

*Aproximación a la procedencia de las unidades basales del Oligoceno en el sur del Caribe*

Proyecto de grado para optar por el título de geólogo

Autor

**Juan David Atencio Gomez**

Director

**Camilo Montes, Ph.D.**

Co-Director

**Felipe Lamus, M.Sc.**



Pregrado de Geología  
Departamento de Física y Geociencias  
Universidad del Norte  
Barranquilla

Noviembre 2021

## **Agradecimientos**

*A mi familia por apoyarme incondicionalmente en mis decisiones y estar siempre disponibles como fuente de inspiración para crecer.*

*A mi director de tesis Camilo Montes quien constantemente me guió en el desarrollo del trabajo de grado, en mi vida universitaria y en mi recién iniciada vida profesional.*

*A mi codirector Felipe Lamus por sus consejos y apoyo en el proceso de conteos, por sus sugerencias en el documento del proyecto de grado.*

*A mis amigos y colegas Carlos Ortiz, Daniel Fernandez y Daniel Acosta por su apoyo en la parte petrográfica.*

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	1
Listado de Figuras .....	2
Resumen.....	4
1. Introducción.....	6
2. Planteamiento del problema.....	7
3. Objetivos generales.....	8
4. Objetivos específicos.....	8
5. Metodología.....	8
6. Marco geológico.....	8
6.1. Unidades Pre-Oligocenas.....	9
6.2. Unidades Oligocenas.....	10
6.3. Arenisca del Oso.....	11
6.4. Unidades Post-Oligocenas.....	11
6.5. Evolución del Cinturón Plegado de San Jacinto.....	12
6.6. Geología estructural.....	13
7. Resultados.....	14
7.1. Petrografía.....	14
7.2. Descripción Macroscópica.....	15
7.3. Descripción petrográfica.....	16
8. Discusión .....	18
8.1. Fuentes de sedimento PR-2114.....	18
8.2. Fuentes de sedimento PR-2225.....	18
8.3. Posición relativa de las secciones.....	19
8.4. Procedencia.....	20
8.5. Mecanismos de transporte.....	21
9. Conclusiones.....	22
10. Referencias.....	23

## Listado de Figuras

**Figura 1.** Localización de zona de estudio. Localización de las unidades principales del trabajo, Ciénaga de Oro y sus equivalentes estratigráficos.

**Figura 2.** Mapa generalizado del cinturón plegado del San Jacinto, tomado de Gomez, 2015

**Figura 3.** Mapa geológico el Carmen de Bolívar a San Juan Nepomuceno, digitalizado de Hernandez y Gúzman, 1995

**Figura 4.** Tabla de Correlación Cronoestratigráfica del Cinturón Plegado del San Jacinto (Tomado de ANH, 2006)

**Figura 5.** Testigos de roca con aumento estereoscópico.

**Figura 6.** Secciones PR-2225-75.06 (A), PR-2225-63.4 (B) PR-2225-61.9 (C), PR-2114-9.1 (D). En A, B y C se muestra en la izquierda el aumento 4x y a la derecha 10x, en D se muestra a la izquierda nícoles paralelos y en la derecha cruzados.

**Figura 7.** Resultados de la diferenciación de tipos de cuarzos en las secciones del pozo PR-2225 expresados en porcentajes. Nonundulatory (Qr), undulatory (Qo), (Qp-3)Polycrystalline (2-3 crystals) y (Qp+3)Polycrystalline (>3 crystals). A, muestra los resultados obtenidos de cada uno de los tipos de cuarzo diferenciados. B, muestra la abundancia relativa de detritos monocristalinos y policristalinos de cuarzo y a que fuente se asocia según Basu (1975).

**Figura 8.** Resultados de petrografía de este trabajo comparado con los resultados de Ramirez, (1998) y pozo ANH-Tierralta-2X (Osorio et al., 2020). En la parte izquierda aparecen los triángulos de clasificación QFL (Folk 1974), a la derecha de procedencia QmFLt y QtFL (Dickinson, 1985).

## Listado de Tablas

**Tabla 1.** Códigos utilizados en los conteos.

**Tabla 2.** Resultados normalizados de los conteos de puntos realizados en el armazón.

**Tabla 3.** Características texturales de las muestras analizadas.

## Resumen

Debido a la compleja evolución del CPSJ, es necesario el desarrollo de trabajos que esclarezcan el ciclo de cómo se originan, exhuman, transportan, depositan y deforman las unidades de roca del CPSJ. En este trabajo se busca aproximarse a la procedencia de dos unidades del Oligoceno inferior, por medio de análisis petrográficos, para esto se realizó el análisis de 4 secciones delgadas mediante el conteo de 300 granos de armazón por medio del método Gazzi-Dickinson, 3 de las muestras son del pozo PR-2225 del área de Planeta Rica y una de las muestras es del pozo PR-2114. Las tres muestras del pozo PR-2225 se encuentran en el límite cuarzoarenita, subarcosa y sublitarenita en los diagramas de clasificación de Folk (1974), estas muestras se encuentran en el rango de orógeno reciclado según la clasificación de Dickinson (1985). Mientras que la muestra del pozo PR-2114 no fue clasificada bajo ningún diagrama ternario QFL debido a su ausencia de cuarzo, feldespato y líticos. Esta se compone principalmente de olivino, anfíboles, y talco, Además, es subredondeada con baja esfericidad, lo que sugiere una fuente proximal en un sistema fluvial corto desarrollado sobre el basamento ofiolítico de Planeta Rica, posterior a un evento de deformación que da lugar a la exhumación del complejo Ofiolítico de Planeta Rica.

La comparación de los resultados de este trabajo mediante los diagramas de Dickinson (1985) con los aportes de (Osorio et al., 2020 y Ramirez, 1998) muestran que las secciones delgadas del pozo PR-2225 son comparables petrográficamente con las arenitas de la Formación Ciénaga de Oro del pozo Tierralta-2X, mientras que las arenitas trabajadas en Ramirez, (1998) muestran una composición levemente más enriquecida en feldespato y líticos sugiriendo el aporte de una fuente adicional. Sin embargo los ambientes de sedimentación tanto en el sur como en el norte de este trabajo se encuentran asociados a ambientes transicionales de plataforma (Manco et al., 2020 y Ramirez, 1998), por tanto los mecanismos de transporte de sur a norte no son diferentes a grandes rasgos, la complejidad radica en la comprensión de procesos locales donde puede haber influencia de fuentes que se encuentran restringidas a ciertas zonas en específico como es el caso de PR-2114.

Se concluye que las muestras del pozo PR-2225 asociadas a la Formación Ciénaga de Oro se depositan por mezcla de fuentes, con una fuente probablemente asociada a diferentes cuerpos de la Cordillera Central (Manco et al., 2020), las muestras PR-2114 se asocian al complejo ofiolítico de Planeta Rica y la Arenisca del Oso ubicada en la zona norte a una fuente relacionada con el retrabajamiento de las Formaciones Pendales.

## Abstract

Due to the complex evolution of the CPSJ, it is necessary to develop works that clarify the cycle of how the rock units of the CPSJ are originated, exhumed, transported, deposited and deformed. In this work we seek to approach the origin of two units of the Lower Oligocene, by means of petrographic analysis. For this purpose, 4 thin sections were analyzed by counting 300 framework grains by the Gazzi-Dickinson method, 3 of the samples are from well PR-2225 in the Planeta Rica area and one of the samples is from well PR-2114. The three samples from well PR-2225 are in the quartzarenite, subarcose and sublitharenite limit in the classification diagrams of Folk (1974), these samples are in the recycled orogen range according to the classification of Dickinson (1985). While the sample from hole PR-2114 was not classified under any ternary QFL diagram due to its absence of quartz, feldspar and lithics. This is mainly composed of olivine, amphibole, and talc, In addition, it is subrounded with low sphericity, suggesting a proximal source in a short fluvial system developed over the ophiolitic basement of Planeta Rica, subsequent to a deformation event resulting in the exhumation of the Planeta Rica ophiolitic complex.

The comparison of the results of this work using Dickinson's diagrams (1985) with the contributions of (Osorio et al., 2020 and Ramirez, 1998) show that the thin sections of the PR-2225 well are petrographically comparable with the sandstones of the Ciénaga de Oro Formation of the Tierralta-2X well, while the sandstones worked in Ramirez, (1998) show a slightly more enriched composition in feldspar and lithics suggesting the contribution of an additional source. However, the sedimentation environments both in the south and north of this work are associated with transitional platform environments (Manco et al., 2020 and Ramirez, 1998), therefore the transport mechanisms from south to north are not different in broad terms, the complexity lies in the understanding of local processes where there may be influence of sources that are restricted to certain specific zones as in the case of PR-2114.

It is concluded that the samples from well PR-2225 associated to the Ciénaga de Oro Formation are deposited by a mixture of sources, with a source probably associated to different bodies of the Central Cordillera (Manco et al., 2020), the PR-2114 samples are associated to the Planeta Rica ophiolitic complex and the Oso Sandstone located in the northern zone to a source related to the reworking of the Pendales Formation.

## 1. Introducción

El cinturón plegado de San Jacinto (CPSJ) es producto de un evento de deformación producido por la subducción de la placa del Caribe bajo la placa Suramericana durante el Neógeno (Mora et al., 2017; Cardona et al., 2012; Flinch, 2003). Esta estructura está dividida en 3 segmentos; Anticlinorio de Luruaco (Norte), Anticlinorio de San Jacinto (Centro) y Anticlinorio de San Jerónimo (Sur). La deformación fue el resultado de una convergencia post-colisional que desarrolló un sistema dextral de transpresión - transtension permitiendo la instalación de diferentes ambientes sedimentarios. Durante el Oligoceno en el CPSJ, se desarrollaron ambientes que van desde marino somero hasta ambientes deltaicos.

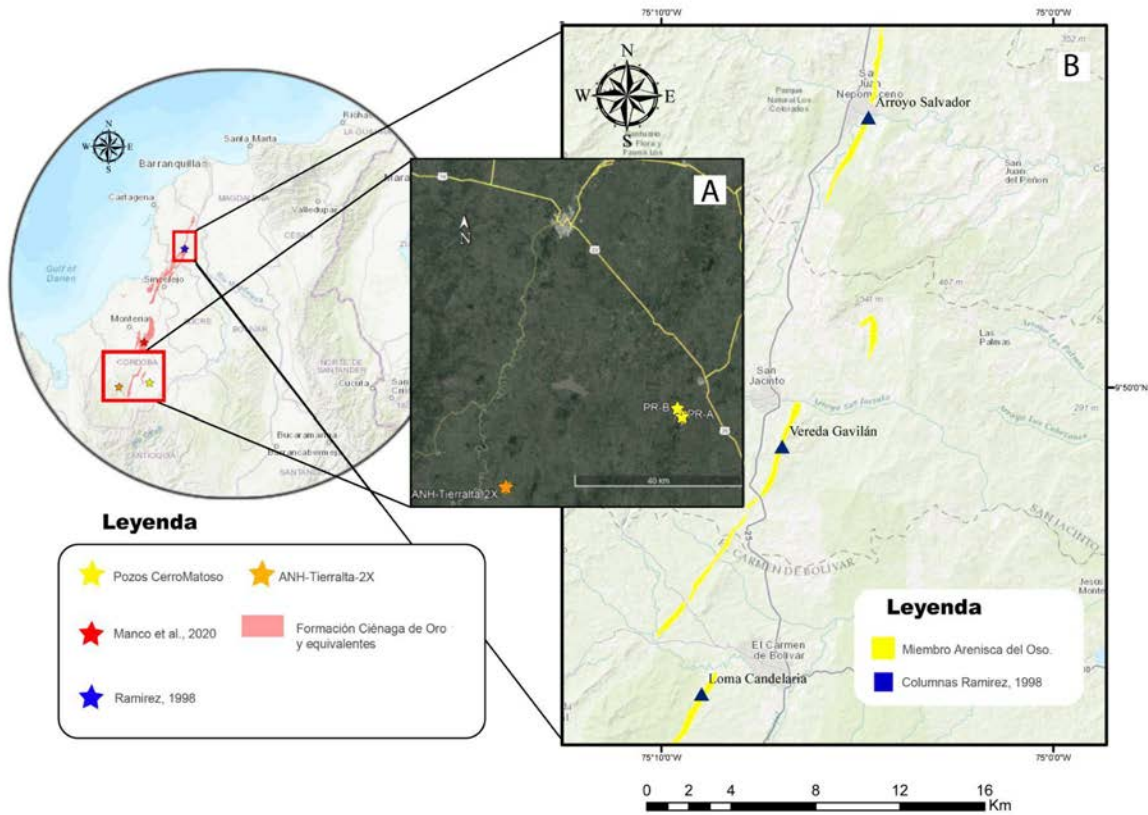
Dichos ambientes son registrados por la Formación Ciénaga de Oro (Fm CdO) y sus equivalentes (Guzman et al., 2004 ; Osorio et al., 2019). La Formación Ciénaga de Oro se divide en Ciénaga de Oro superior y Ciénaga de Oro Inferior, unidades separadas por una discordancia regional (Mora et al., 2018). Esta unidad suele ser definida como una unidad heterópica isocrona (Bermudez, 2009), por lo que es posible observar variaciones en los análisis composicionales no solo de la Fm CdO sino también en las unidades infrayacentes (Osorio et al., 2019; Cardona et al., 2012; Mora et al., 2017). Dichos cambios composicionales pueden ser el resultado de diferentes factores como variaciones locales de la fuente, variaciones asociadas a la cercanía o lejanía de la fuente, y a variaciones laterales de los ambientes sedimentarios. Según Manco et al., (2020) las fuentes de la Formación Ciénaga de Oro pueden estar asociadas a la Cordillera Central y a la Cordillera Occidental, debido a que los principales componentes de los minerales pesados se asocian a rocas félsicas o pegmatitas graníticas como fuente principal. Además se asocian como fuente secundaria rocas ígneas máficas.

Debido a la compleja evolución del CPSJ, es necesario el desarrollo de trabajos que esclarezcan el ciclo de cómo se originan, exhuman, transportan, depositan y deforman las unidades de roca del CPSJ. Métodos asociados a las relaciones de campo como identificación y correlación de ambientes sedimentarios, conteo de clastos, petrografía detallada, permiten aproximarse a la identificación de las fuentes de sedimentos, que tanto y cómo se transportan dichos sedimentos (Nichols, 2009). Este trabajo busca dar una primera aproximación al cómo se depositan, cuándo, y de donde provienen los sedimentos de las unidades Oligocenas ubicadas en el CPSJ asociadas al segmento inferior de la Formación Ciénaga de Oro. Esto a través de conteos de rocas sedimentarias en 4 secciones delgadas y el análisis a partir de la compilación de datos petrográficos de otros trabajos.

En este trabajo comparo análisis petrográficos descritos en fuentes bibliográficas con muestras desarrolladas en este trabajo, en secuencias del Oligoceno en el CPSJ. Intervalo de tiempo asociado a la Formación Ciénaga de Oro y al Miembro Arenisca del Oso unidades equiparables cronoestratigráficamente en base a la información bioestratigráfica de (Duque-Caro et al., 1996) que sugiere una edad Oligoceno Superior para la Arenisca del Oso debido a la presencia de microfauna de foraminíferos planctónicos (Zona de Globorotalia opima opima).

En este trabajo primero hago una compilación de información estratigráfica existente en los alrededores de los municipios San Juan Nepomuceno, San Jacinto, Carmen de Bolívar y Planeta Rica (Fig. 1). Utilicé como base: Sección occidental de la plancha 38 (Duque-Caro et al., 1996) y planchas 1:25000: 38-I-A, 38-I-C, 38-III-A y 38-III-C del IGAC, y la información disponible de Ramírez., (1988), y los artículos de Osorio Granada et al., (2019) y Manco et al., (2020). Para

complementar esta información bibliográfica, uso petrografía detallada de arenitas en cuatro secciones delgadas suministradas por la empresa South 32.



**Figura 1.** Localización de zona de estudio. Localización de las unidades principales del trabajo, Ciénaga de Oro y sus equivalentes estratigráficos. Polígonos tomados de las planchas geológicas del SGC.

## 2. Planteamiento del problema

La Formación Ciénaga de Oro corresponde a un único evento de acumulación que varía lateralmente. Esta formación se distribuye desde el Anticlinorio de Luruaco (límite norte) hasta el anticlinorio de San Jerónimo (límite sur) en el CPSJ incluyendo todas sus unidades equivalentes (Figura 2). Dichas unidades varían entre secuencias de areniscas a lodolitas en toda su extensión dentro del CPSJ (Bermudez et al., 2009). Por lo que las fuentes de sedimentos, que tanto se transportan y cómo se transportan dichos sedimentos puede variar en función de la localidad (latitud de sedimentación de la roca). La Formación Ciénaga de Oro se asocia generalmente a paleoambientes marinos relativamente someros (en promedio con batimetrías menores a 50 m). Generalmente asociados a una alta productividad orgánica y con sedimentación en zonas del litoral con influencia continental. Se interpreta que la acumulación de dichas rocas (Fm CdO) tuvo lugar en ambientes deltaicos a marinos someros (Bermudez et al., 2009;). Por lo que sabiendo que la Formación Ciénaga de Oro es el equivalente sur del Miembro de la Formación el Carmen “Arenisca del Oso” (Objeto de este trabajo). Surge la pregunta ¿Que variaciones en las fuentes, y en los mecanismos de transporte hay entre la Formación Ciénaga de



Oro y el Miembro Arenisca del Oso?. ¿Hay realmente variaciones en dichos procesos?, además ¿a qué fuentes se encuentran asociadas cada una de estas unidades?.

### **3. Objetivos generales**

- Determinar las fuentes de sedimentos de la formación Ciénaga de Oro en el sector de Planeta Rica.
- Comparar y diferenciar las fuentes entre la sección basal de la Formación Ciénaga de Oro y el Miembro Arenisca del Oso.

### **4. Objetivos específicos**

- Determinar la composición mineral y textural de las muestras del área de Planeta Rica asociadas a la Formación Ciénaga de Oro
- Analizar y definir las variaciones en la proximidad y fuentes entre la Arenisca del Oso y el segmento inferior de la Formación Ciénaga de Oro en Planeta Rica.

### **5. Metodología**

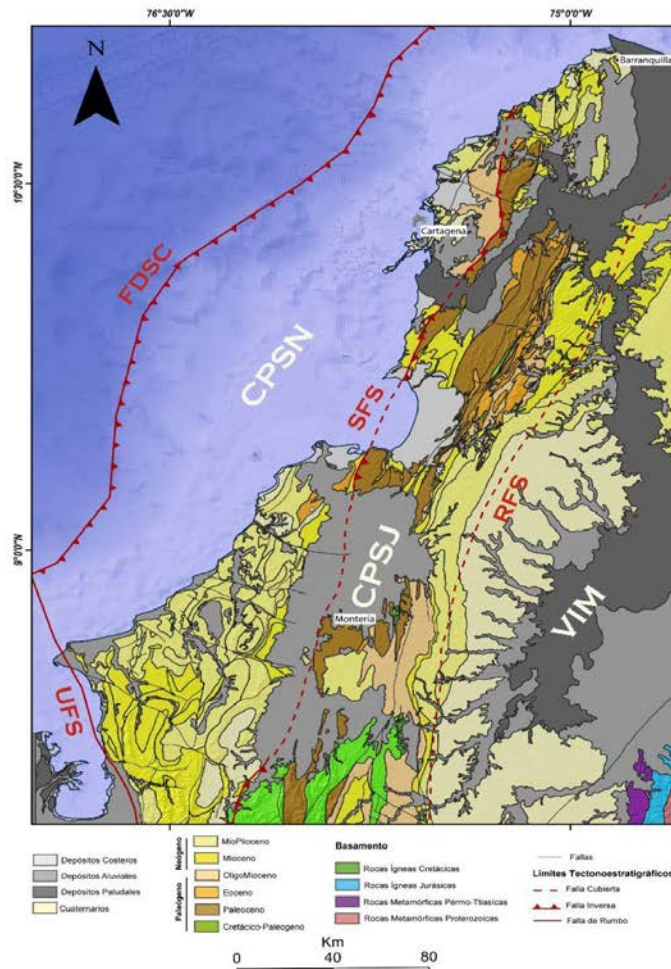
Se realizó una compilación bibliográfica de los diferentes parámetros que se encuentran asociados a la génesis y procedencia del Miembro Arenisca del Oso y la Formación Ciénaga de Oro por medio de petrografía detallada, además se analizaron 4 secciones delgadas suministradas por la empresa South 32.

Se realizaron conteos de granos en 4 secciones delgadas provenientes de pozos del área de Cerro Matoso (Fig. 1) de la Formación Ciénaga de Oro. Se realizaron conteos de 300 granos de armazón utilizando el método Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984). Finalmente son calculadas la madurez mineralógica y textural (Folk, 1974), y graficadas en los triángulos de clasificación y proveniencia de Folk (1974) y Dickinson (1985) a partir de las tablas de Zahid et al., (2011). Además se describen las secciones de manera macroscópica con los testigos de las secciones delgadas.

### **6. Marco geológico**

El Cinturón Plegado de San Jacinto (CPSJ) es un cinturón de cabalgamiento y pliegues estrechos y alargados con sus flancos fallados con vergencia hacia el noroccidente, con rumbo en sentido nororiente - suroccidente (Fig. 2). Los límites del CPSJ, están marcados por sus cuencas vecinas al occidente y oriente, cuenca del Sinú (CPS) y cuenca del Valle Inferior del Magdalena respectivamente. Específicamente limita al occidente con el lineamiento del Sinú y al oriente con el lineamiento de Romeral (SFR). Los límites norte y sur son respectivamente la Falla de

Oca y las estribaciones de la Cordillera Occidental (Aguilera, 2011). Se divide en 3 segmentos; Anticlinorio de Luruaco (Norte), Anticlinorio de San Jacinto (Centro) y Anticlinorio de San Jerónimo (Sur).



**Figura 2.** Mapa generalizado del cinturón plegado del San Jacinto, tomado de Gomez, (2015).

### 6.1. Unidades Pre-Oligocenas

El CPSJ se compone de un basamento Cretácico de afinidad de corteza oceánica suprayacido por la Formación Cansona con edad de Santoniano-Maastrichtiano, y se compone de arenitas, lodolitas calcáreas con alto contenido de foraminíferos, cherts y conglomerados dentro de una secuencia transgresiva–regresiva (Alfonso et al., 2009). Ambiente que ha sido interpretado como marino nerítico medio a batial (GEOTEC, 1997), ambiente de baja energía y niveles superficiales del mar (Alfonso et al., 2009), y también como ambiente batial profundo a pelágico (Guzmán, Clavijo, & Barrera, 1994).

Suprayaciendo a la Formación Cansona se encuentra la Formación San Cayetano con un contacto discordante, hiato aproximadamente del Paleoceno inferior al Paleoceno superior. La Formación San Cayetano con rango de edades entre Paleoceno superior a Eoceno inferior, se compone de conglomerados polimícticos clasto soportados, compuestos por chert, fragmento de andesitas-riolitas y limolitas, bloques de calizas y litoarenitas, dispuesta en capas discontinuas

lateralmente con gradación normal. Alfonso et al., (2009) propone para la Formación Arroyo Seco (correlacionable con la Formación San Cayetano) se deposita en un ambiente deltaico (abanicos de delta), relativamente superficial, asociado a eventos de alta energía así como depósitos de ríos y deltas trenzados, adyacentes al área costera.

Por encima estratigráficamente se encuentra la Formación Chengue y Maco sobre las que reposa la Formación San Jacinto. Las Formación Chengue y Maco tienen un contacto discordante (Discordancia Eoceno inferior - Eoceno medio) con la Formación San Cayetano, Además la Formación Chengue corresponde a la parte superior del Eoceno Medio. Guzmán et al., (2004) la describen como una serie de calizas bioesparíticas con algas y lodolitas calcáreas (margas) con laminación plano paralela y contenido de microfauna de ambiente marino poco profundo. Mientras que la Formación Maco es descrita por Guzmán et al., (2004) como una secuencia de litoarenitas arcósicas de grano medio a conglomeráticas con matriz arenosa, en capas medias a gruesas, de color amarillo oscuro con algunos fragmentos calcáreos naranja pálido, y fragmentos angulares de calizas y rocas ígneas e intercalaciones de lodolitas color café, de ambiente de abanico deltaico desarrollado en plataforma marina.

La Formación San Jacinto se compone de lodolitas calcáreas, limolitas, areniscas arcósicas y calizas algáceas. El registro de la microfauna de dicha unidad registra una variación de ambiente marino somero (Guzman et al., 2004). Además, esta es reportada como “conglomerado basal” con granulometrias que van desde arena a grava con fragmentos de lodolitas ferruginosas calcáreas, fragmentos de granito y pórfidos, clastos de calizas, cherts negros y cuarzos lechosos (Guzman et al., 2004). En la parte inferior, se compone de arenitas cuarzosas subarcósicas, grano fino a muy grueso y conglomeráticas, ocasionalmente glauconíticas, cemento calcáreo, dispuestas en capas gruesas, grano decrecientes, presencia de conchas gruesas de ostreidos y restos de plantas (Guzman et al., 2004).

## **6.2. Unidades Oligocenas**

La Formación Ciénaga de Oro es depositada en un ambiente deltaico transicional (Dueñas, 1986). Esta corresponde a un único evento de acumulación que varía lateralmente. Está compuesta de areniscas conglomeráticas, areniscas y lutitas. Según Manco et al., (2020) La Formación Ciénaga de Oro se divide en dos miembros diferenciados por la granulometría. Dichas diferencias se interpretan con diferentes ambientes de depositación. Para el miembro inferior se asocian granulometrías finas como lutitas, areniscas glauconíticas y arcillas, interpretadas como ambientes marinos. El miembro superior se define como secuencias deltaicas de transición compuestas por areniscas conglomeráticas, limolitas y carbón (Dueñas y Duque-Caro, 1981; Guzmán et al., 2004; Mora et al., 2018).

La Formación El Carmen (Fig. 3) es correlativa con la Formación Ciénaga de Oro (Fig. 4). Hacia el este del cinturón de San Jacinto dicha Formación (Fm. El Carmen) se compone de lodolitas bioturbadas con algunos foraminíferos planctónicos y venas de yeso y sulfuro (Guzmán et al., 2004), rocas depositadas en un ambiente interno de cuenca marginal, restringida y relativamente anóxica con aporte de material terrígeno y precipitación de carbonatos junto con relativa bioturbación, en ecosistemas marinos que varían entre los 200 metros y los 600 metros de profundidad (Clavijo & Barrera, 1999; Duque-Caro, et al., 1996). Hacia la base de esta unidad de roca se encuentra el nivel de arenita lítica denominada como Miembro Arenisca del Oso.

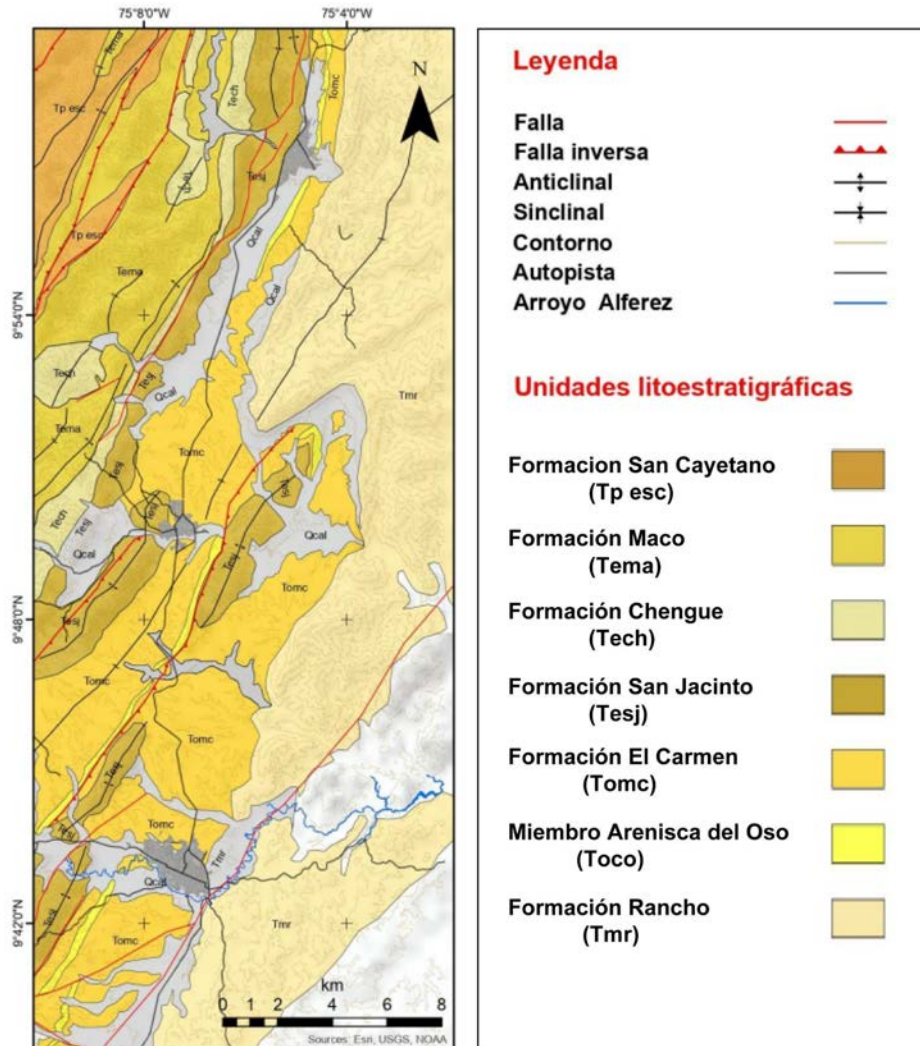
### **6.3. Arenisca del Oso**

Duque-Caro et al. (1996) refieren que el nombre de Arenisca del Oso es un término empleado en la literatura petrolera. La primera publicación que existe en la literatura geológica corresponde a la memoria de la cartografía de la Plancha 38 (Duque-Caro et al., 1996), en donde se le dio el rango de miembro de la Formación El Carmen, el cual no es continuo lateralmente. El Miembro Arenisca del Oso constituye un nivel característico que se presenta hacia la base de la Formación El Carmen. En general corresponde a una secuencia de capas gruesas a muy gruesas de cuarzo arenitas calcáreas gruesas a guijarrosas. Es variable de sur a norte en el sector de Carmen de Bolívar, tanto en espesor de los estratos, como en su textura. En el sector norte (Lomas de Cristóbal Colón), alcanza un espesor de 35 m y corresponde a una secuencia de capas gruesas a muy gruesas de cuarzoarenitas de grano medio a grueso, conglomeráticas, en una matriz calcárea. Hacia el sur, donde se hace más espesa (sección Lomas del Viento-Lomas de La Candelaria), se presentan 75m de una secuencia de capas gruesas a muy gruesas de cuarzo arenitas calcáreas, granos redondeados a subredondeados, con contenido de glauconita y abundantes bioclastos de bivalvos y macroforaminíferos.

El contacto inferior del Miembro Arenisca del Oso con los sedimentos arcillosos de la Formación El Carmen es inconforme mientras que el contacto superior también con sedimentos de la Formación El Carmen es conforme y gradual, según Duque-Caro et al. (1996), las características tanto litológicas como texturales del Miembro Arenisca del Oso muestran una sedimentación en un ambiente asociado a una cuenca marginal interna (“inner borderland basin”), restringida y relativamente anóxica con aportes de limo, lodo y precipitación de carbonatos, con invasión ocasional de organismos que producen bioturbación tal como se mencionó al principio. Según Ramírez (1998) la asociación de facies de las secciones estratigráficas descritas en la Loma La Candelaria, en las inmediaciones de la hacienda Bajo del Oso y en la vereda Gavilán es típica de un abanico submarino.

### **6.4. Unidades Post-Oligocenas**

La unidad más reciente de la zona de estudio es la Formación Rancho, esta se encuentra suprayaciendo discordante sobre la Formación El Carmen. Es descrita por Guzmán et al., 2004 como una secuencia de areniscas con algunas limolitas arcillosas. Interpretada por Petters & Sarmiento, (1956) como una unidad depositada en un ambiente nerítico (entre los 200 y 400 m). Además con un sustrato con contenido bajo en oxígeno. Mientras que Duque-Caro et al., (1996) determinan que esta formación se depositó en un ambiente batial inferior (entre 2000 y 1000 m) con forma lobular, asociado a facies de abanico con predominancia de arenas y lodos transportados hacia la plataforma y canalizadas por el cañón submarino. Esta formación consiste en capas muy gruesas a gruesas de areniscas de grano muy fino a conglomeráticas, con intercalaciones de lodolitas y arcillolitas, en capas medias a gruesas, con abundantes fragmentos fósiles hacia el tope (Guzmán et al., 2004).



**Figura 3.** Mapa geológico el Carmen de Bolívar a San Juan Nepomuceno, digitalizado de Hernandez y Gúzman, 1995

### 6.5. Evolución del Cinturón Plegado de San Jacinto

La deformación que da origen al CPSJ es producto de un terreno alóctono de afinidad oceánica que colisiona con el margen continental sudamericano. Durante el Cretácico Tardío existía un arco intraoceánico activo, con subducción hacia el occidente. Además, con movimiento NE respecto al continente suramericano (Montes et al., 2019), consumiendo a su vez litosfera Atlántica. Durante el Paleoceno dicho arco colisiona con el margen continental Suramericano dando lugar a la inversión de la subducción del arco intraoceánico, permitiendo el enfriamiento de los plutones, empezando la subducción de la placa Caribe bajo la placa Suramericana y provocando un aumento en las tasas de acortamiento dando como resultado el periodo de no depositación entre Cretácico Tardío y Paleoceno inferior (Mora et a., 2017).

Durante el Cretácico Tardío al Paleoceno, en el occidente del sistema de fallas de Romeral se desarrollaron sobre el basamento de afinidad oceánica ambientes de sedimentación marina profunda, dando como resultado la deposición de shales, chert y ocasionalmente turbiditas, Formación Cansona (Aguilera, 2011). Posiblemente asociado a una configuración de trinchera relacionada a la subducción de la placa Caribe bajo la placa suramericana (Flinch, 2003). Por otro lado, al oriente del sistema de fallas de Romeral no hubo depositación.

A partir del Paleoceno la sucesión sedimentaria registra el colapso orogénico en la Formación San Cayetano (Cardona et al., 2012). Dicho colapso se asocia a la inversión de la subducción de la placa Caribe y a una subducción boyante de esta, por debajo de Suramérica (Cardona et al., 2012). Desde mediados del Eoceno superior al Oligoceno, se desarrollan sedimentos principalmente turbidíticos depositados sobre cuencas Piggy Back y estructuras en cuña (Flinch, 2003). A finales del Oligoceno hasta el Mioceno medio ocurre un evento transgresivo, que permite la sedimentación en ambientes marinos someros y deltaicos sobre el límite entre el VIM y el CPSJ (Alfonso et al., 2009). Mientras que durante el Mioceno se dio la inversión de las fallas normales preexistentes del Oligoceno generando procesos regresivos. La sedimentación de las cuencas Piggy Back cambió de ambiente marino a transicional y posteriormente a continental. Cambio asociado a regresiones producidas por levantamiento de las cuñas de acreción.

## ***6.6. Geología estructural***

La zona de estudio norte relacionada con la Arenisca del Oso está localizada estructuralmente al norte de la Falla de Loba. Además, dentro de las estructuras conformadas por el Cinturón Plegado de San Jacinto, en el segmento del Anticlinorio de San Jacinto, esta zona se caracteriza por estructuras anticlinales y sinclinales alargadas con fallamiento paralelo a N20°E (Duque-Caro et al., 1996) aproximadamente. Las estructuras anticlinales y sinclinales (franjas deformacionales) tienden a ser más jóvenes y menos complejas en dirección este de la zona de estudio. Por otro lado, las unidades más antiguas y estructuras más complejas se encuentran al occidente de la zona de estudio en la zona axial del Anticlinorio de San Jacinto. El Área de estudio se divide en 3 segmentos estructurales diferentes definidos como franjas progresivas deformacionales de San Jacinto, Maco-Chengue y San Cayetano (Duque-Caro et al., 1996).

		Chenevart 1963	Bueno 1970	Duque-Dueñas. 1987		Ingeominas. 1983		Guzmán-et al. Ingeominas 1998. Plancha 37.	Ecopetrol 2001.
		A. San Jacinto	A. Luruaco	A. San Jacinto	A. Luruaco	A. San Jacinto	A. Luruaco		
QUATERNARY	HOLOCENE								
	PLEISTOCENE								
NEOGENE	PLIOCENE	1.81							
		2.58							
	3.60								
	5.33								
	7.1								
MIOCENE		11							
		13.6							
		16.4							
		19.1							
		23.8							
PALEOGENE	OLIGOCENE								
	EOCENE								
	PALEOCENE								
UPPER/LATE									

**Figura 4.** Tabla de Correlación Cronoestratigráfica del Cinturón Plegado del San Jacinto (Tomado de ANH, 2006)

## 7. Resultados

En esta sección describo los hallazgos a partir de la petrografía de una sección delgada de arenita con edad no determinada y otras 3 en secuencias del Oligoceno inferior en el sector de Planeta Rica.

### 7.2 Petrografía

Las secciones delgadas fueron tomadas de dos pozos de South 32 Cerro Matoso. Los pozos se ubican aproximadamente a 10 kilómetros al suroccidente del municipio de Planeta Rica. Las muestras PR-2225 se clasifican en función de la profundidad a la cual fueron recolectadas (ej. PR-2225-75.06 fue colectada a 75.06 metros de profundidad). Los dos pozos tratados en este documento se encuentran separados por 2 kilómetros, al occidente se encuentra PR-2225 y al oriente PR-2114.

En la tabla 1 se muestran los tipos de granos contados con sus respectivos códigos. En la tabla 2 se muestran los resultados normalizados de los conteos de puntos. El agrupamiento de armazón, material intersticial, granulometría, redondez y esfericidad se encuentran en la tabla 3. Los testigos y fotografías de cada sección al microscopio se encuentran en las Figuras 7 y 8

respectivamente, en la Figura 9 se muestran los porcentajes de cada tipo de cuarzo diferenciado en este trabajo.

**Tabla 1.** Códigos utilizados en los conteos.

Abrev.	Nombre	Descripción
Lu	Lítico indiferenciado	Fragmentos líticos no diferenciados
Mic	Micas	Minerales con colores de interferencia de 3er orden con relieve bajo y hábito basal.
Opac	Opacos	Oxidos, sulfuros, entre otros
Tcl	Talco	Mineral con colores de 4to orden, generalmente alterando olivino y anfíbol
Ls	Lítico sedimentario	Chert y arenitas
Lm	Lítico metamórfico	Filitas y cuarzos foliados
Sp	Serpentina	Mineral de alteración sobre el amazón, altera generalmente olivino y anfíboles
Qf	Cuarzo foliado	Cuarzo con cristales orientados
Qp	Cuarzo policristalino	Son diferenciados con base en si la cantidad de cristales dentro de un grano es superior o inferior a 3
Qm	Cuarzo monocristalino	Son diferenciados por su tipo de extinción (ondulante o recta)
Ol	Olivinos	Mineral con color de interferencia de 3er orden y relieve muy alto
Px	Piroxenos	Minerales no pleocroicos con relieve medio-alto, color de interferencia de 2do orden y con clivaje característico
Am	Anfíboles	Minerales pleocroicos con relieve medio-alto, color de interferencia de 2do orden y con clivaje característico
Zr	Circon	
Ind	Grano indiferenciado	
F	Feldespato	

### 7.3. Descripción macroscópica

Los testigos de las muestras se encuentran en la Figura 7 con sus respectivos aumentos a través de estereoscopio. Se describen las secciones desde la más profunda a la menos profunda.

En la muestra de mano PR-2225-75.06 (Fig. 7A) se observa un color clasificado en la escala de Munsell como 7.5YR 8/1, tamaño de grano tipo arenisca fina a media, con selección moderada. Granos de cuarzo reconocibles subredondeados y en general esféricos, se observan múltiples minerales de lustre metálico (brillante) con hábito planar (Micas).

Para muestra de mano PR-2225-63.4 (Fig. 7B) El color sigue siendo gris claro o 7.5YR 8/1 bajo la escala de colores de Munsell. La selección es pobre, además la granulometría aumenta a grano

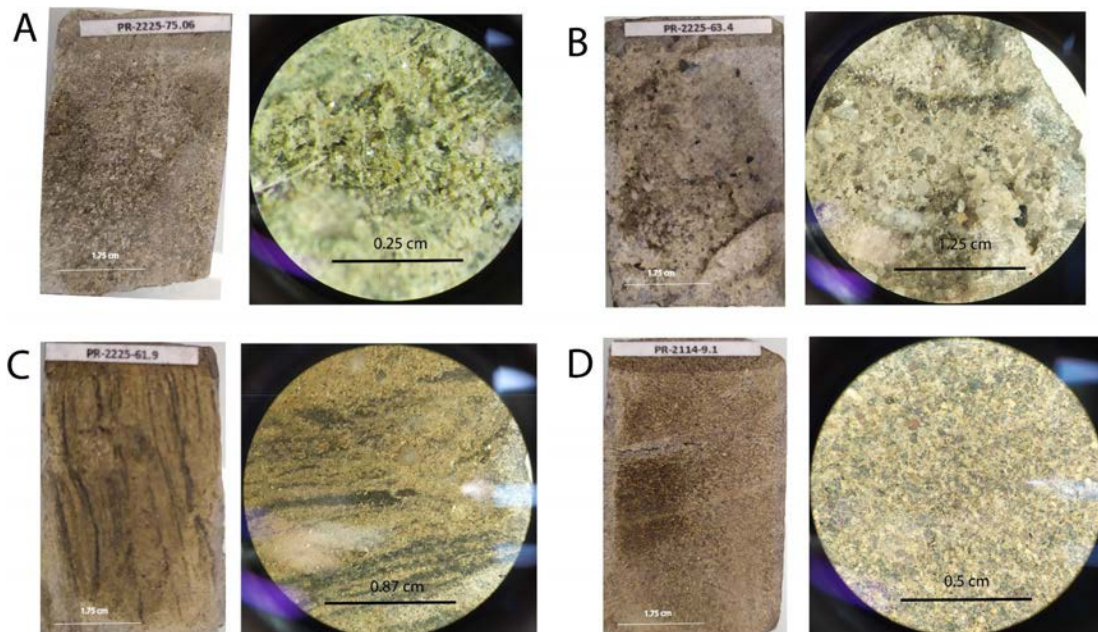


medio. No son reconocibles las micas en vista macroscópica, se hace evidente la presencia de granos negros (líticos).

En muestra de mano PR-2225-61.9 (Fig. 7C) la granulometría pasa a fino, con buena selección, aparecen nuevamente las micas, el color de la muestra es un poco más oscuro, amarillo-café 10YR 8/4 con lo que parecen ser laminas onduladas con separación centimétrica entre laminas negras (10YR 3/2), probablemente lodos y lo amarillo-café (armazón).

Con base en sus características macroscópicas este conjunto de rocas se diferencian en sus composiciones de minerales minoritarios (ej. micas), en su granulometría y selección, donde en vista macroscópica en PR-2225-75.06 y PR-2225-61.9 es evidente la presencia de micas, mientras en PR-2225-63.4 no es claro. La selección y la granulometría de cada una de las muestras es diferente pasando por buena, moderada y pobre. PR-2225-61.9 (Fig. 7C) muestra láminas de lodo que no son observadas en ninguna otra muestra.

La muestra de mano PR-2114-9.1 (Fig. 7D) perteneciente a otro pozo muestra un color gris-rojizo (7.5YR 6/2), es subangular a subredondeado con abundantes granos de color negro y blancos. PR-2114 se observa claramente diferente al resto de muestras.



**Figura 5.** Testigos de roca con aumento estereoscópico.

#### **7.4. Descripción petrográfica**

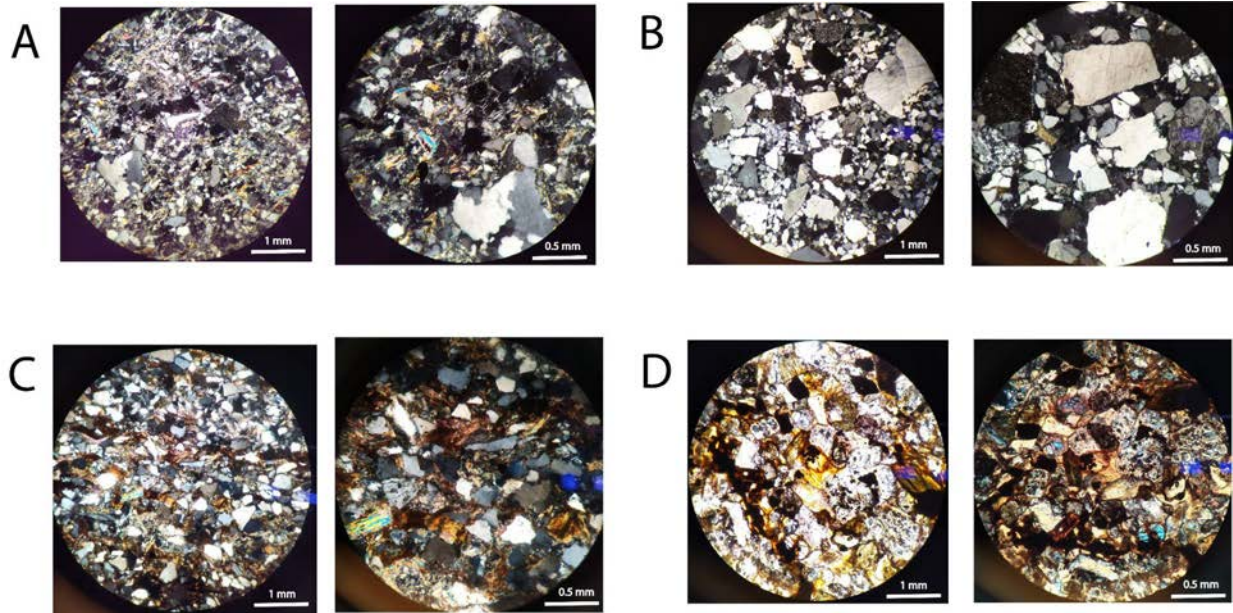
Las muestras PR-2225 son secciones delgadas (Fig. 8) que fueron tomadas del mismo pozo a diferentes profundidades, 75.06 metros, 63.4 metros y 61.9 metros. Estas muestran en todos los casos predominancia del cuarzo monocristalino sobre el 40% y alrededor del 20% de cuarzo policristalino. Los tipos de cuarzos presentes en las secciones PR-2225 son tratados a mayor detalle en la Figura 9. El porcentaje de líticos se mantiene alrededor del 5% (Tabla 2).

Específicamente PR-2225-75.06 se caracteriza por contenido en cuarzo monocristalino en el orden 43%, siendo estos valores similares a los de PR-2225-63.4 con 44% y a los de PR-2225-61.9 con 43.93 (Tabla 2). El cuarzo policristalino empieza con menores porcentajes en la muestra PR-2225-61.9 (11.65%), 17% en la muestra PR-2225-75.06 y un 32% para la muestra PR-2225-63.4. El porcentaje de feldespato para cada una de estas se mantiene por debajo del 5%, el litico predominante para las tres muestras es el sedimentario, el más común fue el chert, los porcentajes se mantienen entre 2.72% y 4.06%. El porcentaje de micas es superior en aquellas muestras de menor granulometría, el circón y los minerales opacos son raros en estas 3 secciones. La matriz es arcillosa, es más abundante en PR-2225-61.9 con un porcentaje de 27.18%, seguido de PR-2225-75.06 con un 22.08% (Tabla 3). En los dos casos es observable una matriz probablemente arcillosa y abundantes minerales de la arcilla. Las tres secciones se encuentran en el límite de cuarzo arenita, subarcosa y sublitarenita bajo el diagrama de Folk (1980) (Fig. 10), los diagramas de procedencia QmFLt y QtFL (Fig. 10) muestran que a las muestras de profundidad 75.06 m y 69.4 m se encuentran asociadas a Cratón interior y 61.9 m a Orógeno reciclado, sin embargo este valor se encuentra muy cercano al límite entre Orógeno reciclado y Cratón interior, todo esto para el diagrama QtFL, respecto a QmFLt la muestra de profundidad 63.4 m se encuentra en un orógeno reciclado transicional, mientras las otras dos se ubican en orógeno reciclado.

**Tabla 2.** Resultados normalizados de los conteos de puntos realizados en el almacén

Número de muestra	Total puntos								Qp		Qm		Líticos			Accesorios				
		Ol	Px	Am	Tlc	Sp	Ind	Qf+3	Qf-3	Qp+3	Qp-3	Qo	Qr	F	Ls	Lm	Lu	Mic	Opac	Zr
PR-2114-9,1	333	6,91	0,9	12,91	30,3	15	7,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	16,8	0,00
PR-2225-75,06	389	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,29	0,00	10,28	5,66	17,99	25,71	3,34	5,40	0,77	0,26	4,37	3,08	0,26
PR-2225-63,4	184	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,76	2,72	8,15	5,43	27,72	16,30	1,63	2,72	2,17	1,09	1,09	0,54	0,00
PR-2225-61,9	412	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	0,00	5,41	5,90	17,44	27,03	2,46	2,21	0,00	0,00	10,32	2,18	0,25

La muestra PR-2114 no fue clasificada bajo ninguno de los diagramas ternarios QFL debido a que sus componentes en cuarzo, feldespato y líticos son nulos, por dicha razón esta es analizada de manera independiente, sin diagramas QFL. La muestra PR-2114 se compone principalmente de olivinos, anfíboles y minerales de alteración como el talco y la serpentina. Los conteos de talco y serpentina posiblemente se traten de olivino, anfíboles y piroxenos alterados, puesto que estos se alteran a minerales como el talco y serpentina, además en las secciones es reconocible (Figura 8 D) en algunos granos minerales como el olivino es alterado por talco. Si se asume como real este supuesto la muestra pasaría de ser 6.9% olivino y 12.9% anfíbol (Tabla 2) a estar compuesta casi en su totalidad por estos granos minerales.



**Figura 6.** Secciones PR-2225-75.06 (A), PR-2225-63.4 (B) PR-2225-61.9 (C), PR-2114-9.1 (D). En A, B y C se muestra en la izquierda el aumento 4x y a la derecha 10x, en D se muestra a la izquierda nicóles paralelos y en la derecha cruzados.

## 8. Discusión

### 8.1. Fuentes de sedimento PR-2114

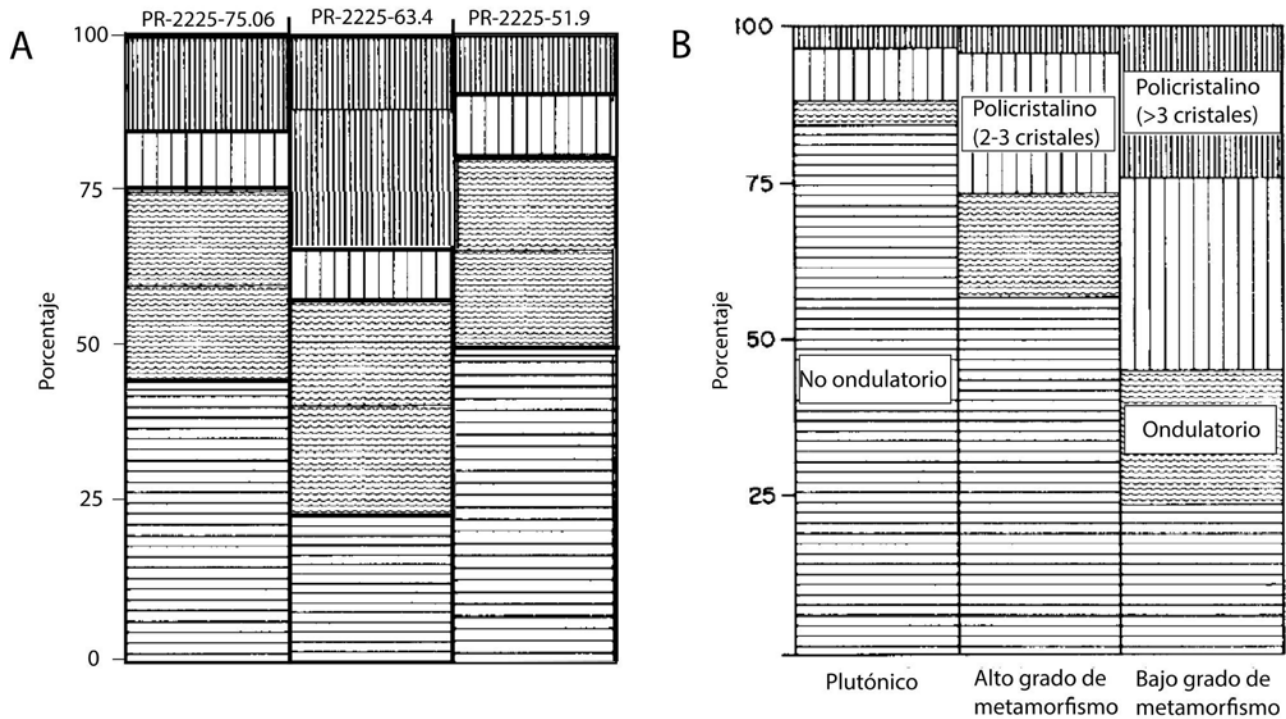
La singular composición de la muestra PR-2114 muestra un grado extremo de inmadurez composicional, mientras que su textura es similar (Fig. 8, Tabla 3) a las otras muestras analizadas en este estudio. Esto tiene implicaciones importantes en la proximidad con la fuente, puesto que este tipo de minerales no son preservados con facilidad, mucho menos en climas tropicales.

Bajo el supuesto que los minerales de la muestra PR-2114 fueran clasificados como líticos en los diagramas QFL, los resultados estarían muy cercanos en todos los tipos de diagramas a la zona de 100% de líticos, lo que sugiere bajo el diagrama QtFL (Dickinson, 1985) proveniencia de arco. La disección profunda de arcos puede exponer sus raíces batolíticas Dickinson, (1985). En este caso el complejo ofiolítico de Planeta Rica, este tipo de resultados sigue sugiriendo un aporte proximal que permite la conservación de los granos de armazón inestables.

### 8.2. Fuentes de sedimento PR-2225

A partir de la información obtenida en este trabajo se observa que las secciones delgadas de PR-2225 se encuentran dentro del campo de los orógenos reciclados, lo que sugiere que la roca tiene componentes de diferentes fuentes (Dickinson, 1985), es decir, que esta muestra tiene mezcla de fuentes, siendo esta la mayor aproximación que se puede realizar para estas rocas con el uso exclusivo de los diagramas de procedencia de Dickinson (1985), sin embargo Basu, 1975 plantea un método para discriminar fuentes metamórficas de bajo grado, metamórficas de alto-medio grado y fuentes plutónicas en base a los tipos de cuarzos presentes en la roca. Los

resultados son mostrados en la Figura 9. Los porcentajes de cuarzo monocristalino no ondulatorio (Qr) son 42.19% - 21.45% - 48.01%, los de cuarzo monocristalino ondulatorio (Qo) 29.52% - 36.47% - 30.98%, los de Cuarzo policristalino con menos de 3 cristales (Qp-3) 9.29% - 7.14% - 10.48% y los de cuarzo policristalino con más de 3 cristales (Qp+3) 16.87% - 35% - 10.48%, los porcentajes van en el orden del más profundo al menos profundo, es decir de PR-2225-75.06 a PR-2225-61.9.



**Figura 7.** Resultados de la diferenciación de tipos de cuarzoes en las secciones del pozo PR-2225 expresados en porcentajes. Nonundulatory (Qr), undulatory (Qo), (Qp-3)Polycrystalline (2-3 crystals) y (Qp+3)Polycrystalline (>3 crystals). A, muestra los resultados obtenidos de cada uno de los tipos de cuarzo diferenciados. B, muestra la abundancia relativa de detritos monocristalinos y policristalinos de cuarzo y a que fuente se asocia según Basu (1975).

### 8.3. Posición relativa de las secciones

Para uno de los pozos, las muestras ya se encuentran organizadas de una mayor profundidad a una menor profundidad, mostrando entonces estratos más antiguos a mayor profundidad y más recientes a menor profundidad, esto en el caso en que la secuencia no se encuentre invertida. Asumiendo la no inversión de la secuencia se reconoce que PR-2225-75.06 es más antigua que PR-2225-63.4 y PR-2225-63.4 más antigua que PR-2225-61.9. Por otro lado, añadiendo el otro pozo de este trabajo, la unidad más antigua es la muestra PR-2114. Resultado de su alto contenido en inestables como el olivino, anfíbol, piroxeno, opacos, la muestra probablemente se trate de una arenita basal que suprayace al complejo de Planeta Rica por lo que esto estaría sugiriendo que es la unidad de arenita más antigua que puede ser encontrada en las rocas de la zona de estudio.

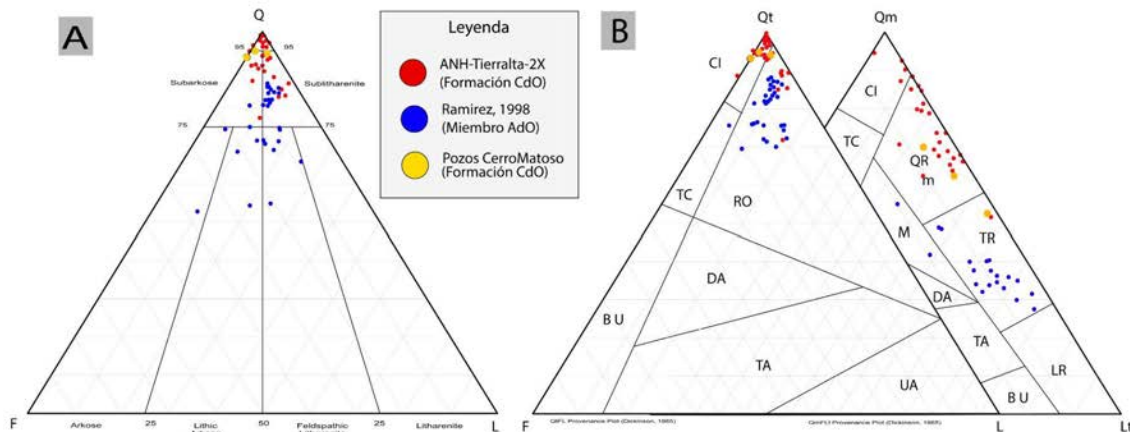
**Tabla 3.** Características texturales de las muestras analizadas

Número de muestra	Total puntos	Tamaño de grano	Redondez	Esfericidad	Selección	Armazón (%)	Intersticial (%)
<i>PR-2225-75.06</i>	389	Fino a medio	Subredondeado	Baja	Moderada	77,92	22,08
<i>PR-2225-63.4</i>	184	Medio	Subredondeado	Moderada a baja	Pobre	85,34	14,66
<i>PR-2225-61.9</i>	412	Fino	Subangular a subredondeado	Baja	Buena	72,82	27,18
<i>PR-2114-9.1</i>	333	Fino a medio	Subredondeado	Baja	Buena	91,89	8,11

#### **8.4. Procedencia**

Las muestras PR-2225 y PR-2114 muestran en los diagramas ternarios graficados en la Figura 10, una distribución similar a la de los resultados del pozo Tierralta-2X presentados en Osorio et al., (2019). Esto puede estar asociado a que este pozo se encuentra ubicado relativamente cercano a la zona donde las muestras de este trabajo fueron extraídas. El sector de la Arenisca del Oso, a ~200 km de distancia presenta un contraste más pronunciado.

Los datos de Tierralta-2X muestran una dispersión mayor que las muestras de este trabajo. Debido al reducido número de secciones que son analizadas en este trabajo posiblemente no se observa este patrón. De manera general, sin poner especial atención a la cantidad de datos de este trabajo, es posible asumir que al menos petrográficamente las unidades de roca del pozo PR-2225 son equivalentes a las del pozo Tierralta-2X. Estos dos grupos de muestras se encuentran en las clasificaciones de Dickinson (1985) en los mismos campos de clasificación. Por otro lado los resultados de Ramirez, (1998) muestran una distribución un poco diferente a las PR-2225, por consiguiente también diferente a las de Tierralta-2X. La distribución de los resultados de Ramirez, (1998) muestra una composición levemente más rica en Feldespatos y líticos, esto sugiere que en el área de estudio norte (Carmen de Bolívar - Juan Nepomuceno) por alguna razón, la conservación de estos minerales da lugar de manera más efectiva que en zonas más al sur (PR-2225) lo que podría sugerir una fuente de sedimento norte posiblemente asociada a Pendales y equivalentes. Las muestras PR-2225 de este trabajo muestran enriquecimiento en cuarzo y muy poca presencia de feldespatos y líticos, sin embargo, las clasificaciones de proveniencia según los diagramas de Dickinson (1985) para esta zona muestran los mismos resultados que las otras dos zonas analizadas.



**Figura 8.** Resultados de petrografía de este trabajo comparado con los resultados de Ramirez, (1998) y pozo ANH-Tierralta-2X (Osorio et al., 2020). En la parte izquierda aparecen los triángulos de clasificación QFL (Folk 1974), a la derecha de procedencia QmFLt y QtFL (Dickinson, 1985).

Los resultados de la petrografía muestran una variación que empieza con una arenita rica en olivinos y anfíboles PR-2114 a muestras enriquecidas en sedimento cuarzoso PR-2225, este cambio en la madurez composicional de la roca puede ser debido a factores asociados al clima, que pueden tener un impacto en la meteorización y erosión de las rocas (Smith et al., 2008; Wan et al., 2009) entre otros procesos (Chandler, 1988). Por otro lado, otro factor que resulta en la variación de la madurez composicional de la roca es la lejanía entre dichos pozos, produciendo variaciones en la posición y geografía entre la o las fuentes permitiendo el cambio en la madurez composicional (Osorio et al., 2019). Por lo que las unidades de PR-2114 podrían haber sido suplidas de manera local por las peridotitas de Cerro Matoso en sistemas fluviales cortos, como lo sugiere su angulosidad y esfericidad general (Tabla 3), mientras que las muestras de PR-2225 podrían estar más asociadas a fuentes graníticas y metamórficas de la Cordillera Central. Además al encontrarse las muestras de manera general en el campo de Orógenos reciclados, sugiere una mezcla de áreas fuente moderadamente distales (Dickinson, 1985).

La diferenciación de fuentes puede ser llevada un escalón más arriba cuando en los conteos los cuarzos son diferenciados en función de su frecuencia y naturaleza de extinción ondulosa y poli cristalinidad (Basu et al., 1975). Ambas propiedades pueden ser afectadas durante la diagénesis (Graham et al., 1976). Sin embargo, esta información puede ser útil en rocas que no se encuentran con alta diagénesis, areniscas de primer ciclo de cinturones orogénicos en zonas tectónicamente estables (Basu et al., 1975). Sin embargo, la distribución observada en los tipos de cuarzos no permite la fácil asociación a una fuente en específico (Figura 9).

### 8.5. Mecanismos de transporte

En el norte de la zona de estudio, a la altura del Miembro Arenisca del Oso (Figura 1), la depositación de la Arenisca del Oso se da en ambientes de plataforma a prodelta (Ramirez, 1998; Duque-Caro et al., 1996) para las facies de granulometría fina y afinidad calcáreas asociadas a procesos sedimentarios de depositación de sedimento por decantación y suspensión de material fino por debajo del nivel del oleaje. Mientras que se asocian a ambientes de frente deltaico las facies relacionadas a arenitas con estructuras de inestabilidad, como lo son las estructuras de

reptación, laminación convoluta, estructuras de derrumbe, laminación inclinada, entre otras que muestran relación con procesos sedimentarios de deposición por gradientes gravitacionales. Este conjunto de procesos sedimentarios permiten a Ramírez la asociación a ambientes sedimentarios como frentes deltaicos.

En las unidades más al sur de la zona de estudio los mecanismos de transporte y ambientes sedimentarios se encuentran asociados a depósitos en un entorno de deposición deltaico a transicional (Manco et al., 2020). En dicho documento proponen que la Formación Ciénaga de Oro fue suministrada por sedimentos de un sistema fluvial de sur a norte, que drenó basamento y rocas sedimentarias de finales del Cretácico al Paleógeno durante el Oligoceno. Las fuentes de sedimento de esta unidad son plutones del Cretácico tardío como el Batolito Antioqueño y rocas máficas-ultramáficas, que constituyen el basamento de las Cordilleras Occidental y Central (Manco et al., 2020). Además por primera vez, se reportan fuentes locales como el complejo ofiolítico de Planeta Rica, sin embargo estas secciones no se encuentran asociadas directamente al Oligoceno.

Los mecanismos de transporte de sur a norte no son diferentes, sugieren un ambiente transicional. Sin embargo la leve mayor presencia de líticos y feldespatos en las secciones norte sugiere alguna variación en las fuentes de tal manera que se obtengan minerales más inestables en localidades más distales de la fuente o el aporte de otra fuente no identificada.

## **9. Conclusiones**

A partir de los conteos se interpretó la procedencia de las muestras de los pozos PR-2225 y PR-2114, con base a los diagramas ternarios de Dickinson (1985) se obtuvieron fuentes de sistema orogénico reciclado, y cratón interior para las muestras del pozo PR-2225. Para el pozo PR-2114 no fue posible utilizar diagramas QFL debido a su ausencia de cuarzo, feldespato y líticos.

La muestra del pozo PR-2114 fue depositada en un sistema fluvial corto sobre el basamento ofiolítico de Planeta Rica, posterior a un evento de deformación que da lugar al levantamiento de dicho complejo, para posteriormente ser erosionado y depositado como una arenita basal. Por otro lado, las muestras del pozo PR-2225 fueron depositadas a partir de fuentes mezcladas, probablemente asociadas a cuerpos magmáticos y metamórficos de la Cordillera Central (Manco et al., 2020).

En el norte de la zona de estudio (Miembro Arenisca del Oso) los ambientes de depósito están asociados a frentes deltaicos, plataforma y prodelta con fuentes probablemente distales y asociadas a cuerpos magmáticos y metamórficos de la Cordillera Central (Manco et al., 2020). Sin embargo, la presencia de mayores cantidades de líticos y feldespatos en el norte sugiere una zona fuente aún no identificada, adicional a la de las unidades del sur (PR-2225) posiblemente asociada al retrabajo de la Formación Pendales y equivalentes. En el sur los ambientes de depósito se encuentran asociados a un entorno deltaico a transicional (Manco et al., 2020) por lo que los ambientes y mecanismos de transporte de sur a norte no son diferentes a grandes rasgos, la complejidad radica en la comprensión de procesos locales donde puede haber influencia de fuentes que se encuentran restringidas a ciertas zonas en específico.

## 10. Bibliografía

- Alfonso, M., Herrera, J.M, Navarrete, R.E, Bermúdez, H.D., Calderón, J.E., Parra, F.E., Sarmiento, G., Vega, F., y Perrilliat, M. (2009). Cartografía geológica, levantamiento de columnas estratigráficas, toma de muestras y análisis bioestratigráficos. Sector Chalán. Bogotá. Informe Geológico. Agencia Nacional de Hidrocarburos-ATG.
- Basu, A., Young, S. W., Suttner, L. J., James, W. C., & Mack, G. H. (1975). Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Journal of Sedimentary Research*, 45(4), 873-882.
- Bermúdez, H. D., Alvarán, M., Grajales, J. A., Restrepo, L. C., Rosero, J. S., Guzmán, C., & Osorno, J. F. (2009). Estratigrafía y evolución geológica de la secuencia sedimentaria del Cinturón Plegado de San Jacinto. In *XII Congreso Colombiano de Geología* (pp. 1-27).
- Cardona, A., Montes, C., Ayala, C., Bustamante, C., Hoyos, N., Montenegro, O., Ojeda, C., Niño, H., Ramírez, V., Valencia, V., Rincón, D., Vervoot, J., and Zapata, S. (2012). From arc-continent collision to continuous convergence, clues from Paleogene conglomerates along the southern Caribbean-South America plate boundary. *Tectonophysics*, 580, 58-87. doi: 10.1016/j.tecto.2012.08.039.
- Castillo Guerra, S., & Soto López, L. (2017). *Reconstrucción paleoambiental de la Formación El Floral-Ciénaga de Oro a partir de una sección estratigráfica entre los municipios de Montería y Planeta Rica* (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- Chandler, F. W. (1988). Quartz arenites: review and interpretation. *Sedimentary Geology*, 58(2-4), 105-126.
- Dickinson, W. R. (1985). Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In *Provenance of arenites* (pp. 333-361). Springer, Dordrecht.
- Duque-Caro, H., Guzmán, G., & Hernández, R. (1996). Geología de la Plancha 38-Carmen de Bolívar. *INGEOMINAS, Bogotá*, 45.
- Flinch, J. F. (2003). Structural evolution of the Sinu-Lower Magdalena area (northern Colombia).
- Garzanti, E. (2019). Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-science reviews*, 192, 545-563.
- Gómez, J., Montes, N.E., Nivia, A. & Diedrix, H., compiladores. (2015). Mapa geológico de Colombia. Escala 1:1000000. Servicio Geológico Colombiano.
- Guzmán, G., Gómez, E., & Serrano, B. (2004). Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del valle inferior del Magdalena-Caribe Colombiano. *Instituto Colombiano de Geología y Minería, Bogotá*.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., & Sares, S. W. (1984). The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Research*, 54(1), 103-116.
- Ortiz, J. R., Jaramillo, C., & Moreno, C. (2020). Package 'SDAR'.
- Osorio-Granada, E., Pardo-Trujillo, A., Restrepo-Moreno, S. A., Gallego, F., Muñoz, J., Plata, A., ... & Kamenov, G. (2019). Provenance of Eocene-Oligocene sediments in the San Jacinto



Fold Belt: Paleogeographic and geodynamic implications for the northern Andes and the southern Caribbean. *Geosphere*, 16(1), 210-228.

Manco-Garcés, A., Isabel Marin-Ceron, M., Javier Sanchez-Plazas, C., Carlos Escobar-Arenas, L., Beltrán-Triviño, A., & von Quadt, A. (2020). Provenance of the Ciénaga de Oro Formation: unveiling the tectonic evolution of the Colombian Caribbean margin during the Oligocene-Early Miocene. *Boletín de Geología*, 42(3), 205-226.

Mora, J. A., Oncken, O., Le Breton, E., Ibáñez-Mejía, M., Faccenna, C., Veloza, G., ... & Mesa, A. (2017). Linking Late Cretaceous to Eocene tectonostratigraphy of the San Jacinto fold belt of NW Colombia with Caribbean plateau collision and flat subduction. *Tectonics*, 36(11), 2599-2629.

Montes, C., Rodriguez-Corcho, A. F., Bayona, G., Hoyos, N., Zapata, S., & Cardona, A. (2019). Continental margin response to multiple arc-continent collisions: The northern Andes-Caribbean margin. *Earth-Science Reviews*, 198, 102903.

Ramirez, R (1998). Sedimentología de la Arenisca del Oso y su significado estratigráfico, en el cinturón de San Jacinto Norte, Valle Inferior del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá

Sa'ad, Z., & Mohammed, I. J. (2018). New discovery of olivine/pyroxene-rich sandstones in the Kolosh Formation, Dyana Area, NE Iraq: an approach to provenance and tectonics of the sedimentary basin. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, 14(2), 81-96.

Smith, M. Elliot, Alan R. Carroll, and Erich R. Mueller. "Elevated weathering rates in the Rocky Mountains during the early Eocene climatic optimum." *Nature Geoscience* 1.6 (2008): 370-374, <https://doi.org/10.1038/ngeo205>.

Temporal, B. G. U. (2006). Cartografía geológica en los cinturones plegados Sinú-San Jacinto. *Agencia Nacional de Hidrocarburos, unpublished report*.

Wan, S., Kürschner, W. M., Clift, P. D., Li, A., & Li, T. (2009). Extreme weathering/erosion during the Miocene Climatic Optimum: Evidence from sediment record in the South China Sea. *Geophysical Research Letters*, 36(19).

Weltje, G. J., & von Eynatten, H. (2004). Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, 171(1-4), 1-11.

Young, S. W. (1976). Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *Journal of Sedimentary Research*, 46(3), 595-603.

Zahid, K. M., & Barbeau Jr, D. L. (2011). Constructing sandstone provenance and classification ternary diagrams using an electronic spreadsheet. *Journal of Sedimentary Research*, 81(9), 702-707.