. Microfotografías muestra 540031-15. (a) Septos de coral en PPL, (b) corales en PPL, (c) intraclasto circular, ooides cortados por fracturas espáriticas y porosidad asociada a fractura en PPL, (d) briozoo en PPL, (e) fragmento de molusco parcialmente silicificado en PPL, (f) coral y briozoo sufriendo silicificación en PPL.

Muestra 540031-16

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm Palanz | 540031-16 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

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 | 18 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles) | 18 |
| Micrita | 44 |
| Esparita/Microesparita | 25 |
| Otros: Dolomita, Sílice | |
| Porosidad | |
| Total | 105 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

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

| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|------------------------------------|
| <i>Ooides</i> | | 46 | | | Ooides deformados |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | 14 | | | Encontrándose en matriz micrítica. |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | 4 | | | Alga micritizada |
| <i>Foraminíferos</i> | | | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 158 | | | Fragmentos y espículas |
| <i>Moluscos</i> | | 69 | | | Fragmentos de bivalvos |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | | | | |
| <i>Coral</i> | | 2 | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | 3 | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |
| <i>Cuarzo</i> | | | | | |

| | | | |
|------------------------------|------------|--|--|
| Otros | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | |
| Glauconita | | | |
| Otros | | | |
| Total | 296 | | |

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

| | Puntos | % |
|---|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 50 | 50% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita) | | |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 55 | 55% |
| Total | 105 | 105% |

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

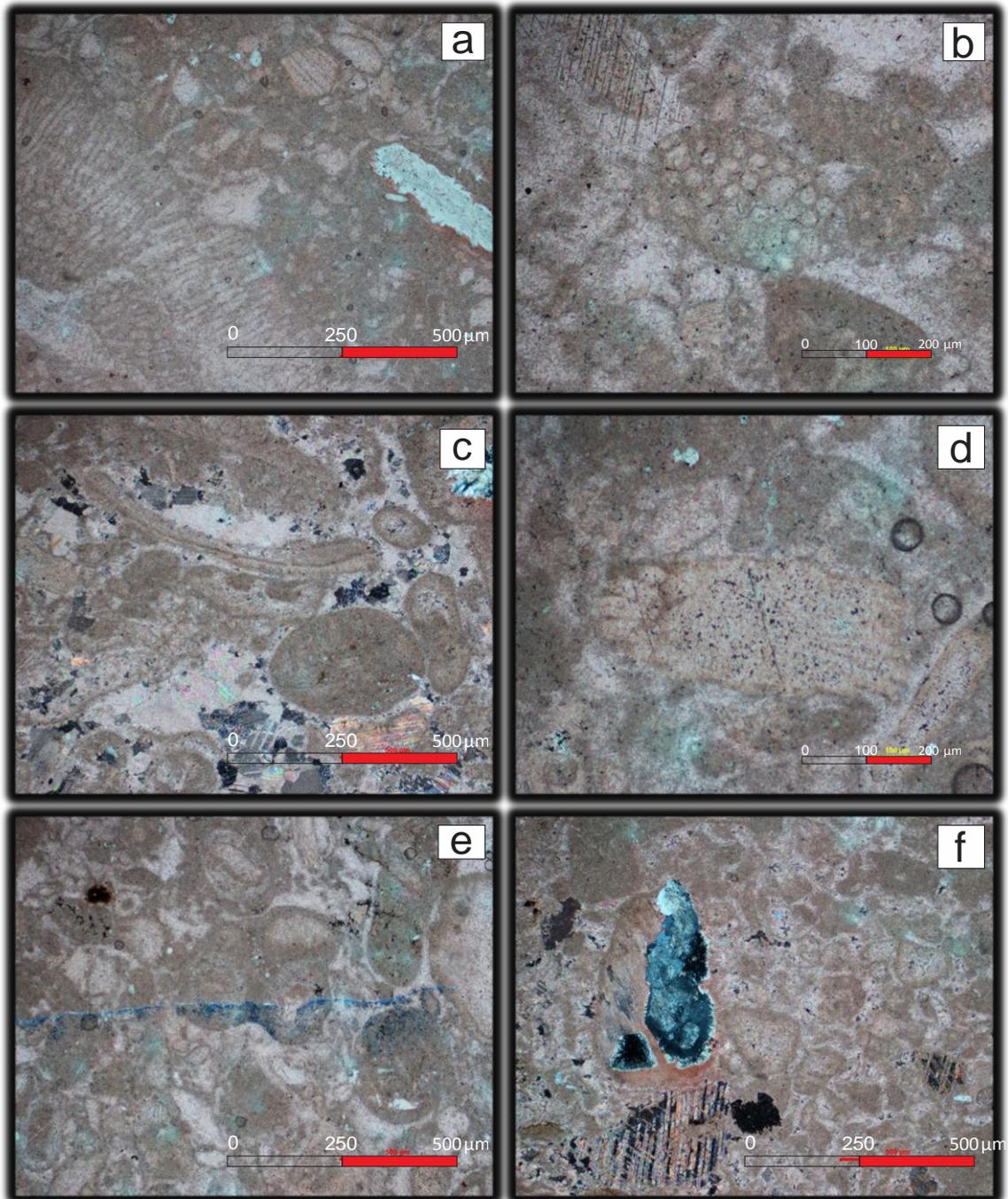
| | |
|--|--------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: PACKSTONE | Dunham 1964 |
|--|--------------------|

4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <p>Fracturas rellenas de esparita cortando aloquímicos como ooides y equinodermos. Superficie estilolítica Moluscos en proceso de silicificación Equinodermos (espículas) deformados</p> <p>Tipo de cemento: Equant</p> <p>Tipo de contactos: Cóncavo-Convexo entre ooides y equinodermos Flotante de ooides Suturado en equinodermos</p> |
|---|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|---|
| Porosidad asociada a fracturas en un aproximadamente 2% |
|---|



Anexo 1.9. Microfotografías muestra 540031-16. (a) Alga y fragmento de equinodermo silicificado en PPL, (b) alga verde en PPL, (c) fragmento de molusco longitudinal, ooides en cemento esparítico en PPX, (d) espícula de equinodermo deformado en PPL, (e) ooides concéntricos, poliooides y ooide deformado en cemento esparítico con porosidad asociada a fractura en PPL, (f) fragmento de molusco parcialmente silicificado, fragmentos de equinodermos en un cemento esparítico en PPX.

Muestra 540031-18

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm.Palanz | 540031-18 | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

25. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

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

26. 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 | | 3 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles) | | |
| Micrita | 75 | |
| Esparita/Microesparita | 38 | |
| Porosidad | | |
| Total | | 116 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

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

| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|----------------------|
| <i>Ooides</i> | | 135 | | | |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 10 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | 7 | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | 1 | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | 5 | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 95 | | | |
| <i>Moluscos</i> | | 29 | | | |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | | | | |
| <i>Fosil sin identificar</i> | | | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |
| <i>Cuarzo</i> | | 13 | | | |

| | | | | |
|------------------------------|------------|--|--|--|
| Otros | | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | | |
| Glauconita | | | | |
| Otros | | | | |
| Total | 295 | | | |

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

| | Puntos | % |
|--|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye alquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 65 | 65% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales antigénicos (glauconita) | 5 | 5% |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 50 | 50% |
| Total | 120 | 120% |

27. CLASIFICACIÓN PETROGRÁFICA (Según Dunham, 1962. Considerando las complejidades diagenéticas)

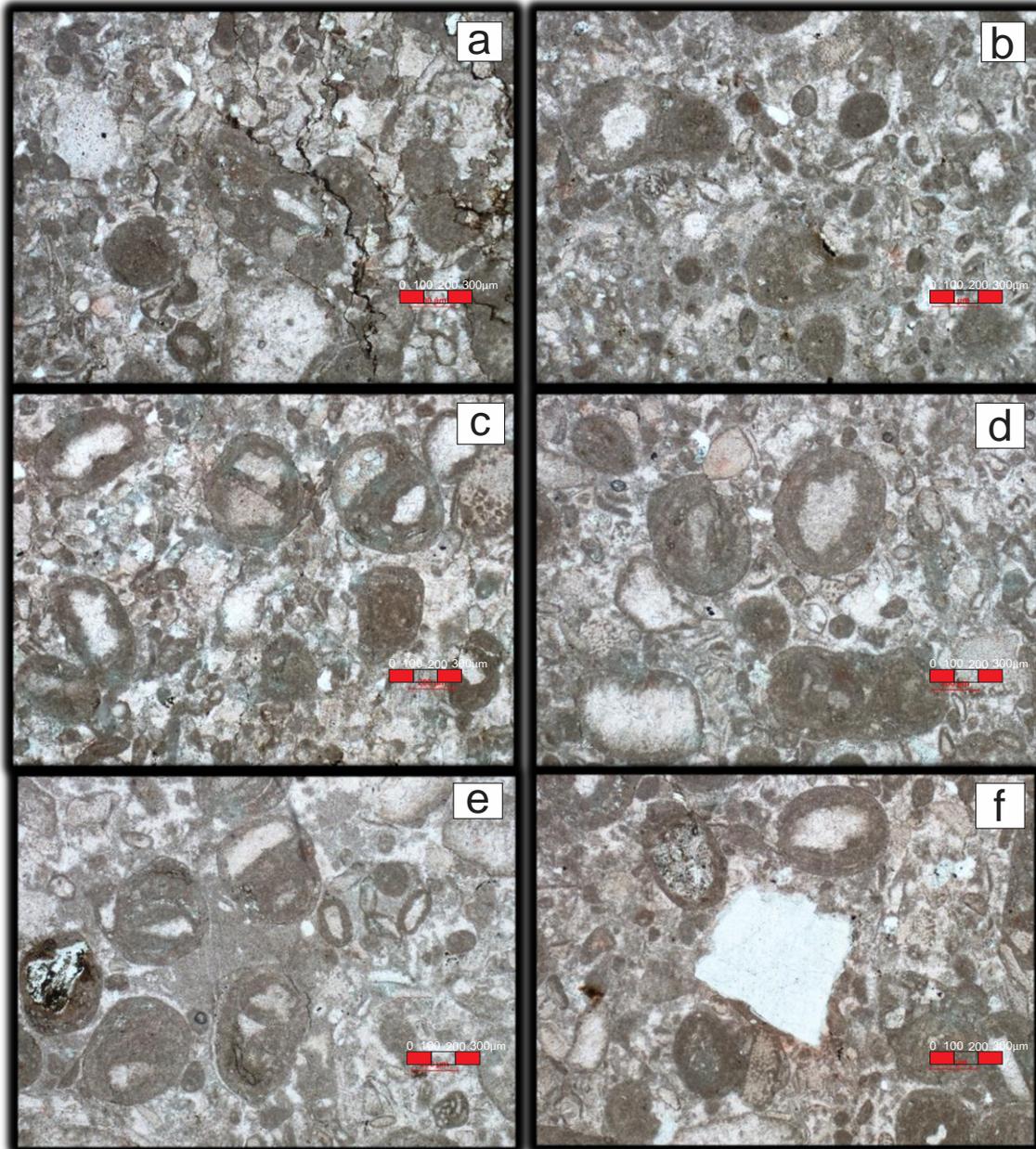
| | |
|---------------------------------------|------------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: Packstone | Embry and Klovan, 1971 |
|---------------------------------------|------------------------|

28. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Superficies estilolíticas - Fracturas rellenas de esporita - Fracturas rellenas de sílice - Aloquímicos siendo silicificados - Aloquímicos deformados <p>Tipos de contactos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flotante - Cóncavo-convexo |
|---|

29. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|------------------|
| No hay porosidad |
|------------------|



Anexo 1.10. Microfotografías muestra 540031-18. (a) Ooides con núcleos de fragmentos de equinodermos, superficie estilolítica en PPL, (b) pellets y ooides en PPL, (c) ooides con núcleos de fragmentos de equinodermos y ooides concéntricos en PPL, (d) poliooides en PPL, (e) foraminífero, ooides uno de ellos muestra silicificación en PPL, (f) fragmento de cuarzo, ooides concéntricos y espícula de equinodermo en PPL.

Muestra 540031-19A

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| ANÁLISIS PETROGRÁFICO | | Siliciclásticas: | Carbonatos: X | Volcanoclásticas: | Mixtas: |
| UNIDAD | MUESTRA | POZO Profundidad(m) | | Columna(metro arriba base) | EDAD |
| Fm Palanz | 540031-19A | | | | Hauteriviano |
| LOCALIZACIÓN | | | | LATITUD | LONGITUD |
| Miembro Kesima | | | | | |

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 | | 45 |
| Matriz/Cemento (incluyendo esparita reemplazando fragmentos fósiles) | | 23 |
| Micrita | 26 | |
| Esparita/Microesparita | 7 | |
| Otros: Dolomita, Sílice | | |
| Porosidad | | |
| Total | | 101 |

CONTEO 2: CARACTERIZACIÓN DEL ARMAZON (290 PUNTOS)

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

| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | NO | Puntos | % | Tamaño | OBSERVACIONES |
|--------------------------------|-----------|---------------|----------|---------------|---|
| <i>Ooides</i> | | 199 | | | Ooides con fragmentos de equinodermos, moluscos y algas como núcleo |
| <i>Peloides</i> | | | | | |
| <i>Pellets</i> | | 17 | | | |
| <i>Intraclastos</i> | | | | | |
| ALOQUIMICOS FOSILIFEROS | | | | | |
| <i>Algas</i> | | 6 | | | |
| <i>Foraminíferos</i> | | | | | |
| <i>Equinodermos</i> | | 54 | | | |
| <i>Moluscos</i> | | 26 | | | |
| <i>Braquiópodo</i> | | | | | |
| <i>Briozoo</i> | | 1 | | | |
| <i>Coral</i> | | | | | |
| <i>Fósiles sin identificar</i> | | | | | |
| TERRIGENOS | | | | | |

| | | | | |
|------------------------------|------------|--|--|--|
| Cuarzo | | | | |
| Otros | | | | |
| MINERALES AUTIGÉNICOS | | | | |
| Glauconita | | | | |
| Otros | | | | |
| Total | 303 | | | |

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

| | Puntos | % |
|---|------------|-------------|
| Armazón calcáreo: incluye aloquímicos fosilíferos y no fosilíferos (incluyendo los fósiles remplazados). | 70 | 70% |
| Armazón siliciclástico: incluye cuarzo, fragmentos terrígenos y minerales autigénicos (glauconita) | | |
| Material intersticial primario (matriz-cemento) | 31 | 31% |
| Total | 101 | 101% |

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

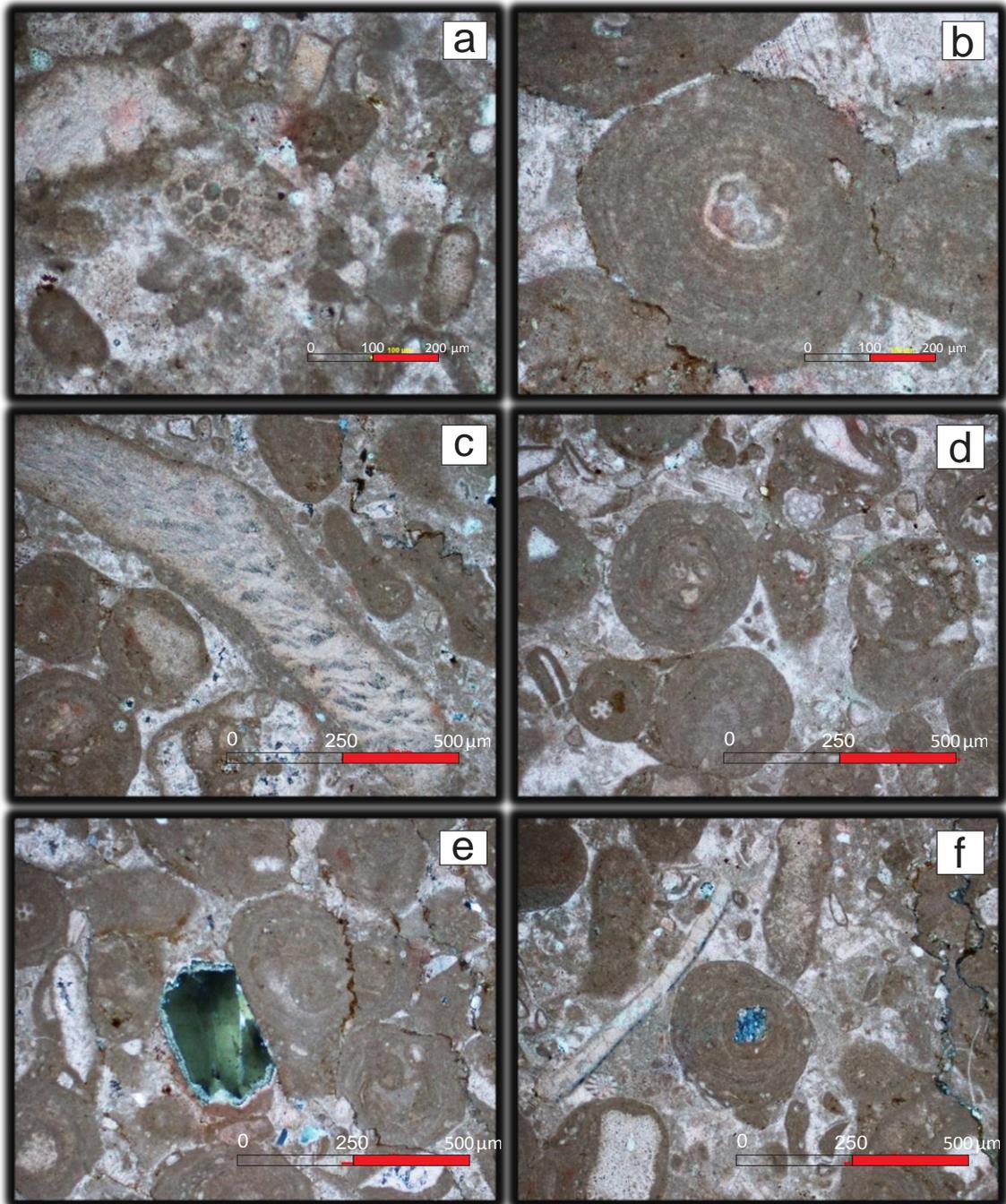
| | |
|--|---------------------|
| Nombre según conteos 2 y 3: PACKSTONE | Dunham 1962. |
|--|---------------------|

4. OBSERVACIONES DIAGENÉTICAS E HISTORIA DIAGENÉTICA

| |
|--|
| <p>Superficie estilolítica Fracturas de material ferruginoso y partículas de Sílice cortando aloquímicos Ooides, Poliooides concéntricos con fragmentos de aloquímicos en el núcleo Equinodermos (espículas) deformadas Fragmentos de moluscos con proceso de silicificación Fracturas de esparita cortando aloquímicos</p> <p>Tipo de cemento: Equant</p> <p>Tipos de contacto: Flotante en Ooides Suturado en Ooides Deformación plástica entre granos de Ooides y Equinodermos.</p> |
|--|

5. DESCRIPCIÓN DE POROSIDAD

| |
|--|
| Porosidad asociada a fracturas bordeando la superficie estilolítica aproximadamente 3% Porosidad intrapartícula en el núcleo de Ooides aproximadamente 2% |
|--|



Anexo 1.11. Microfotografías muestra 540031-19A. (a) Fragmento de alga verde, fragmentos de equinodermos y moluscos en PPL, (b) oide concéntrico con fragmento de alga verde como núcleo en PPL, (c) fragmento de molusco y ooides en PPX, (d) ooides y poliooides concéntricos con fragmentos de algas verdes como núcleos en PPL, (e) Cristal de sílice, ooides en contacto suturado, superficie estilolítica en PPX, (f) Porosidad asociada a fractura e intrapartícula, fragmento longitudinal de molusco, espículas y fragmentos de equinodermos en PPL.

ANEXO 2

TABLAS DE CLASIFICACION PARA CARBONATOS

| DEPOSITIONAL TEXTURE RECOGNIZABLE | | | | DEPOSITIONAL TEXTURE NOT RECOGNIZABLE |
|---|-----------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Original Components Not Bound Together During Deposition | | | Original Components Bound Together During Deposition | |
| Contains mud | | Lacks mud and is grain-supported | | |
| Mud-supported | Grain-supported | | | |
| < 10% grains | | | | > 10% grains |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone |
| Crystalline carbonate (Subdivisions based on texture or diagenesis) | | | | |

Tabla de clasificación de rocas carbonatadas (Dunham, 1962.)

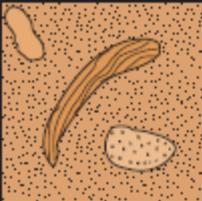
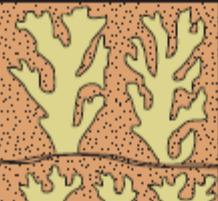
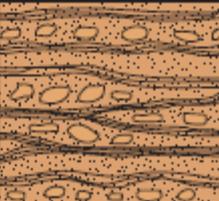
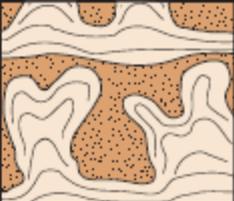
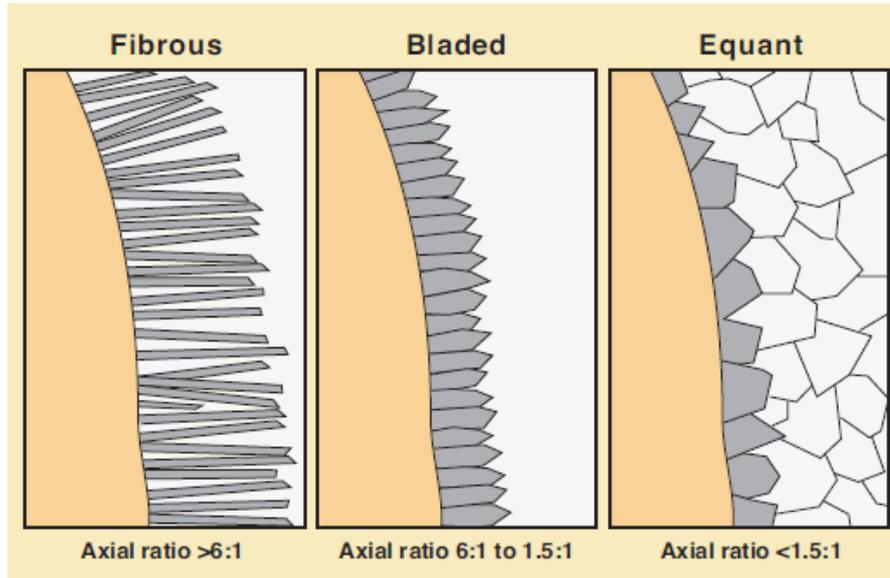
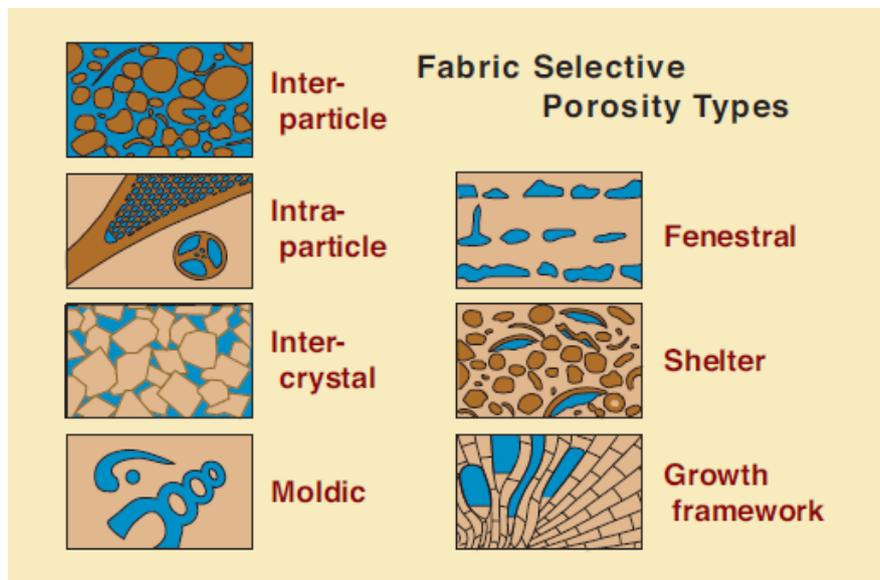
| Original Components Not Organically Bound During Deposition | | Original Components Organically Bound During Deposition | | |
|---|---|---|--|---|
| > 10% grains >2 mm | | Organisms acted as baffles | Organisms encrusted and bound | Organisms built a rigid framework |
| Matrix-supported | Supported by components larger than 2 mm | | | |
| Floatstone | Rudstone | Bafflestone | Bindstone | Framestone |
|  |  |  |  |  |

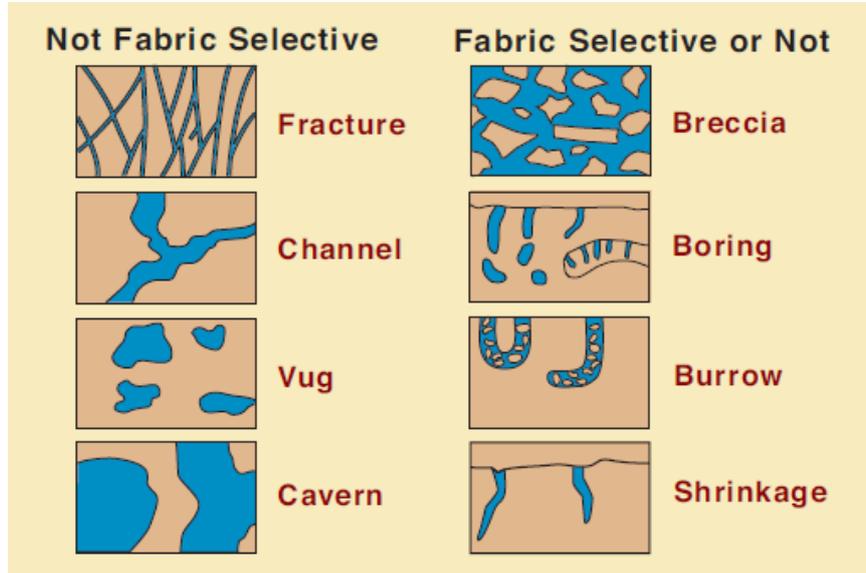
Tabla de clasificación de calizas esqueléticas (Embry & Klovan, 1971).



Terminología de formas de cristales en carbonatos. Folk (1965). Tomado de (A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: grains, textures, porosity, diagenesis). Pag 305



Tipos de porosidad fabrica básica, Choquette & Pary (1970). Tomado de (A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: grains, textures, porosity, diagenesis). pag 294



Tipos de porosidad selección variable sin fábrica. Choquette & Pray (1970). Tomado de (A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: grains, textures, porosity, diagenesis). Pag 295

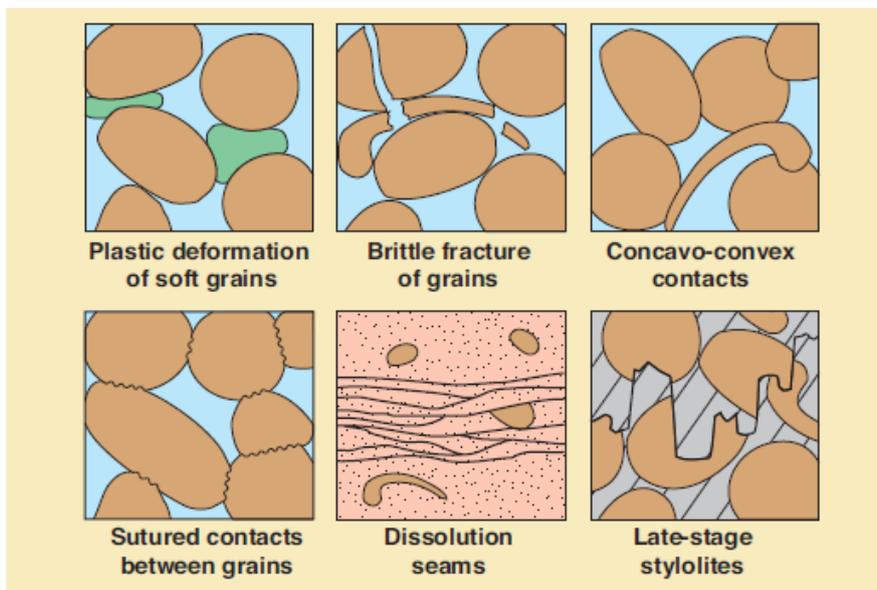
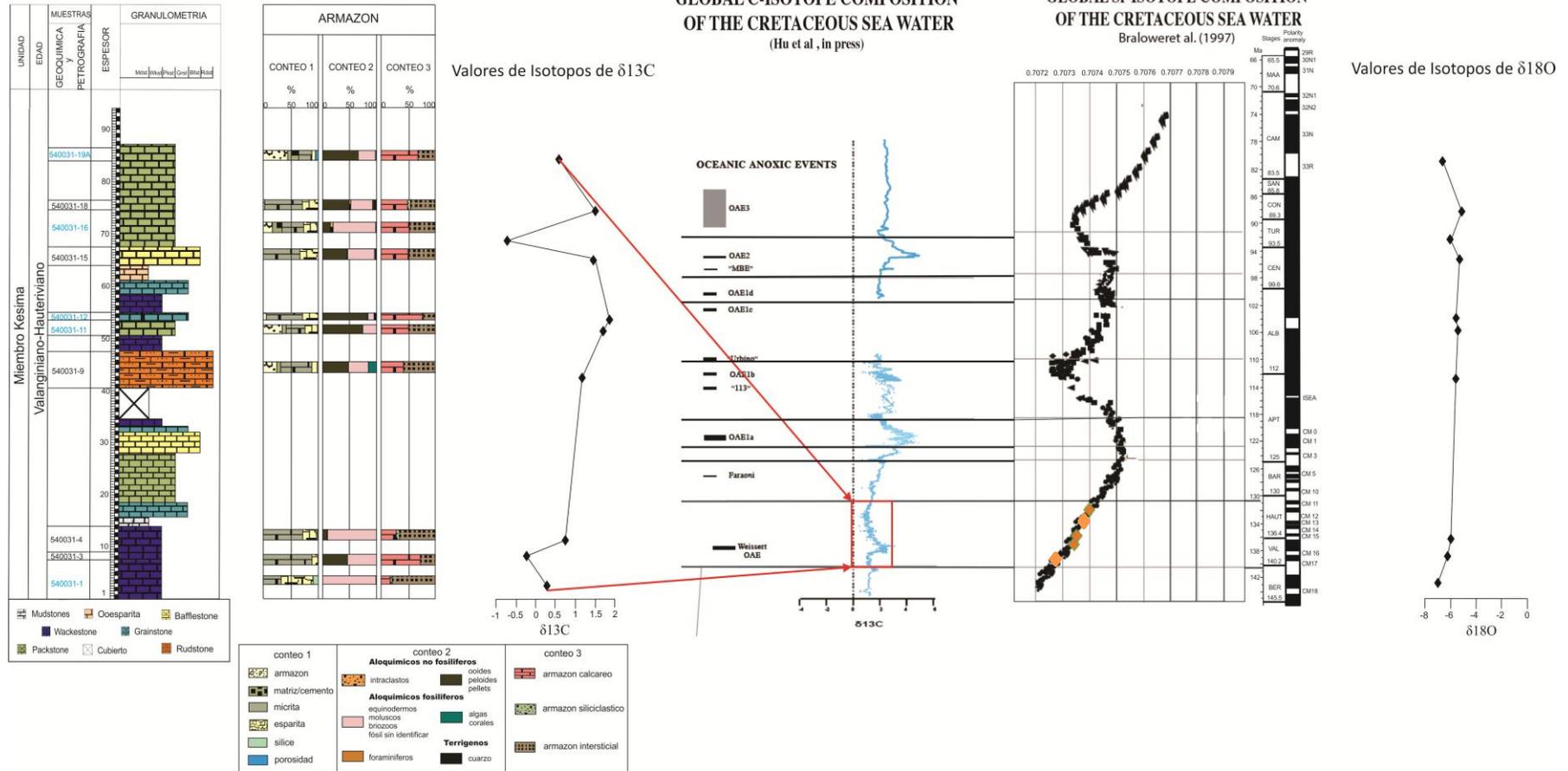


Tabla de características de compactación mecánica y química de los granos. Tomado de (A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: grains, textures, porosity, diagenesis). Pag 353

Secuencia Estratigráfica del Miembro Kesima en la Formación Palanz



ANEXO 3, Columna estratigráfica de la Sección de Trijajain del Miembro Kesima con los resultados petrográficos, los valores obtenidos en los análisis isotópicos de Carbono con la curva global de Carbono para el Cretácico (Hu *et al.*, 2012), Oxígeno y curva global de composición isotópica del Sr del agua de mar en el Cretácico (Bralower *et al.*, 1997), (El numero de las muestras de color naranja indican las secciones analizadas para isotopía de Sr).

