



Comparación sedimentológica y de procedencia de sedimentos en la desembocadura del río Sinú en el margen Caribe y la desembocadura del río Patía en el margen Pacífico Colombiano  
Pasantía de Investigación  
Oscar Daniel Figueredo Castillo

# Comparación sedimentológica y de procedencia de sedimentos en la desembocadura del río Sinú en el margen Caribe y la desembocadura del río Patía en el margen Pacífico Colombiano

Daniel Figueredo <sup>a</sup>; Oscar Mauricio Castellanos <sup>a</sup>; Jose María Jaramillo <sup>b</sup>; Victor Ramírez <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Colombia. E-mail: [oscar.castellanos@unipamplona.edu.co](mailto:oscar.castellanos@unipamplona.edu.co)

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Colombia. E-mail: [oscar.figueredo@unipamplona.edu.co](mailto:oscar.figueredo@unipamplona.edu.co)

<sup>b</sup> Gmas Lab, Colombia. E-mail: [jjaramillo@gmaslab.com](mailto:jjaramillo@gmaslab.com)

<sup>b</sup> Gmas Lab, Colombia. E-mail: [vito\\_ramirez@yahoo.com](mailto:vito_ramirez@yahoo.com)

1 junio 2022

## Resumen

El análisis de procedencia es una herramienta indispensable para: la comprensión de los procesos sedimentarios, la relación que existe entre la roca fuente y los sedimentos, y la influencia que tienen los agentes externos como el clima, la meteorización y la tectónica en ellos. Su aplicación es amplia y principalmente se usa para realizar modelos de diagénesis y reconstrucciones tectónicas.

Este estudio se realizó con base en la descripción de columnas estratigráficas de sedimentos, características texturales y relaciones de facies de los sedimentos de playa, duna y marea de las desembocaduras de los ríos Sinú en el margen Caribe y la desembocadura del río Patía en el margen Pacífico Colombiano.

La caracterización mineralógica se realizó por medio de petrografía, difracción de rayos x y el análisis de minerales pesados con espectroscopía RAMAN. La interpretación de los datos fue realizada, teniendo en cuenta los diagramas ternarios de Folk [1], Dickinson [2] y Garzanti [3].

Los resultados de los análisis realizados evidencian que los sedimentos de la desembocadura de los ríos Sinú y Patía se formaron en un ambiente tectónico de origen mixto entre bloque continental y arco magmático reciclado, donde su principal fuente de aporte son rocas sedimentarias y volcánicas con amplias diferencias para cada margen.

Palabras clave: Análisis de Procedencia, Río Sinú, Río Patía.

## Abstract

Provenance analysis is an indispensable tool for: understanding sedimentary processes, the relationship between source rock and sediments, and the influence of external agents such as climate, weathering and tectonics on them. Its application is wide and mainly used for diagenesis modeling and tectonic reconstructions.

This study was carried out based on the description of sediment stratigraphic columns, textural characteristics and facies relationships of beach, dune and tidal sediments from the mouths of the Sinú river on the Caribbean margin and the mouth of the Patía river on the Colombian Pacific margin.

Mineralogical characterization was performed by petrography, x-ray diffraction and heavy mineral analysis with RAMAN spectroscopy. The interpretation of the data was carried out taking into account the ternary diagrams of Folk [1], Dickinson [2] and Garzanti [3].

The results of the analyses show that the sediments at the mouth of the Sinú and Patía rivers were formed in a tectonic environment of mixed origin between continental block and recycled magmatic arc, where the main source of input are sedimentary and volcanic rocks with wide differences for each margin.

Key words: Provenance analysis, Sinú River, Patía River

## 1. Introducción

El presente estudio se encuentra enmarcado dentro del proyecto de investigación: “Calidad de Reservorios Terrígenos (siliciclásticos) de los márgenes Caribe y Pacífico Colombiano” avalado por la convocatoria 877 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y ejecutado en conjunto por el grupo de investigación Gmas Lab y la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo. Este proyecto postula que el estudio de los depósitos actuales de zonas de playa y desembocadura de ríos en el Caribe y Pacífico, representa un indicador adecuado para predecir a escala regional cualitativamente la calidad de las rocas reservorio en áreas costa

afuera de Colombia, y para el cuál es indispensable realizar el análisis de procedencia de los sedimentos muestreados que se detalla en esta investigación.

Es importante resaltar que el estudio de las características detríticas proporciona información para comprender la naturaleza petrográfica de los granos que componen los sedimentos y determinar sus posibles áreas de procedencia [4]. A su vez, el objetivo de los estudios de procedencia es deducir las características de las áreas de aporte a partir de las observaciones y mediciones texturales y composicionales de los sedimentos [5]. Complementariamente el estudio sistemático de minerales pesados es una importante herramienta para el

análisis de procedencia, ya que estos se encuentran asociados a rocas formadas en condiciones específicas, lo cual facilita una identificación más precisa del área fuente [6].

En esta investigación se analizan las características sedimentológicas y de procedencia de los sedimentos terrígenos depositados en las desembocaduras de los ríos Sinú y Patía, con el objetivo de realizar una comparación entre las fuentes de aporte de los mismos.

## 2. Objetivos

Esta investigación tiene por objeto principal realizar la comparación de la fuente de aporte de los sedimentos terrígenos depositados en las desembocaduras del río Sinú y el río Patía en Colombia.

Para ello se describirán textural y composicionalmente los minerales que componen los sedimentos terrígenos de cada área, se determinarán las facies sedimentarias existentes en los sedimentos muestreados, se caracterizará el ambiente de depositación y se determinarán las variaciones composicionales.

## 3. Localización

Para este trabajo se consideran dos áreas de estudio, que son descritas a detalle a continuación:

### 3.1 Desembocadura del río Sinú

La Cuenca del río Sinú ubicada al noroeste de Colombia, tiene su origen en el extremo norte de la Cordillera Occidental de los Andes, a más de 3.000 msnm en el nudo del Paramillo, en el municipio de Ituango del departamento de Antioquia [7].

Robertson & Chaparro [6] en su estudio sobre la evolución histórica del delta del río Sinú describen el área deltaica con longitud oeste en dos secciones: la bahía de Cispatá y el Delta de Tinajones ubicados en la Costa Caribe, hacia el extremo sureste del Golfo de Morrosquillo. Fue allí donde se realizó el muestreo, cerca de la población de San Bernardo del Viento, en el Departamento de Córdoba (Figura 3).

Con una longitud de 415 kilómetros, es el tercer río colombiano más importante de la vertiente del Caribe, después de los ríos Magdalena y Cauca.

### 3.2 Desembocadura del río Patía

Ubicado en el suroccidente colombiano, es el río más largo de la región pacífica y el segundo más caudaloso. Se extiende a lo largo de 400 km de recorrido, de los cuales los últimos 90 km son navegables. El río fluye en dirección sur y nace en el volcán Sotará a 4580 msnm, se reconoce en el Valle Patía ubicado entre la Cordillera Central y la Cordillera Occidental (Figura 3). Su recorrido transcurre por los departamentos de Cauca y Nariño [7].

## 4. Metodología

El desarrollo de este trabajo de investigación se realizó en varias fases, detalladas a continuación (Figura 4):

### 4.1 Recopilación Bibliográfica

En esta etapa se recopiló y analizó información sobre el marco hidrológico, geológico, la estratigrafía, paleogeografía y tectónica de las dos áreas de estudio, el análisis de procedencia incluyendo la petrografía de sedimentos y el estudio de minerales pesados.

### 4.2 Fase de campo

En esta fase se realizó una caracterización de la zona que incluyó una descripción geológica y una cartografía local. Posteriormente se hizo el muestreo con base en la metodología de Colignon 2012 [8] que consiste en identificar las fases de playa y duna, para posteriormente insertar un tubo de 1 m de largo y seis cm de ancho, que extrae el sedimento de cada unidad (Figura 1).

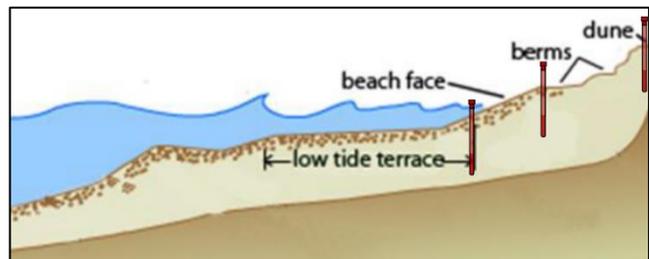


Figura 1. Gráfica de muestreo según metodología "Beach sampling and processing guidelines". Modificado por el Autor de Colignon 2012.

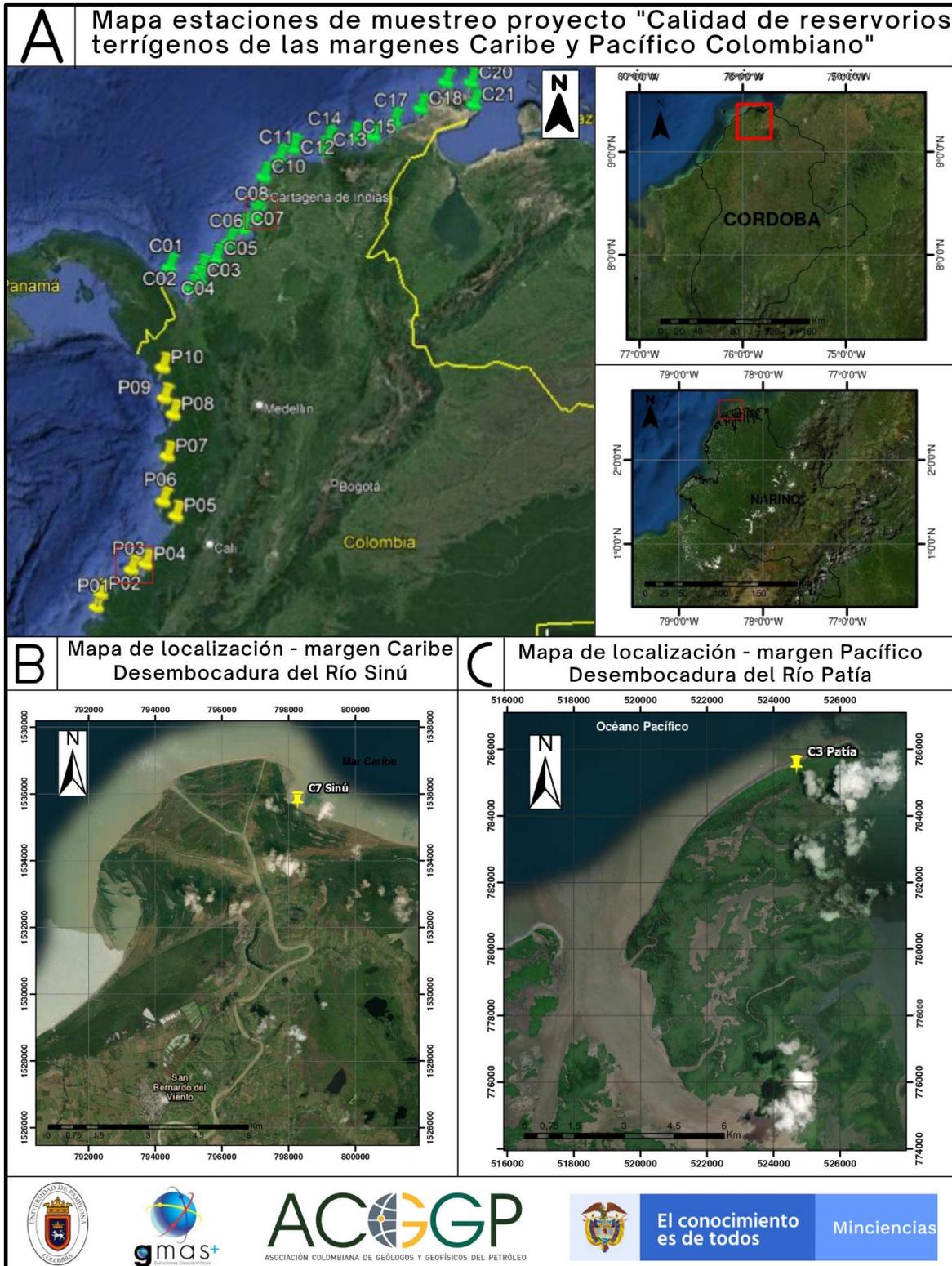
El muestreo se llevó a cabo con el vibracore, un equipo creado por Gmas Lab para la recuperación de núcleos bien preservados de sedimentos (Figura 2).



Figura 2. Fotografías del muestreo en las zonas de estudio. A. Toma de la muestra P03-P1, con el vibracore en la desembocadura del Río Patía en el margen Pacífico, colombiano. B. Equipo de muestreo en campo. C. Equipo de muestreo Gmas Lab, con muestras de Playa, marea y duna con su respectivo respaldo. D. Toma de muestra C07-P1, con vibracore en la desembocadura del río Sinú en el margen Caribe Colombiano. Fuente: El Autor

En la nomenclatura usada para la rotulación de las muestras cada letra o número representa un factor de muestreo, los números en rojo son escritos para describir cada uno de ellos:

Nomenclatura usada: C 07 – D1  
 Descripción: C<sup>1</sup>07<sup>2</sup> – D<sup>3</sup>1<sup>4</sup>



**Figura 3.** Mapa de localización. A. Mapa de estaciones proyecto "Calidad de reservorios terrígenos de las márgenes Caribe y Pacífico", con detalle en las estaciones C07 y P03. B. Mapa de localización - estación C07, desembocadura del río Sinú. C. Mapa de localización – estación P03, desembocadura del río Patía.

1. Margen costero; se utilizaron las letras C para el margen Caribe y P para el margen Pacífico.

2. Número de estaciones; en total el proyecto muestreo 29 estaciones (Figura 3).

3. Fase de muestreo; se utilizó la letra D para duna, P para playa y M para marea.

4. Tipo de muestra; se utilizó el número 1 para la muestra obtenida por el vibracore y el número 2 para las muestras recolectadas en bolsas, que fueron colectadas para ser almacenadas en la Litoteca nacional.

#### 4.3 Fase de laboratorio

Todos los análisis implementados en este documento fueron realizados por el autor en las instalaciones de Gmas Lab, con excepción de la espectroscopía RAMAN que fue realizada por el Dr. Luca Caracciolo en el centro de investigación GeoZentrum Nordbayern de la Universidad de Erlangen – Nürdbayern en Alemania.

Los procedimientos realizados fueron:

A. La preparación de la muestra, para la cual se tomaron 300 gramos de sedimentos sometidos a un proceso de secado, homogenizado y cuarteo mecánico.

La relación entre peso de muestra total y análisis realizado, se encuentra representado en la tabla 1.

Técnica de Análisis	Peso muestra
Análisis Granulométrico	100 gramos
Realización de secciones delgadas	5 gramos
Difracción de Rayos X (DRX)	15 gramos
Análisis minerales pesados	20 gramos
Espectroscopía RAMAN	1 gramo

Tabla 1. Relación entre peso de muestra total y técnica de análisis realizada. Fuente: El autor

B. La construcción de secciones delgadas para cada una de las muestras de sedimento de playa, marea y duna, según la metodología del laboratorio de petrografía y Geoquímica de la Universidad Nacional Autónoma de México 2016 [10].

C. El análisis granulométrico por tamizado fue realizado con base en la metodología del proyecto MECESUP UCH 0303 “Modernización e integración transversal de la enseñanza de pregrado en ciencias de la tierra - área temática: Sedimentología” de la Universidad de Chile [11] y el procesamiento de los datos granulométricos [12] se hizo en el programa GRADISTAT, según la metodología detallada por Úsuga J.J & Angulo B [13]. Los resultados fueron compilados, graficados y analizados granulométricamente según el método de Folk [1].

D. La separación de minerales pesados se realizó por gravedad con líquido pesado LST según la metodología de Mange 2015 [14] detallada en su libro Heavy Minerals in Colour.

E. El análisis petrográfico se realizó según el conteo de puntos usando el método de Dickinson [15] descrito por Ingersoll [16]. Ya que esta metodología hace énfasis al uso de técnicas petrográficas para reconstruir las composiciones originales independientemente del tamaño de grano lo que permite reducir los efectos del tamaño del grano y de la alteración en la composición logrando mayor precisión en la procedencia.

F. La clasificación textural de los granos se hizo con base en la descripción y complementación que hace Di Giulio & Valloni [17] a la metodología de Gazzi & Dickinson [15] y la clasificación composicional de los granos terrígenos según los parámetros mineralógicos descritos por Ingersoll [16], Gazzi-Dickinson [18], Garzanti y Vezzoli [3].

G. Por último el análisis de difracción de rayos X se realizó según Buhrker et al, 1998 [19] y El estudio de minerales pesados con espectroscopía RAMAN se realizó según Garzanti E & Ando, S [20].

#### 4.4 Análisis e interpretación de datos

El análisis y la interpretación de los datos consistió en clasificar los resultados obtenidos por cada una de las técnicas analíticas utilizadas.

Para los minerales pesados se realizaron clasificaciones en diagramas ternarios de asociaciones minerales que fueron relacionados con diferentes tipos de roca según la afinidad mineral y para el análisis de procedencia, después de obtener los resultados, los sedimentos fueron clasificados en diagramas ternarios QFL de Folk 1973 [1], QFL según Garzanti [21], y QtFL y QmFLt propuesto por Dickinson 1985 [22]. Posteriormente se integraron los datos obtenidos en el análisis de minerales pesados.

Posterior al integrado de cada uno de los resultados, se procedió a la interpretación de estos y a realizar la relación con la configuración tectónica regional.

### 5. Marco Geológico

#### 5.1 Cuenca del Sinú

El río Sinú nace en el Nudo del Paramillo, en el municipio de Ituango, Antioquia, con una longitud de 415 kilómetros; es el tercer río de Colombia más importante de la vertiente del Caribe, después de los ríos Magdalena y Cauca.

La cuenca del río Sinú tiene una extensión aproximada de 13.952 km<sup>2</sup>, de la cual el 93% pertenece al departamento de Córdoba, el 6% a Antioquia y el 1% a Sucre. [23]. Comprende una zona con pendientes pronunciadas en su nacimiento, un valle aluvial formado por las serranías de Abibe y San

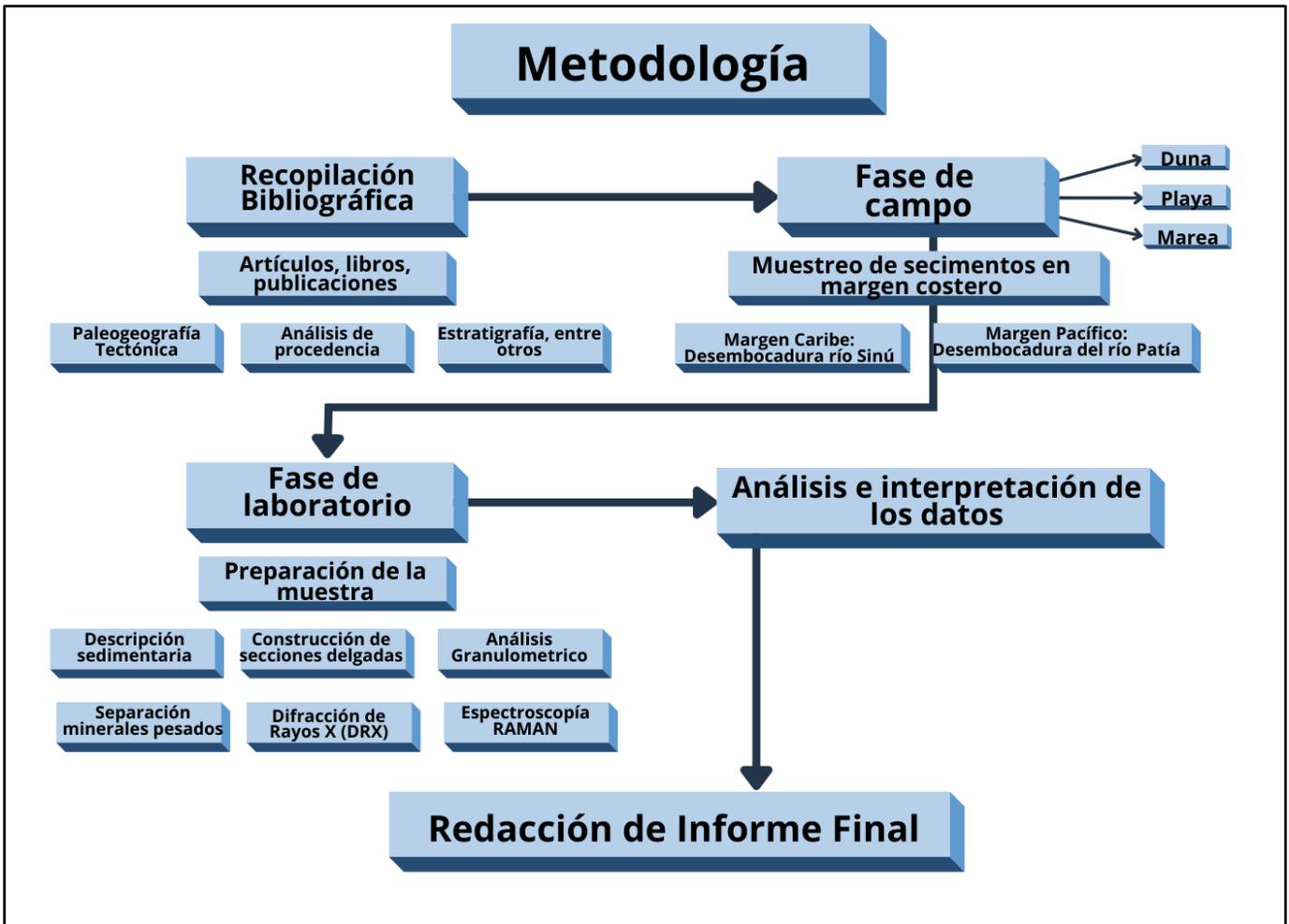


Figura 4. Metodología implementada en la investigación. Fuente: El autor

Jerónimo, así como una extensa llanura aluvial en la que existe una compleja red de ciénagas. [24]

Según CIAF [7] al correlacionar sus ambientes geomorfológicos deltaico y litoral con los paleocursos fluviales es posible determinar una edad de formación Holoceno Medio a Superior (Figura 5).

### 5.1.2 Marco Geológico Regional

La investigación geológica del noroccidente colombiano, que inició a inicios del siglo XX, ha sido en su mayoría realizada por la industria petrolera. Estos estudios iniciaron con Werenfels [30], quien describe la estratigrafía del Paleógeno y del Neógeno en los alrededores de Tolú y prosiguieron estudios geológicos, en su mayoría regionales [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33] y [34].

El marco geológico regional está determinado por el movimiento e interacción de las placas de Suramérica y Nazca, el arco volcánico de Panamá, y el segmento occidental de la placa oceánica del Caribe. [35]. Este complejo acrecional

extenso se extiende a lo largo del Mar Caribe, que representa la parte más externa de la cuña acrecional del norte después de la obducción de la plaza oceánica en el campaniano – maastrichtiano se produjo una acreción a lo largo de la zona del Sinú – Magdalena inferior desde esa época hasta la actualidad [36].

Las serranías de Abibe, San Jerónimo y Ayapel hacen parte de los cinturones del Sinú y San Jacinto, que se formaron como resultado de la compresión causada por la colisión del bloque Panamá-Chocó contra la placa Sudamericana, y al actuar sobre los sedimentos cenozoicos acumulados en el margen continental dieron origen a una franja de rocas altamente deformadas [37]. El cinturón del Sinú, que se extiende al occidente de la falla del Sinú, está compuesto por rocas sedimentarias con edades desde el Eoceno medio hasta el Oligoceno tardío (48-23 Ma). Por su parte, el cinturón de San Jacinto, limitado por las fallas del Sinú y Romeral, está conformado por rocas sedimentarias con edades entre el Cretáceo y el Mioceno (65-3,5 Ma) [38]. El río Sinú representa el límite entre los cinturones del Sinú y San Jacinto, por lo que su valle aluvial, formado por un evento distrófico ocurrido

durante el Pleistoceno-Holoceno, presenta un marcado control tectónico [39].

En la cuenca del río Sinú a escala regional afloran rocas sedimentarias y vulcano sedimentarias, que se distribuyen en depósitos no consolidados del cuaternario en su mayoría, con menor presencia de rocas del cretácico, paleógeno y neógeno (Figura 6).

### 5.1.2 Rocas sedimentarias Cretácicas

Las rocas más antiguas que afloran en la cuenca del río Sinú son de edad Cretácico superior de la formación Cansona, constituida por cherts con sills de roca ígnea con alto nivel de meteorización intercaladas con diabasas, limolitas grises verdosas y arcillolitas [40].

### 5.1.3 Rocas sedimentarias Paleógenas

Las rocas paleógenas aflorantes en el área de estudio corresponden a la formación San Cayetano conformada por arenitas grisáceas y lutitas. Secuencias de arenitas conglomeráticas.

### 5.1.4 Rocas sedimentarias Neógenas

Correspondientes a las formaciones:

Brecha de Cispata: conformada por clastos angulares de lilitas, chert, conglomerados y arcillolitas. [41]

Campano: constituida por una secuencia granodecreciente en capas lenticulares medianas a gruesas de cuarzoarenitas con tonos rojizos intercaladas con lodolitas y cherts negros. Floresanto: formada por capas delgadas a muy gruesas de lodolitas de color pardo rojizo con presencia de concreciones calcáreas interstratificada con limolitas calcáreas y areniscas líticas. [41]

Pavo Inferior litológicamente conformada por litoarenitas a sublitoarenitas de grano medio a conglomerático con fragmentos de ostras y restos de plantas intercaladas con capas de lodolitas y turba. [41]

Pavo superior principalmente conformada por lodolitas y areniscas con restos de plantas y bioclastos. [42]

El Cerrito conformada por una alternancia de lodolitas grisáceas y areniscas de grano fino parcialmente calcáreos. [42]

Corpa: constituida esencialmente por conglomerados arenosos policimáticos que varían a arenitas ligeramente conglomeráticas. [43]

### 5.1.5 Depósitos cuaternarios: Playas

Según Barrera [43], los depósitos de playa corresponden a franjas litorales de amplitud variable entre menos de 10 metros hasta 50 metros. Están compuestos por sedimentos tamaño arena, cuya composición es variable dependiendo del origen de los sedimentos, algunos están compuestos por minerales esencialmente terrígenos (líticos, cuarzo, feldspatos y chert) que confieren un tono oscuro a las playas.

### 5.1.6 Depósitos cuaternarios: Aluviales

Los depósitos aluviales constituyen acumulaciones de sedimentos y fragmentos de roca que conforman los actuales cauces, aluviones y llanuras de inundación del río Sinú [44]. Fueron originados principalmente por la dinámica propia del río Sinú, conformados por niveles de arcillas, limos, lodos arenas y lentes de conglomerados que están formados por cherts negros y grises principalmente.

### 5.1.7 Otros depósitos cuaternarios

En la secuencia sedimentaria del cuaternario también se encuentran en menor proporción depósitos fluviotorrenciales, fluvioacustres, lacustres, coluviones aluviales, marinos y marino lacustre [38].

### 5.1.3. Delta actual del río Sinú

La intervención humana en la zona ha venido en aumento, según solano et al [24], esto no parece haber incidido de forma significativa en el desarrollo del delta, pero si en la forma de su cauce.

Robertson y Chaparro [6] señalan que desde la época colonial existe un complejo deltaico muy activo con evidencias de hasta cuatro fases hasta la actualidad. Delta de los venados, antes de 1762; Delta de Mestizos en el periodo 1762 a 1849; Delta de Cispata en el periodo de 1849 a 1938, hasta que cambió en 1938 a donde se encuentra actualmente en Tinajones (zona de este estudio) [30].

Frente a la evolución reciente del delta varios estudios [4-6-7] evidencian influencia predominantemente fluvio - marina, en la que ha habido aparentemente poca intervención humana hasta el momento.

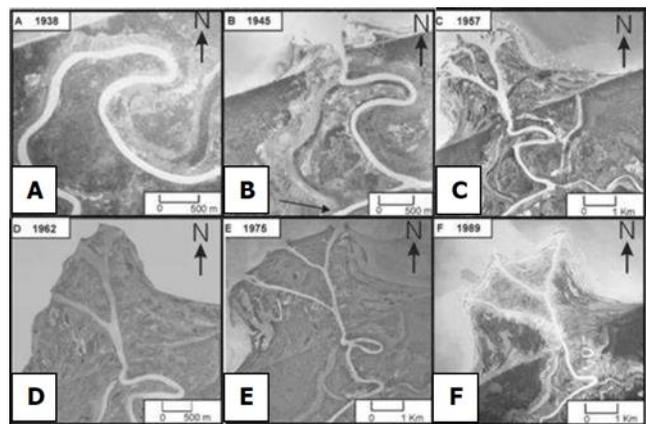


Figura 5. La formación y el crecimiento del delta Tinajones y el río Sinú. (A) Antes de las roturas de diques; (B) después de la ruptura de un dique, el río comenzó a formar un nuevo triángulo. La flecha indica el sitio donde el canal se redujo artificialmente; y (C-F) el crecimiento del delta Tinajones y el abandono del antiguo canal del río Sinú hacia la bahía de Cispata hacia el este. Fotos de Troll y Schmidt (1985) y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, (Modificado de Suarez, 2004).

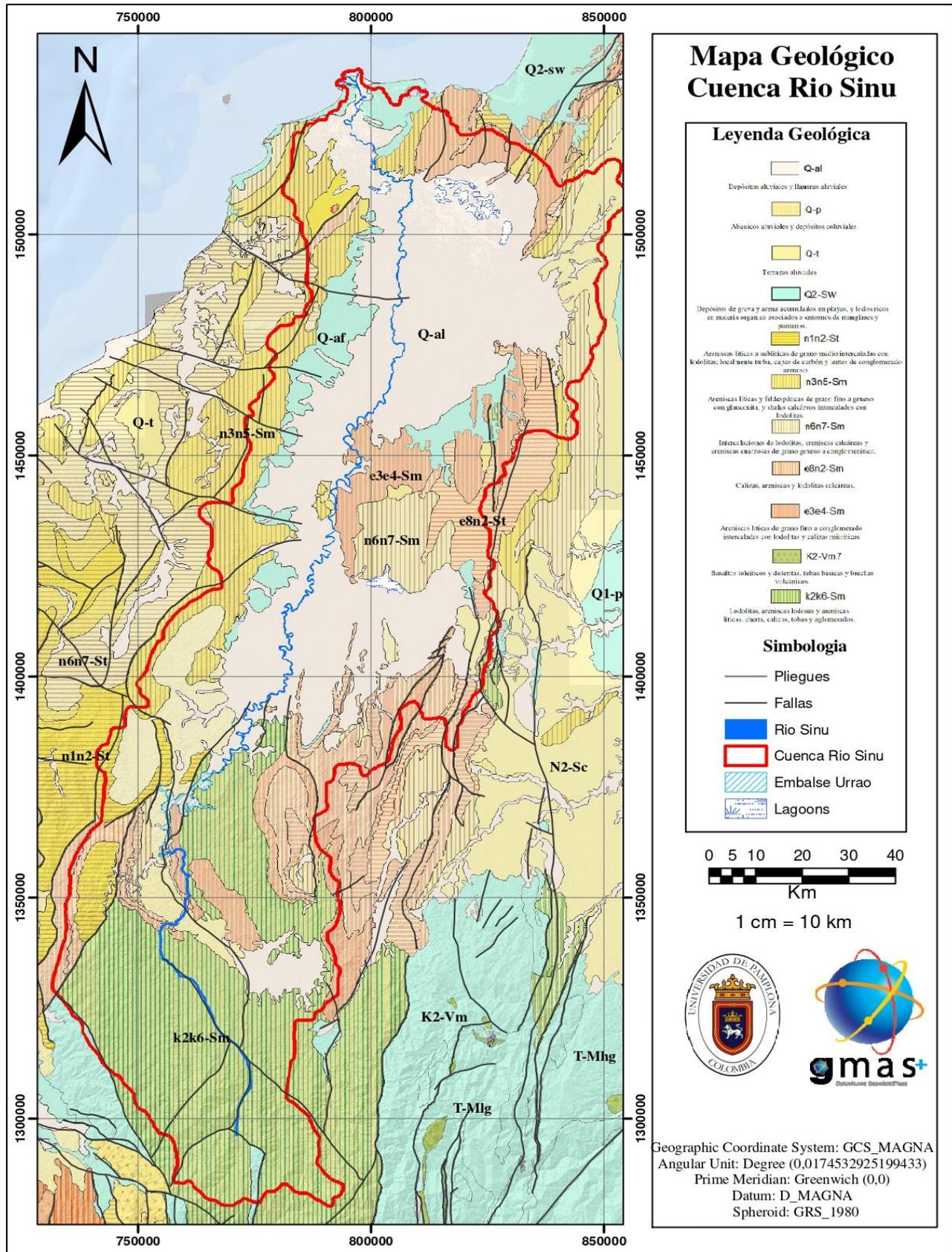
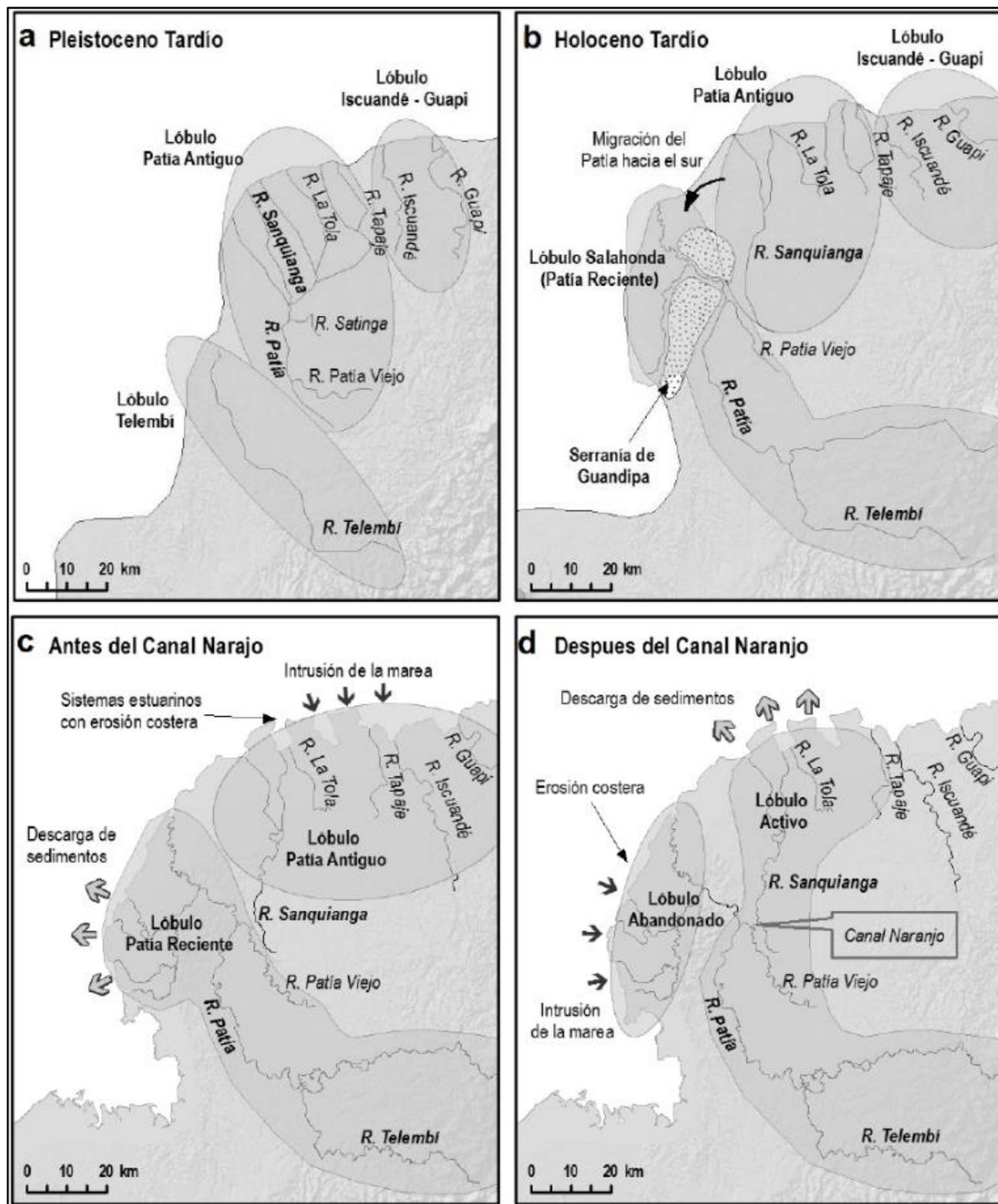


Figura 6. Mapa geológico cuenca del río Sinú. Tomado y modificado del Mapa Tectonoestratigráfico de Colombia Gómez – Tapias 2020





**Figura 8.** Aspectos generales de la evolución del delta del río Patía desde el Pleistoceno tardío. a) Lóbulo antiguo del delta del Patía durante el Pleistoceno tardío, b) migración del río Patía hacia el sur por movimientos tectónicos y desarrollo del lóbulo reciente de Salahonda. (a-b) Análisis tomado de Gómez (1986) y Moreno (2003), c) desarrollo del delta antes de la construcción del canal Naranjo, d) alteraciones en la descarga fluvial a raíz del canal Naranjo con la consecuente reactivación del lóbulo antiguo y abandono del reciente.

manglares se desarrollan más desde la franja litoral hacia las partes lagunares aguas arriba; (4) entre los años 1430 y 810 AP se registra un avance de la franja litoral hacia el mar, debido posiblemente a un levantamiento estructural de origen tectónico; (5) entre 810 y 580 años AP, el polen de manglar disminuye considerablemente y la costa evidencia un retroceso que sugiere eventos de subsidencia tectónica; y (6) para el período entre los años 580 y 300 AP, no se registran más períodos fluviales y la franja de manglar avanza de nuevo hacia el litoral, sugiriendo procesos de levantamiento tectónico; evidencia de polen de árboles como Cecropia indican el inicio de actividades humanas en el delta desde hace 300 años aproximadamente. Esta evaluación del desarrollo del Patía en el Holoceno reciente muestra la alternancia de procesos constructivos y destructivos de origen tectónico en la configuración del delta, los cuales se han visto interrumpidos y modificados por el desvío de origen antrópico del río Patía hace 39 años. Actualmente, el delta se encuentra en un nuevo período de desarrollo debido a la construcción del canal Naranjo y al transvase del caudal del río Patía por su antiguo cauce, el río Sanquianga (Figura. 8d). El cambio en la dirección del flujo se vio favorecido por el desnivel existente entre los dos ríos, el cual permitía, en épocas de creciente, que el río Patía se desbordara y parte de su caudal fluyera por el río Sanquianga.

### 6. Análisis de Procedencia

La clasificación de rocas sedimentarias antes de aceptar la teoría de la tectónica de placas se limitaba a la caracterización de factores composicionales como es el caso de Krynine 1948 [48], Humbert 1960 [49], Folk 1954 [50] y Mc Bride 1963 [51], sin relacionar estas composiciones a los ambientes tectónicos de los que provenían los sedimentos.

Dickinson 1985 [2] establece que las características detríticas de los grupos de areniscas reflejan principalmente los diferentes entornos tectónicos de los terrenos de procedencia, aunque otros factores sedimentológicos también influyen en las composiciones de las areniscas. Caracterizó los principales tipos de procedencia relacionados con las fuentes continentales son los cratones estables, los levantamientos del basamento, los arcos magmáticos y los orógenos reciclados. De esta manera, las tendencias evolutivas en la composición de las arenas dentro de las cuencas individuales suelen reflejar cambios en el entorno tectónico a lo largo del tiempo.

Como se explicó en la metodología la clasificación composicional de los granos se realizó según los parámetros texturales y mineralógicos descritos por Ingersoll [16], Gazzi-Dickinson [2], Garzanti y Vezzoli [5] para poder ser aplicados en el análisis se procedencia.

Parámetros	Parámetros Calculados
Qp= Cuarzo Policristalino	Q= Qm + Qp
Qm= Cuarzo monocristalino	F= P + K
P= Feldespato Plagioclasa	L= Lv + Lm + Ls + Lp
K= Feldespato Potásico	Lvm= Lv + xLm
	Lsm= Ls + Lm
Lv= Líticos volcánicos hipoabisales	Marco=Q+F+L+M+D+ Misc
	QFL%Q=100Q/ (Q+F+L)
Lm= Líticos metamórficos	QFL%F=100F/ (Q+F+L)
	QFL%L=100L/ (Q+F+L)
Ls= Lítica sedimentaria	
	LmLvLs%Lm= 100Lm(L-Lp)
Lp= Líticos plutónicos (sólo método tradicional)	LmLvLs%Lv=100Lv(L-Lp)
	LmLvLs%Ls=100Ls(L-Lp)
M= Minerales Pesados	QpLvLm%Qp= IOOQp/(L - Lp + Qp)
Misc.= Varios y no identificados	QpLvLm%Lvm= IOOLvm / (L-Lp+Qp)
X= Fracción de metavolcanes en Lm (anotada por separado)	QpLvLm%Lsm= IOOLsm/(L - Lp + Qp)

Tabla 3. Clasificación de los tipos de grano utilizados para las discusiones en este trabajo. Los modos detríticos se recalculan para 100% según la clasificación usada.

El análisis de procedencia puede dar información de distintos factores según las asociaciones minerales que se tomen de referencia. Dickinson [2] propone: QtFL, con énfasis en la madurez; QmFLt con énfasis en la roca fuente, QpLvLs con énfasis en los fragmentos líticos y QmPk con énfasis en los granos minerales. Además ignora la presencia de minerales pesados porque responden diferente a las influencias hidrodinámicas y químicas. La tabla 3 presenta la clasificación de los tipos de granos utilizados para la discusión de este trabajo. Los modos detríticos se recalculan para 100% como la suma de Qm, Qp, P, K, Lv y Ls.

La tabla 4 describe los principales tipos de procedencia según Dickinson y los aspectos composicionales clave de las arenas.

Procedencia	Configuración Tectónica	Arena derivada
Cratón estable	Continental interior o margen pasivo	Arena cuarzosa (Enriquecimiento en Qt) con altas relaciones Qm/Qp y K/P
Levantamiento de basamento	Apertura de rift o ruptura transformante	Arena cuarzo-feldespática (Qm – F) arenas bajas en Lt con relaciones Qm/F y K/P similares a la roca fuente
Arco magmático	Arco de isla o arco continental	Arenas feldespáticas (F-L) volcánicas con altas relaciones de P/K y Lv/Ls que se gradúan a arenas derivadas de batolitos cuarzo-feldespáticos (Qm-F)
Orógeno reciclado	Complejo de subducción o cinturón plegado	Arenas cuarzolíticas (Qt -L) bajas en F y Lv, con relaciones de Qm/Qp y Qp/Ls variables

Tabla 4. Principales tipos de procedencia y aspectos composicionales de las arenas. Dickinson 1985

Los modelos clásicos de procedencia solo distinguen tres tipos distintos de entornos orogénicos

### 6.1 Descripción sedimentaria macroscópica

Los tubos de muestra recuperados en cada estación fueron descritos macroscópicamente y tres tipos correspondiente de “procedencia de orógenos reciclados [5]

#### 6.1.1 Margen Caribe – Desembocadura Río Sinú

##### 6.1.1.1 Muestra de Playa

Con una profundidad de 58,5 centímetros, de base a techo está compuesta por arenas de color gris verdoso, con tamaño de grano de fino a medio, redondeados, moderadamente seleccionados y esfericidad moderada. Composicionalmente presenta 89% de cuarzo, 2% de feldespatos, 8% de líticos y 1% de accesorios. Localmente se puede observar presencia de bioclastos y micro plásticos, al tope se presenta una lámina con un espesor aproximado de 1,5 cm de arena de color oscuro, tamaño de grano fino a muy fino, subredondeados y bien seleccionado con alto contenido de materia orgánica. Composicionalmente la muestra tiene 80% de cuarzo, 0% de feldespatos y 20% de fragmentos líticos.

##### 6.1.1.2 Muestra de Marea

Con una profundidad de 76,5 centímetros de base a techo está conformada por arenas muy finas subredondeados, moderadamente seleccionada con 90% de cuarzo, 1% de feldespatos y 8% de fragmentos líticos y 1% de bioclastos. La presencia de bioclastos (predominantemente conchas) aumenta hacia los 20 centímetros del núcleo. No se evidencian estructuras sedimentarias.

#### 6.1.2. Margen Pacífico – Desembocadura Río Patía

##### 6.1.2.1 Muestra de Duna

Con una profundidad de 90 centímetros de base a techo la muestra está conformada por arenas de color amarillo de grano fino a muy fino, redondeados con esfericidad alta; compuesta por 70% de cuarzo, 2% de feldespato, 25% de líticos y 2% de minerales accesorios. Ascendiendo estratigráficamente a los 25 centímetros encontramos láminas de 1 cm de arena con tamaño de grano medio a grueso y presencia de minerales accesorios como piritita con alto contenido de materia orgánica. Estas láminas están presentes a lo largo del resto de la muestra tal y como se detalla en la columna estratigráfica (Figura 9).

##### 6.1.2.2 Muestra de Playa

De base a techo conformada por arenas de color amarillo de grano muy fino a fino, subangulares, bien seleccionados y con esfericidad moderada. Ascendiendo estratigráficamente 6 centímetros se presenta una intercalación de láminas de arena de grano muy fino con alto contenido de materia orgánica y láminas y capas muy finas de arenas de grano medio, subredondeadas, moderadamente seleccionadas con alto contenido de minerales pesados y óxidos.

Posterior a los 20 centímetros, la muestra en su totalidad está compuesta por arenas de color amarillo de grano muy fino, redondeados, bien seleccionados y con esfericidad moderada con presencia local de láminas de materia orgánica. Composicionalmente estas arenas masivas presentan 95% de cuarzo, 2% de feldespatos, 20% de líticos y 3% de accesorios.

##### 6.1.2.3 Muestra de Marea

En los primeros 3 centímetros la muestra presenta arena de color amarillo y gris, con granos de tamaño fino a muy fino, bien seleccionados y con esfericidad media. Suprayacidas por una de intercalación con 14 centímetros de espesor de láminas de arena muy fina con alto contenido de materia orgánica con láminas y capas muy finas de arenas finas con alto contenido de minerales pesados.

Ascendiendo estratigráficamente la muestra presenta una gradación inversa en el tamaño de grano y aumenta el contenido de materia orgánica hacia el techo. En total esta muestra tiene 90 centímetros de espesor.

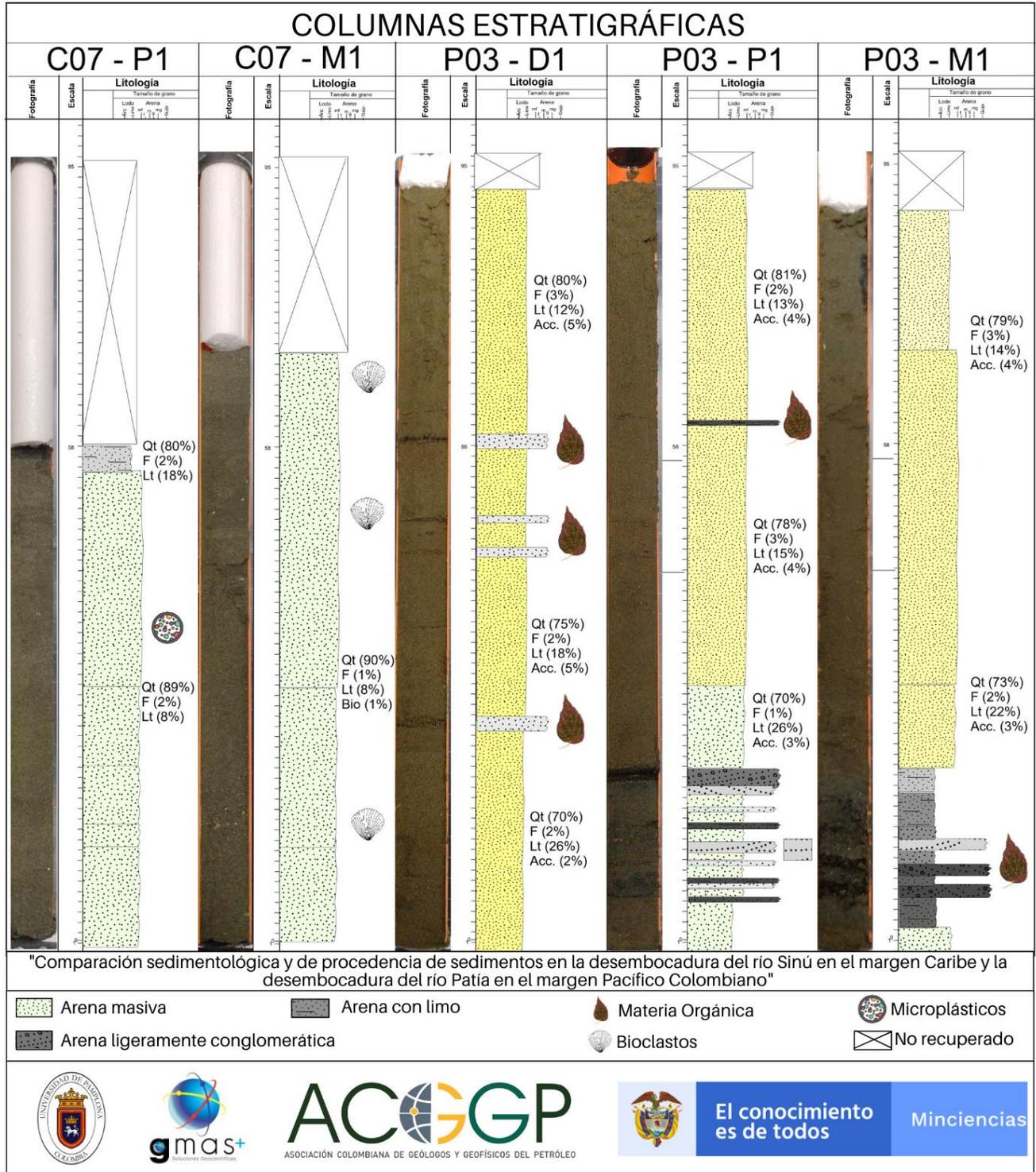


Figura 9. Columnas estratigráficas de las muestras recuperadas en cada estación.

## 6.2 Clasificación granulométrica

Del análisis granulométrico de los sedimentos según el método de clasificación de Folk [1], se obtuvieron los siguientes resultados:

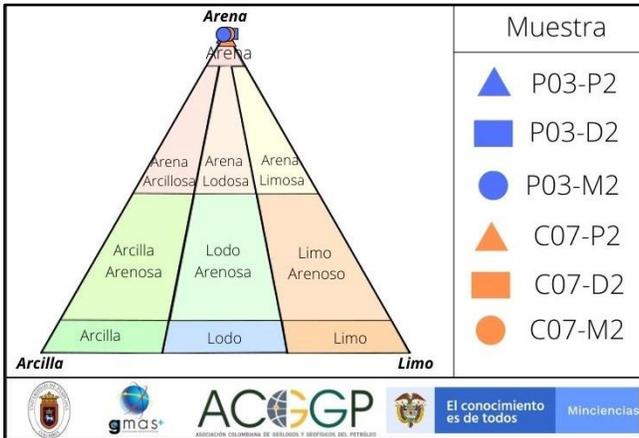


Figura 10. Triángulo de clasificación granulométrica según Folk 1970. Las muestras del proyecto están clasificadas y digitalizada. Elaborado por el autor.

### 6.2.1 Granulometría Desembocadura del río Sinú

Las muestras de playa, duna y marea de la desembocadura del río Sinú en general tienen una granulometría muy homogénea, como se puede apreciar en la figura 10, todas con más de 95% de granos de tamaño arena.

- C07-P2: Arena compuesta por 0% de granos tamaño grava, 99,8% granos tamaño arena y 0,2% de granos tamaño lodo. Los granos de arena son 10% arena muy fina 6,7% arena fina y 83% arena media. Arena de grano fino a muy fino, muy bien seleccionada, con granos redondeados y con alta esfericidad.
- C07-D1: Arena compuesta por 0% de grava, 99,9% de arena y 0,1% de lodo. Los granos de arena son: 16,6% muy finos, 82,7% finos y 0,6% medios. Arena fina, muy bien seleccionada, con granos muy redondeados y esfericidad alta.
- C07- M2: Arena compuesta por 0,1% de gravas, 99,9% de arena y 0% de lodo. Los granos de arena son 16,1% arena muy fina, 75,2% de arena fina y 8,6% de arena media. Arena fina moderadamente seleccionada, bien redondeados y con esfericidad media a alta.

### 6.2.2 Granulometría Desembocadura del río Patía

Las muestras de playa, duna y marea de la desembocadura del río Patía en general tienen una granulometría muy homogénea, como se puede apreciar en la figura 10, todas con más de 95% de granos de tamaño arena.

- P03-P2: Arena compuesta por 0% de grava, 97,6% de arena y 2,4% de lodo. Los granos de arena son 70,7% muy finos, 26,4% finos y 0,5% medios. Arena de grano muy fino, bien seleccionada con granos muy bien redondeados y esfericidad alta.
- P03-D2: Arena conformada por 0% de grava, 98,9% de arena y 1,1% de lodo. Los granos de arena son 59,1% muy finos, 39,3% finos, 0,4% medios y 0,1% gruesos. Arena muy fina, moderadamente bien seleccionada, muy redondeados y con esfericidad alta.
- P03-M2: Arena conformada por 0% de grava, 99,2% de arena y 0,8% de lodo. Los granos de arena son 41% arena muy fina, 57,5% fina, 0,6% media y 0,1% gruesa. Arena muy fina, moderadamente bien seleccionada, con granos muy bien redondeados y alta esfericidad.

Los datos estadísticos resultados de GRADISTAT pueden tener un porcentaje de error del 1%.

## 6.3 Análisis Petrográfico

El análisis composicional petrográfico se realizó con la finalidad de lograr un mejor detalle en la comprensión de la fuente de los sedimentos. El conteo se hizo con base en la metodología descrita en este documento, los resultados normalizados del conteo según Dickinson [2] se encuentran compilados en la descripción microscópica descrita continuación:

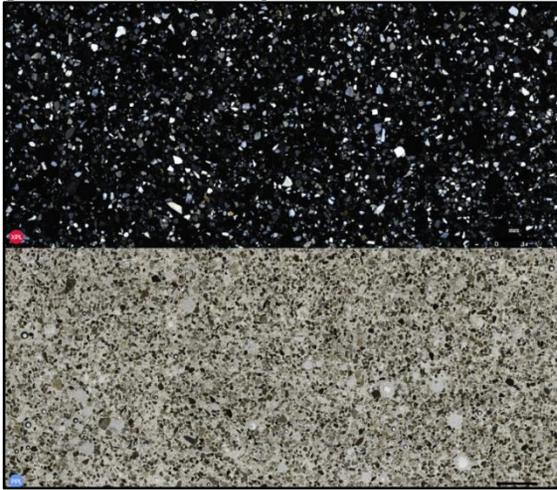
### 6.3.1 Desembocadura del río Sinú

#### C07 – M2

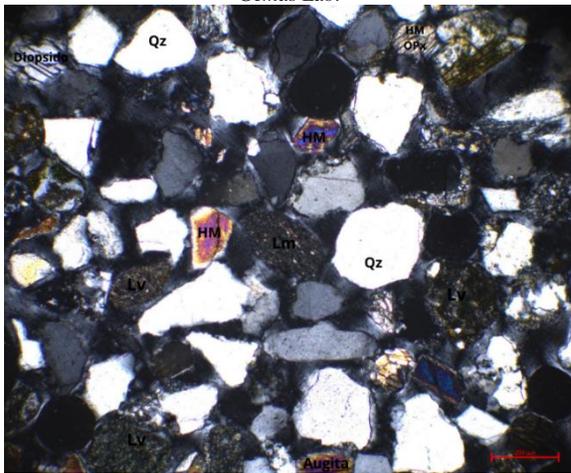
Sección delgada compuesta por sedimentos de tamaño de grano arena muy finos a medios predominando el tamaño de grano fino, donde los parámetros de redondez varía desde redondeados a subangulares en menor proporción, moderadamente seleccionados, con esfericidad moderada a alta en general. La composición de estos granos es variada: Cuarzos monocristalinos (45%) redondeados a subredondeados equidimensionales, Cuarzos policristalinos (11,4%) subangulares en su mayoría, Feldespato potásico (6,9%) unitarios y en fragmentos de roca <62 micras variando de redondeados a subredondeados y en su mayoría elongados, Plagioclasas (2,3%) y Fragmentos de Roca o de distintas génesis como Fragmentos de Roca volcánicos (16%) redondeados a subredondeados elongados y equidimensionales donde aparecen especies clasificados como Líticos volcánicos microlíticos y lathworks. Fragmentos de roca metamórficos de bajo grado (1,31%), subangulares y elongados mayormente y Fragmentos de rocas sedimentarias de grano fino como arcillolitas y limolitas redondeados y elongados (3%) y Cherts (11%) subangulares y elongados, minerales pesados de piroxeno (1,31%) angulares y equidimensionales.

Los granos de líticos volcánicos y sedimentarios evidencian alteración de varios minerales a minerales de arcilla como

clorita y caolinita. (El parámetro de esfericidad es remplazado por equidimensionales y elongados).



**Figura 11.** Sección delgada sedimentos de marea de la desembocadura del río Sinú, margen Caribe Colombiano (C07 M-2). A. Nícoles cruzados. B. Nícoles Paralelos. Fuente: Tomada por el autor en el programa OneGeo de Gemas Lab.



**Figura 12.** Sección delgada C07-M2 en nicoles cruzados donde se evidencian granos monocristalinos, monominerales de Cuarzo(Qz), Minerales pesados (HM); Piroxenos y Fragmentos de roca; Líticos volcánicos (Lv), Líticos metamórficos de bajo grado(Lm).

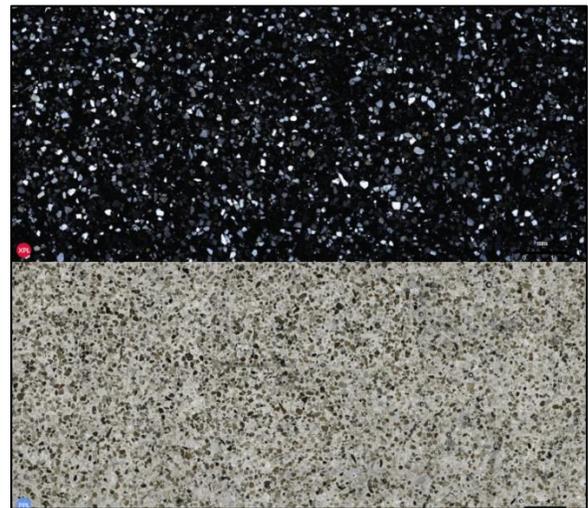
### C07-P2

Sección delgada compuesta por granos de tamaño arena variando desde arenas muy finas a arenas medias donde predomina el tamaño de grano fino (83%), los parámetros de redondez y esfericidad en general van desde subredondeados a redondeados y en menor proporción subangulares con esfericidad moderada, bien seleccionados. Las composiciones de estos sedimentos son variadas: Predominan los cuarzos monocristalinos (51,3%) redondeados, subredondeados y subangulares, equidimensionales y elongados, Cuarzo policristalino con fabrica tectónica (2,3%) subangulares y elongados, Cuarzo policristalino sin fabrica tectónica (7,4%)

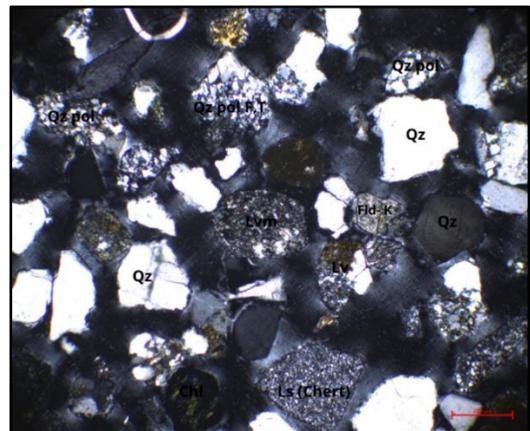
subredondeados y equidimensionales, donde el total de cuarzos representa el 64% de la sección, los feldespatos potásicos (6,45%) subredondeados y elongados. Plagioclasas (1,61%) subangulares y equidimensionales.

Los fragmentos de roca tienen distinta génesis dentro de los cuales hay Fragmentos de roca volcánicos (9,7%) subredondeados y equidimensionales mayormente, clasificados en varias categorías como líticos volcánicos microlíticos, lathwork, félsicos seriados y granulares, Fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado (4,52%), fragmentos de roca sedimentarias clásticas limolitas y arcillolitas (1,2%) y cherts (8%), minerales pesados (3,55%) mayormente augitas, epidota en menor proporción y micas como clorita (2,9%).

Los granos de líticos volcánicos por sus contenidos de feldespatos y fragmentos sedimentarios muestran alteraciones a minerales de arcilla como caolinita y clorita.

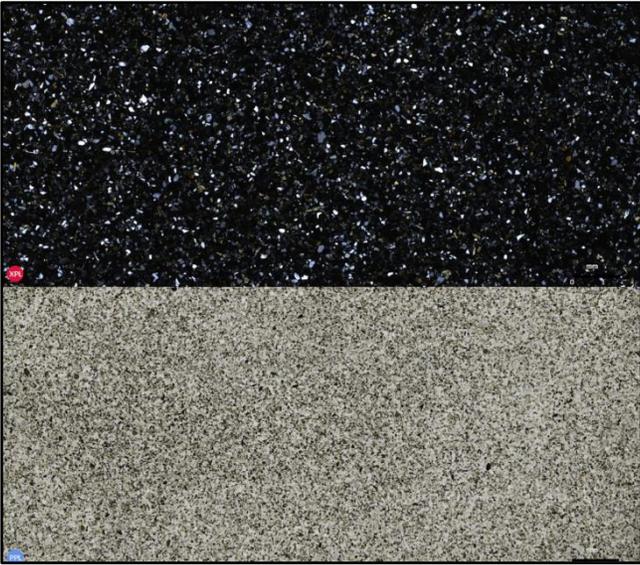


**Figura 13.** Sección delgada sedimentos de playa de la desembocadura del río Sinú, margen Caribe Colombiano (C07 P-2). A. Nícoles cruzados. B. Nícoles Paralelos. Fuente: Tomada por el autor en el programa OneGeo de Gemas Lab.



**Figura 14.** Sección delgada C07 – P2 en 10x donde se evidencia presencia de granos monocristalinos de Cuarzo(Qz), Feldespato Potásico (Fld-K) y policristalinos de Cuarzo con fabrica tectónica (Qz pol F.T). Fragmentos de roca ; Líticos volcánicos microlíticos (Lvm), Líticos sedimentarios (Ls) Chert, Clorita (chl).

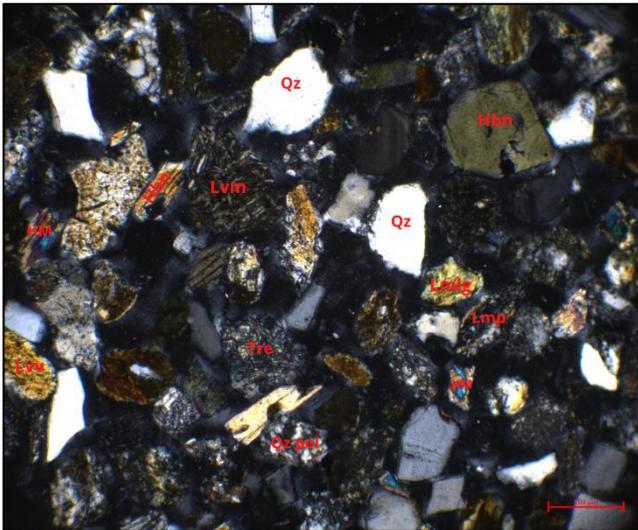




**Figura 17.** Sección delgada sedimentos de duna de la desembocadura del río Patía, margen Pacífico Colombiano (P03 M-2). A. Nícoles cruzados. B. Nícoles Paralelos. Fuente: Tomada por el autor en el programa OneGeo de Gemas Lab.

Los granos de líticos volcánicos y sedimentarios evidencian alteración de varios minerales a minerales de arcilla como clorita y caolinita.

Los fragmentos de roca Líticos volcánicos Microlíticos (Lvm) están compuestos en su mayoría por una matriz de vidrio volcánico con microfenoscristales de plagioclasas.



**Figura 18.** Sección delgada P03 – M2 en 10x donde se evidencia presencia de Cuarzo monocristalino(Qz), Cuarzo Policristalino (Qz-pol), Líticos volcánicos microlíticos (Lvm), Líticos vidrio volcánico (Lvv), Líticos metamórficos de bajo grado(Lmg), (Lmp), Líticos sedimentarios (Ls) y Minerales Pesados(HM); Hornblenda (Hbn), Tremolita (Tre),

### P03 -P2

Sección delgada compuesta por granos de tamaño limo (2,4%), arenas muy finas (70%), arenas finas (26%) y arenas medias

donde predomina el tamaño de grano fino, los parámetros de redondez y esfericidad en general van desde subredondeados a redondeados y en menor proporción subangulares, moderadamente seleccionados. La composición de estos sedimentos es variada con una predominancia de fragmentos líticos. Cuarzos monocristalinos (28,7%) redondeados, subredondeados y subangulares, equidimensionales y elongados, Cuarzo policristalino con fabrica tectónica (2%) subredondeados y elongados, Cuarzo policristalino sin fabrica tectónica (4%) subredondeados, elongados y equidimensionales, los feldespatos potásicos (1,67%) subredondeados y elongados. Plagioclasas (2%) subangulares y equidimensionales y elongadas.

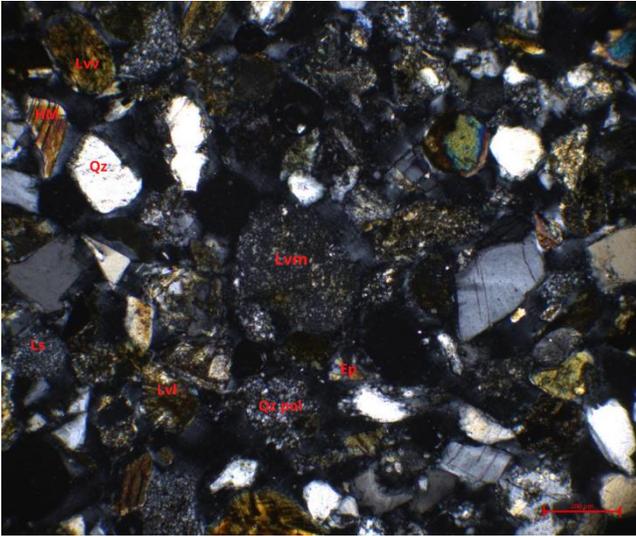
Los fragmentos de roca tienen distinta génesis dentro de los cuales hay Fragmentos de roca volcánicos (18,4%) subredondeados, equidimensionales y elongados, clasificados en varias categorías como líticos volcánicos microlíticos, lathwork, félsicos seriados y granulares, Fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado (17,7%), fragmentos de roca sedimentarias clásticas limolitas y arcillolitas (1,1%) y cherts (3%), minerales pesados (15%) mayormente anfíboles, también epidota, titanita y clinozoisita en menor proporción, micas como clorita y moscovita (6,3%).

Los granos de líticos volcánicos por sus contenidos de feldespatos y fragmentos sedimentarios muestran alteraciones a minerales de arcilla como caolinita y clorita.

Al recalcular los porcentajes de los componentes esenciales como Cuarzo, feldespato y Líticos quedaron de la siguiente manera: Cuarzo (Q) 44,2% Feldespato(F) 4,9% Líticos (L) 51,1%



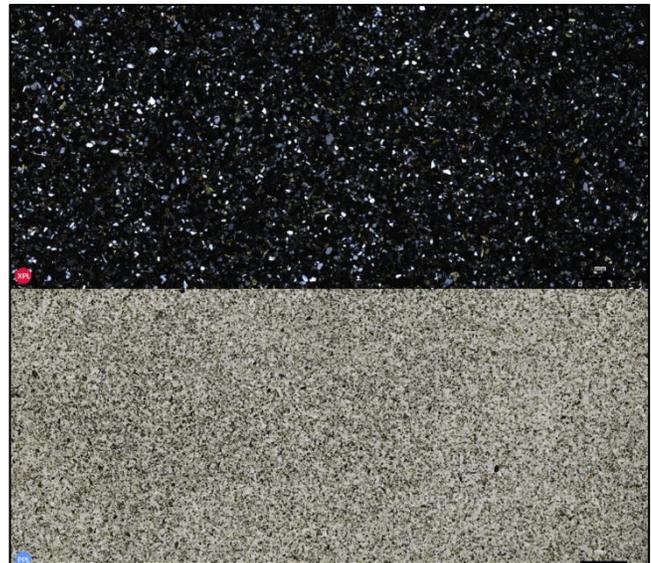
**Figura 19.** Sección delgada sedimentos de playa de la desembocadura del río Patía, margen Pacífico Colombiano (P03 P-2). A. Nícoles cruzados. B. Nícoles Paralelos. Fuente: Tomada por el autor en el programa OneGeo de Gemas Lab.



**Figura 20.** Sección delgada P03 – P2 en 10x donde se evidencia presencia de Cuarzo monocristalino (Qz), Cuarzo Policristalino (Qz pol), Líticos volcánicos microlíticos (Lvm), Líticos volcánicos lathwork (Lvl), Líticos volcánicos vidrio (Lvv), Minerales pesados (HM); Piroxenos, Epidota (Ep), Líticos volcánicos alterados indiferenciables en algunos casos.

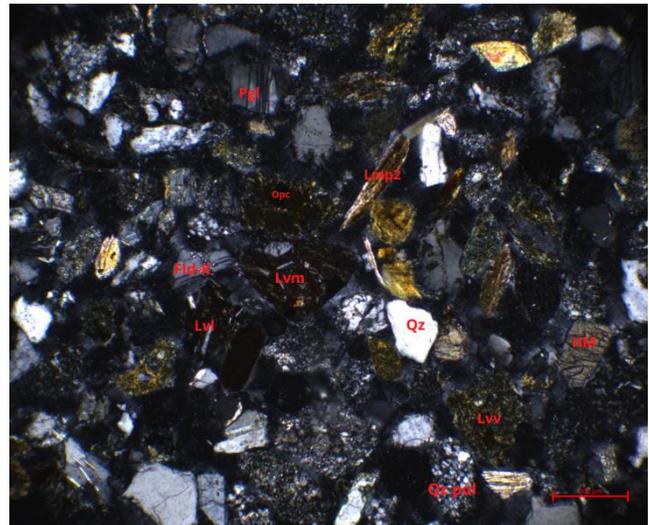
### P03-D2

Sección delgada compuesta por granos de tamaño limo (1%), arena muy fina (59%), arena fina (40%) donde predomina el tamaño de grano muy fino, los parámetros de redondez y esfericidad en general van desde subredondeados a redondeados y en muy baja proporción subangulares, esfericidad moderada, moderadamente bien seleccionados. Las composiciones de estos sedimentos son variadas: Cuarzos monocristalinos (28,3%) redondeados, subredondeados y subangulares, equidimensionales y elongados, Cuarzo policristalino con fabrica tectónica (6,9%) subangulares y elongados en su mayoría, Cuarzo policristalino sin fabrica tectónica (4,7%) subredondeados y equidimensionales, los feldespatos potásicos (2,9%) subredondeados y elongados. Plagioclasas (2,3%) subangulares, equidimensionales y elongadas. Los fragmentos de roca tienen distinta génesis dentro de los cuales hay Fragmentos de roca volcánicos (23,7%) subredondeados y equidimensionales mayormente, clasificados en varias categorías como Líticos volcánicos microlíticos, lathwork, félsicos seriados y granulares, Fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado (12,5%), fragmentos de roca sedimentarias de grano fino (2%) redondeados y elongados y cherts (6%) elongados subredondeados, donde el total de Líticos representa el 42 % de la sección. Minerales pesados (11,5%) mayormente anfíboles, angulares a subangulares, equidimensionales y elongados, y micas como clorita (2,9%).



**Figura 21.** Sección delgada sedimentos de playa de la desembocadura del río Patía, margen Pacífico Colombiano (P03 D-2). A. Nícoles cruzados. B. Nícoles Paralelos. Fuente: Tomada por el autor en el programa OneGeo de Gemas Lab.

Al recalcular los porcentajes de Cuarzo, Feldespato y Líticos quedaron de la siguiente forma: Cuarzo (Q) 44%, Feldespato (F) 6%, Líticos 50%. Los fragmentos líticos volcánicos corresponden a rocas volcánicas ultramáficas como basaltos o andesitas basálticas.



**Figura 22.** Sección delgada P03 – P2 en 10x donde se evidencia presencia de granos monocristalinos de Cuarzo (Qz), Feldespato K (Fld-K), Plagioclasa (Pgl), y Fragmentos de Rocas; Líticos volcánicos microlíticos (Lvm), Líticos volcánicos lathwork (Lvl), Líticos volcánicos vitreos (Lvv), Líticos metamórficos de bajo grado (Lmp2), Minerales pesados (HM).

### 6.4 Difracción de rayos X

La difracción de rayos x se realizó para corroborar los resultados de la interpretación petrográfica, gracias a ellos se confirmó la presencia de los minerales identificados con el microscopio.

Para los sedimentos del pacífico se obtuvo en las tres muestras un porcentaje de cuarzo que varía entre el 38% y 40% de cuarzo y diferencias en los porcentajes de plagioclasa y anfíboles. Por ejemplo las muestras P03-P2 y P03-D2 presentan

una concentración alta de plagioclasa, con un 27% de andesina para el caso de la muestra de playa y 32% de labradorita para la muestra de duna, y la muestra de marea con alta presencia de oligoclasa 28% ausente en las demás (Figura 23).

Los porcentajes de los minerales presentes en la muestra obtenidos con el método del conteo no fueron modificados ya que esta técnica analítica no tiene la capacidad de diferenciar entre los cristales monocristalinos y policristalinos, por lo que realiza una sumatoria de la presencia del mineral sin distinguir los fragmentos líticos, indispensables para este estudio.

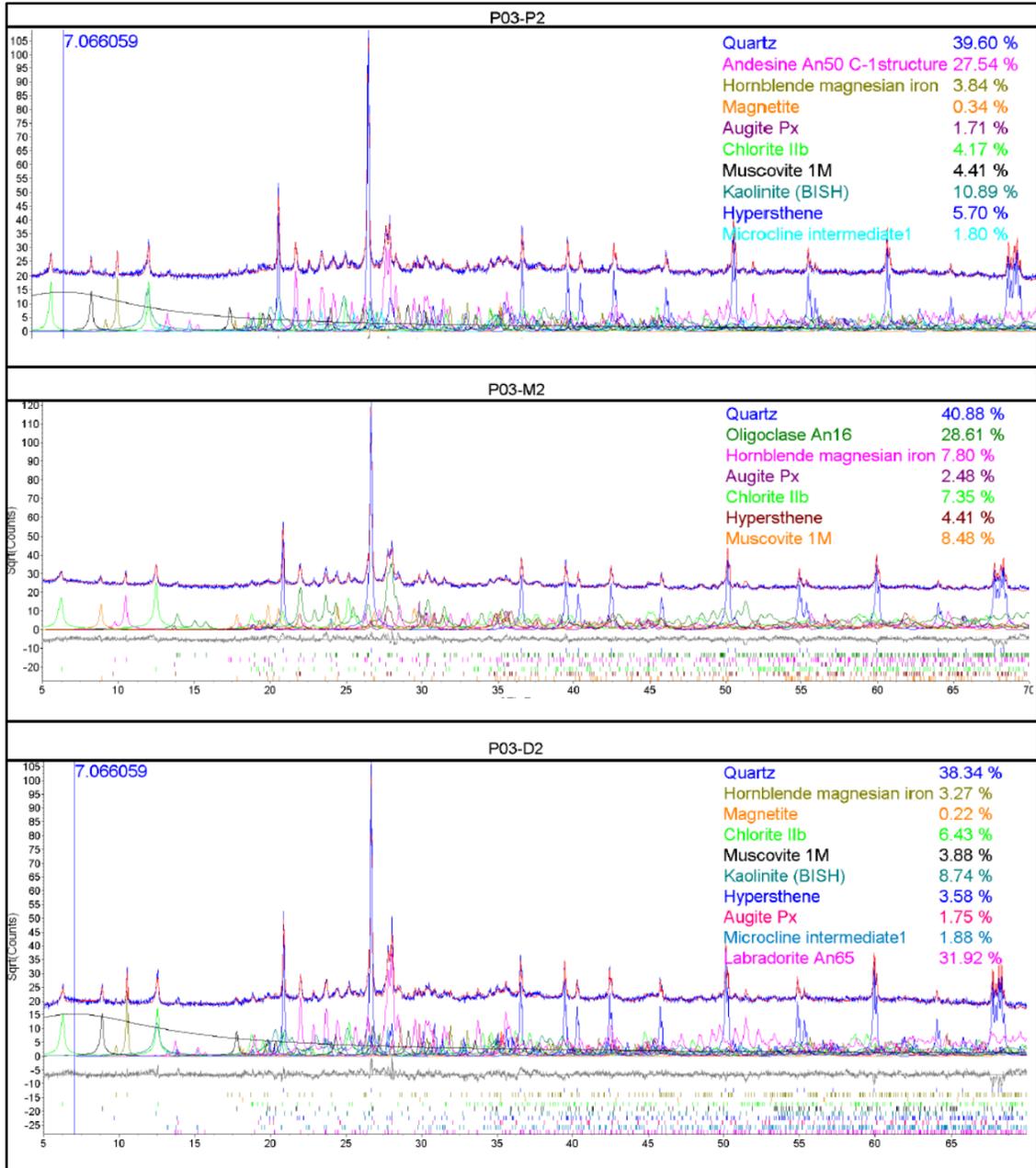


Figura 23. Resultados interpretados de la difracción de rayos X con los principales minerales presentes en las muestras de la desembocadura del río Patía cuantificados.

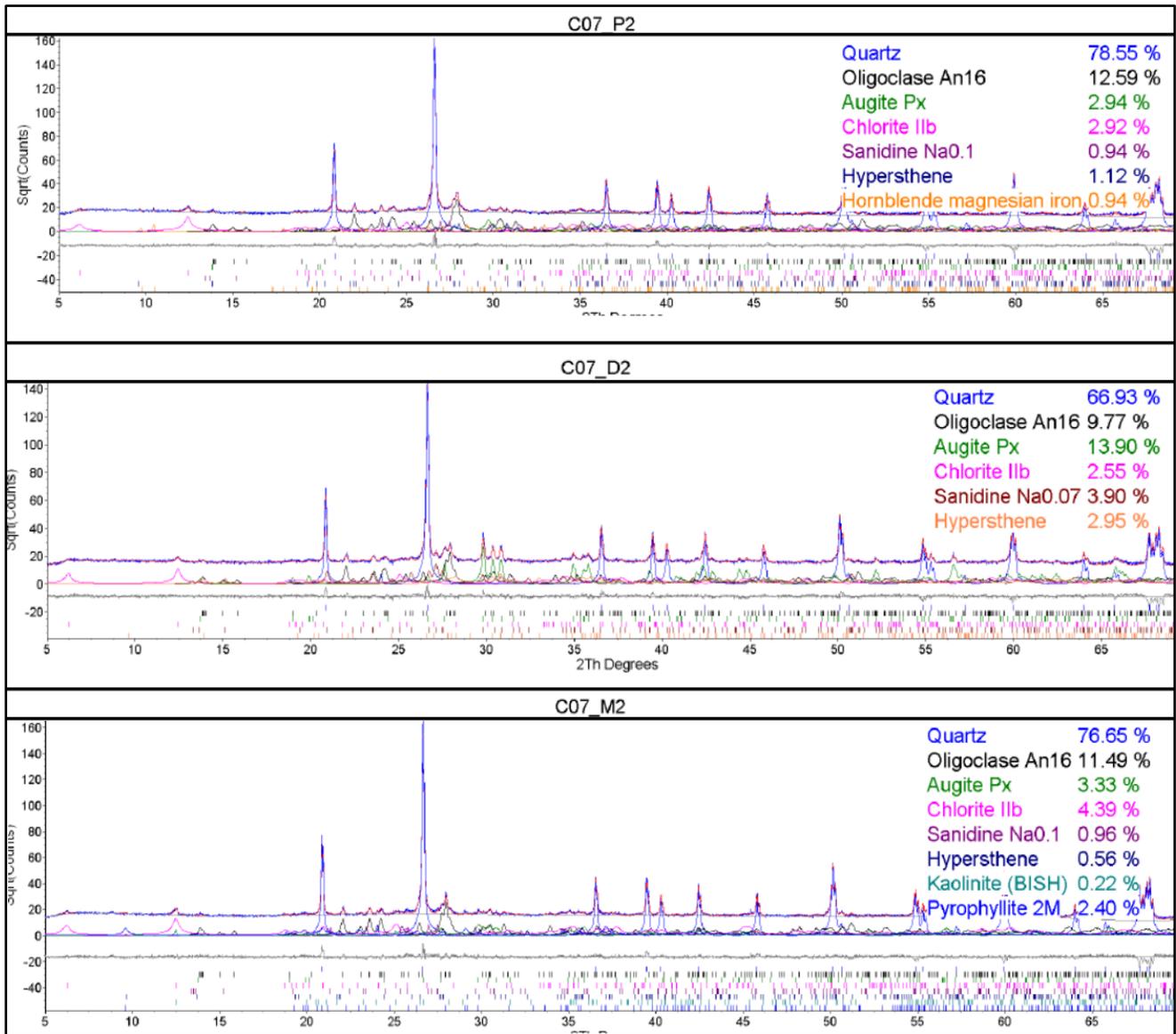


Figura 24. Resultados interpretados de la difracción de rayos X con los principales minerales presentes en las muestras de la desembocadura del río Sinú cuantificados.

Los resultados para las muestras de la desembocadura del río Sinú presentan un porcentaje de cuarzo que varía entre 67% y 78%, existe un incremento en comparación con las muestras del río Patía que también se evidencia en la petrografía. El segundo mineral con mayor concentración son las plagioclasas, para este caso con un porcentaje promedio de 11% de oligoclasa, y con concentraciones considerables se resalta la concentración de piroxenos tipo augita en los sedimentos de duna.

### 6.5 Espectroscopía RAMAN – Minerales Pesados

Los minerales pesados, llamados así porque sus pesos específicos son mayores que los de los principales constituyentes de la estructura, son componentes

volumétricamente menores de las arenitas, formando normalmente menos del 1% de la roca. Sin embargo, debido a su diversidad (más de 30 especies detríticas translúcidas de ocurrencia común) y a las paragénesis a menudo características, siempre han ocupado un papel clave en la interpretación de la procedencia de los sedimentos [52]

El estudio sistemático de minerales pesados es una valiosa herramienta para el análisis de procedencia en secuencias antiguas y depósitos modernos, ya que estos se encuentran asociados a rocas formadas en condiciones específicas, lo cual facilita una identificación más precisa del área fuente [27]

Por la presencia de altos contenidos de Fe y Mg, las rocas máficas concentran una gran cantidad de minerales pesados

(olivino, piroxeno y anfíbol), los cuales son altamente susceptibles a procesos de meteorización química, llegando a ser disueltos [53]. En contraste las rocas félsicas, si bien concentran menor proporción de minerales pesados, estos pueden tener una mayor resistencia a procesos de meteorización, como es el caso de circón, la turmalina y el rutilo [5], pudiendo experimentar múltiples ciclos sedimentarios. Así, los minerales pesados pueden ser altamente diagnósticos de la geología del área fuente. Por otra parte, el estudio de procedencia es sensible a variables como el clima, la topografía o las dimensiones de la red de drenaje [16], debido a que en la meteorización de una partícula mineral, desde su exposición en el área fuente hasta su historia de transporte (p.e. exposiciones subaereas en barras de río o en deltas cuando hay cambios en el nivel del mar), los cristales presentan selección por densidad, en el fluido que transporta las partículas [53], [54].

La concentración de granos minerales pesados en los sedimentos terrígenos de tamaño arena puede fluctuar considerablemente debido a varios factores, como la procedencia, los procesos sedimentarios y la disolución posterior a la deposición [5].

Se analizó una muestra de sedimentos de playa para cada uno de los márgenes (Cariba y Pacífico), para esta técnica se utilizó únicamente el tamaño de grano fino.

### 6.5.1 Desembocadura del río Patía

Se analizaron 162 puntos en total de la sección delgada realizada con los minerales pesados. Según los resultados de la espectroscopía RAMAN en los sedimentos de la desembocadura del Río Patía los principales minerales pesados presentes son piroxenos, anfíboles, óxidos de hierro y de titanio.

Desembocadura Río Patía		
Mineral Pesado	Puntos	Porcentaje
	<b>162</b>	<b>%</b>
<b>Piroxenos</b>	54	33,33333333
Augita	12	7,407407407
Diópsido	30	18,51851852
Jadeíta	2	1,234567901
Enstatita	10	6,172839506
<b>Anfíboles</b>	<b>54</b>	<b>33,33333333</b>
Parasita	7	4,320987654
Hanstinstita	2	1,234567901
Edenita	19	11,72839506
Actinolita	16	9,87654321
Tremolita	10	6,172839506
<b>Óxidos de Ti</b>	<b>25</b>	<b>15,43209877</b>
Anastasita	9	5,555555556
Rutilo	12	7,407407407
Broquita	4	2,469135802

<b>Óxido de Hierro</b>	<b>26</b>	<b>16,04938272</b>
Magnetita	17	10,49382716
Hematita	9	5,555555556
Ilmenita	3	1,851851852
Titanita	13	8,024691358
Epidota	40	24,69135802
Clinozoisita	1	0,6172839506
Apatito	9	5,555555556
Monazita	0	0
<b>Granates</b>	<b>3</b>	<b>1,851851852</b>
Piropo	1	0,6172839506
Espesartina	1	0,6172839506
Almandino	1	0,6172839506
<b>Pumpellita</b>	<b>1</b>	<b>0,6172839506</b>
<b>Vesuvianita</b>	<b>1</b>	<b>0,6172839506</b>
<b>Turmalina</b>	<b>1</b>	<b>0,6172839506</b>
<b>Zircón</b>	<b>2</b>	<b>1,234567901</b>
		100

Tabla 5. Resultados espectroscopía RAMAN con porcentajes de concentración de sedimentos pesados de la desembocadura del río Patía.

### 6.5.2 Desembocadura del río Sinú

Se analizaron 87 puntos en total de la sección delgada realizada con los minerales pesados.

Según los resultados de la espectroscopía RAMAN en los sedimentos de la desembocadura del Río Patía los principales minerales pesados presentes son piroxenos, diópsido, óxidos de hierro y diópsido.

Desembocadura Río Sinú		
Mineral Pesado	Puntos	Porcentaje
	<b>87</b>	<b>%</b>
<b>Piroxenos</b>	55	63,2183908
Augita	20	22,98850575
Diópsido	34	39,08045977
Jadeíta	0	0
Enstatita	1	1,149425287
<b>Anfíbol</b>	<b>3</b>	<b>3,448275862</b>
Parasita	1	1,149425287
Hanstinstita	1	1,149425287
Ednita	0	0
Actinolita	0	0
Tremolita	1	1,149425287
<b>Óxidos de Ti</b>	<b>5</b>	<b>5,747126437</b>
Anastasita	4	4,597701149
Rutilo	1	1,149425287
Broquita	0	0
<b>Óxido de Hierro</b>	<b>21</b>	<b>24,13793103</b>
Magnetita	1	1,149425287

Ilmenita	0	0
Titanita	10	11,49425287
Epidota	4	4,597701149
Clinozoisita	1	1,149425287
Apatito	4	4,597701149
Monazita	1	1,149425287
<b>Granates</b>	3	3,448275862
Piropo	1	1,149425287
Espesartina	0	0
Almandino	0	0
Pumpellita	2	2,298850575
Vesuvianita	0	0
<b>Turmalina</b>	0	0
<b>Zircón</b>	0	0
		100

Tabla 6. Resultados espectroscopía RAMAN con porcentajes de concentración de sedimentos pesados de la desembocadura del río Sinú.

## 6.6 Análisis de Procedencia

En análisis de procedencia se efectuó según Dickinson 1985, Ingersoll et al 1984 y Garzanti – Vezzoli 2008, con el propósito de establecer la relación de los sedimentos depositados y las fuentes de aporte de los mismos.

### 6.6.1 Procedencia sedimentos del río Sinú

Los resultados del análisis de procedencia de las muestras de playa, duna y marea de los sedimentos de la desembocadura del río Sinú en el margen Caribe Colombiano, se relacionan de manera significativa, por lo que fueron interpretados en conjunto.

Para esta localización las muestras analizadas en el triángulo **A**, de la figura 26, definido por Dickinson en 1985, están ubicadas en el campo de “Orógeno Reciclado” que según el autor está conformado por estratos supracorticales levantados, con presencia predominante de rocas sedimentarias y parcialmente de rocas volcánicas, expuestos en diversos cinturones de pliegues de regiones orogénicas (Figura 25). En el segundo triángulo **B**, por el bajo contenido de feldespato y fragmentos líticos de las muestras y el alto contenido de cuarzo, quedaron ubicados en el campo de “Orógeno reciclado cuarzoso” que indican una fuente de rocas sedimentarias inmaduras y metamórficas de bajo grado. En el tercer triángulo **C**, las muestras del Caribe se ubicaron en el ambiente proveniente de orógeno reciclado con alto contenido de cuarzo que tiene mayor influencia sobre el chert es decir que las rocas sedimentarias fuente de los granos son formadas predominantemente en un ambiente continental. En el cuarto triángulo **D**, los resultados en el triángulo de Garzanti indican que la fuente de los sedimentos se formó en un contexto tectónico con una

subducción hacia el este de la litosfera oceánica bajo la litosfera continental. Por último, la gráfica **E**, permitió establecer que la las rocas fuente de los sedimentos dentro del orógeno reciclado de arco magmático presenta más influencia de arco magmático que de bloque continental por el bajo contenido de líticos metamórficos.

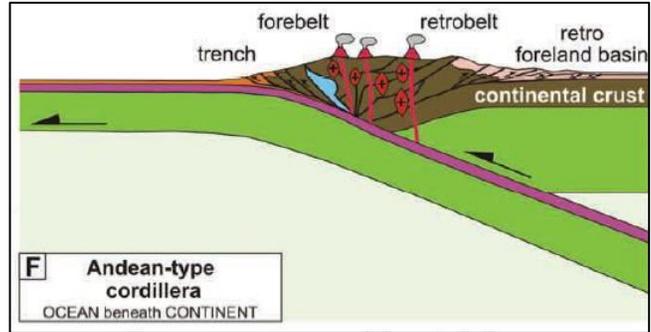
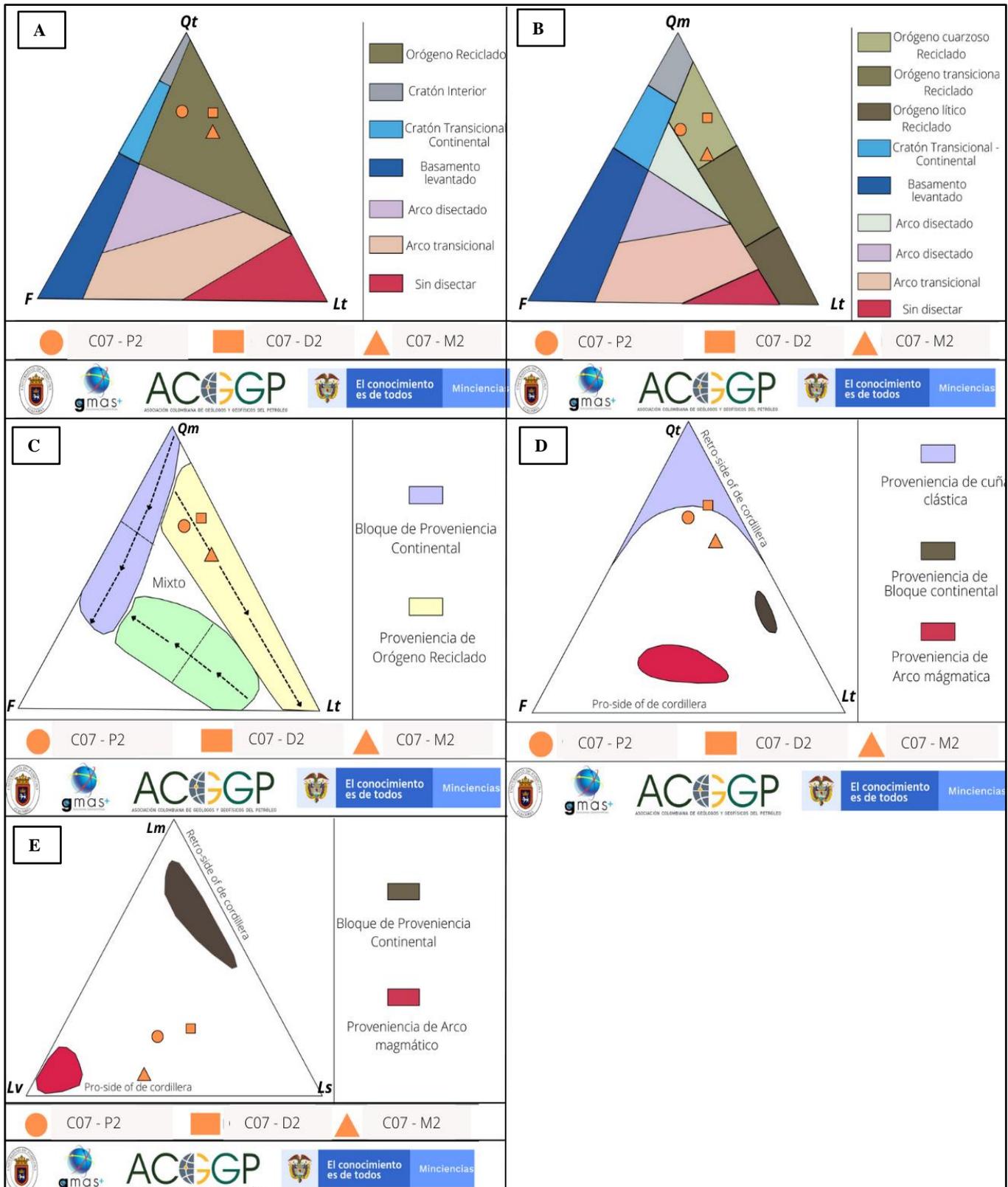


Figura 25. Ambiente tectónico de las rocas fuente de los sedimentos depositados en la desembocadura del río Sinú y Patía, Tomado de Garzanti 2007.

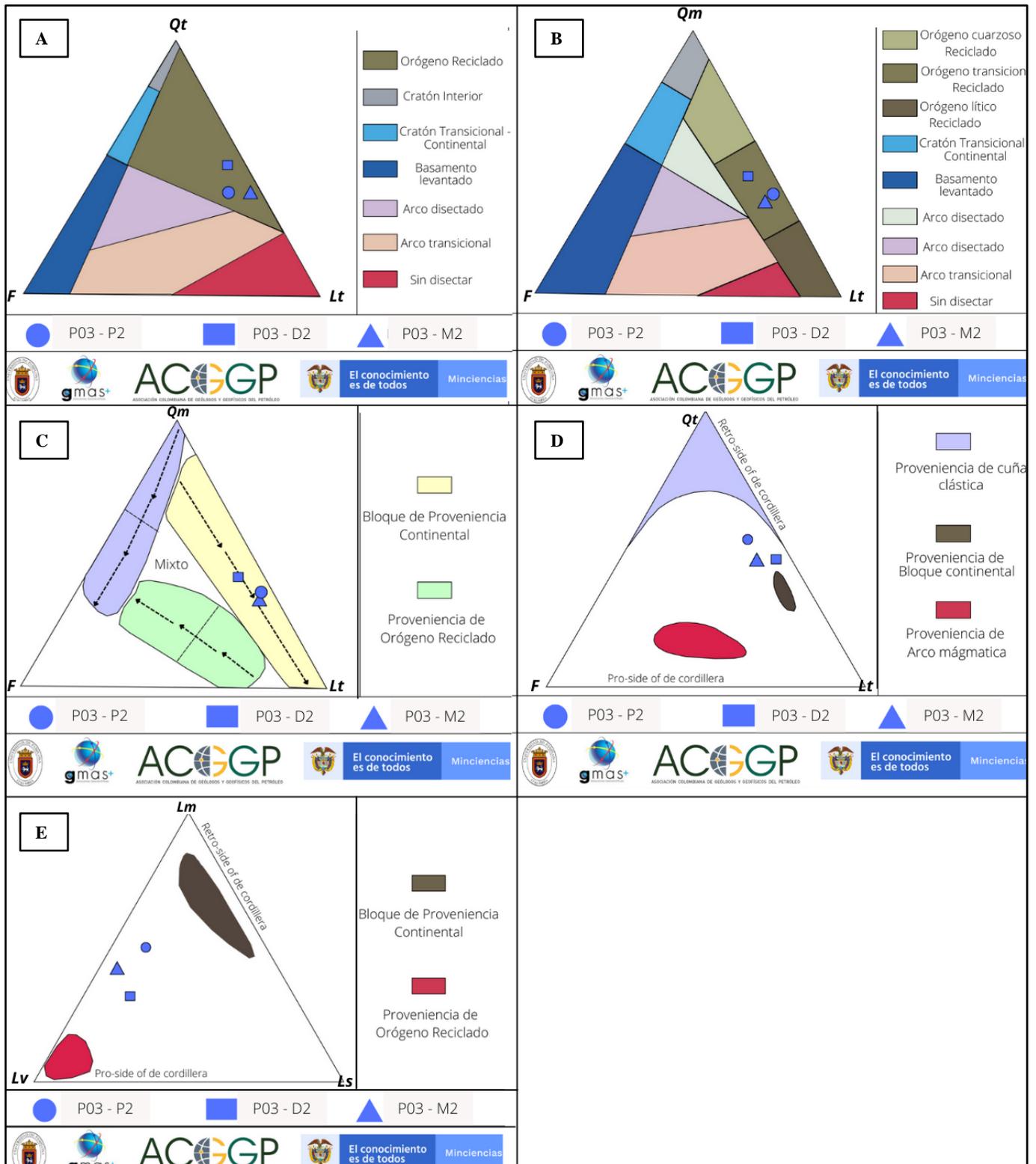
### 6.6.2 Procedencia sedimentos del río Patía

Los resultados del análisis de procedencia de las muestras de playa, duna y marea de los sedimentos de la desembocadura del río Patía en el margen pacífico colombiano, se relacionan de manera significativa, por lo que fueron interpretados en conjunto.

Para esta localización las muestras analizadas en el triángulo **A**, de la figura 27, definido por Dickinson en 1985, están ubicadas en el campo de “Orógeno Reciclado” que según el autor está conformado por estratos supracorticales levantados, con presencia predominante de rocas sedimentarias y parcialmente de rocas volcánicas, expuestos en diversos cinturones de pliegues de regiones orogénicas. En el segundo triángulo **B**, por la disminución en el contenido de cuarzo y el aumento en el contenido de líticos, los resultados quedaron ubicados en el campo de “Orógeno transicional reciclado” que indican una fuente de rocas sedimentarias de ambiente con presencia de líticos volcánicos. En el tercer triángulo **C**, las muestras del Pacífico se ubicaron en el ambiente proveniente de orógeno reciclado con una disminución en el contenido de cuarzo y mayor influencia de chert es decir que las rocas sedimentarias fuente de los granos son formadas predominantemente en un ambiente transicional a marino. En el cuarto triángulo **D**, los resultados en el triángulo de Garzanti indican que la fuente de los sedimentos se formó en un contexto tectónico con una subducción hacia el este de la litosfera oceánica bajo la litosfera continental. Por último, la gráfica **E**, permitió establecer que la las rocas fuente de los sedimentos dentro del orógeno reciclado de arco magmático presenta más influencia de arco magmático que de bloque continental por el bajo contenido de líticos metamórficos.



**Figura 26.** Análisis de procedencia para los sedimentos de playa, arena y duna de la desembocadura del río Sinú. A. Dickinson 1980. B. Dickinson 1980. C. Ingersoll 1996. D. Garzanti 2007 y E. Garzanti 2007. Los datos graficados son el resultado del análisis petrográfico con la metodología de Dickinson 1980 y la difracción de rayos X. (DRX).



**Figura 27.** Análisis de procedencia para los sedimentos de playa, arena y duna de la desembocadura del río Sinú. A. Dickinson 1980. B. Dickinson 1980. C. Ingersoll 1996. D. Garzanti 2007 y E. Garzanti 2007. Los datos graficados son el resultado del análisis petrográfico con la metodología de Dickinson 1980 y la difracción de rayos X. (DRX).

### 6.7 Discusión de los resultados

Composicionalmente los sedimentos del río Sinú en el margen Caribe poseen aproximadamente, entre el 60% y 70% de cuarzo, el 20% al 25% de fragmentos líticos y el 10% de feldespatos; es decir que las rocas fuente tienen alto contenido de cuarzo que pueden ser rocas sedimentarias de ambiente continental o rocas ígneas graníticas. Por otro lado los sedimentos del río Patía en el margen Pacífico poseen aproximadamente, entre el 40% al 50% de cuarzo, 40% al 50% de líticos y un 10% a 5% de feldespatos; es decir que las rocas fuente tienen menor contenido de cuarzo y pueden ser rocas sedimentarias de ambiente marino, rocas ígneas máficas.

En el marco geológico más regional los sedimentos de la desembocadura de los ríos Sinú y Patía provienen del mismo ambiente tectónico que es “orógeno reciclado”.

Según Dickinson 1984 el orógeno reciclado se produce en varios entornos tectónicos en los que las rocas estratificadas se deforman, se elevan y se erosionan.

A detalle, los resultados en las muestras del Caribe nos indican un ambiente de orógeno reciclado rico en cuarzo por su procedencia de rocas sedimentarias formadas en ambiente continental con presencia de rocas volcánicas característico de las rocas que afloran en la cuenca del río Sinú como las presentes en las formaciones San Cayetano, Brecha de Cispatá, Campano, Floresanto, Pavo inferior, Pavo superior y Copa; por otra parte los resultados en las muestras del Pacífico nos indican un ambiente de orógeno reciclado con menor contenido de cuarzo y mayor presencia de chert lo que nos indica que las rocas sedimentarias fuente de los sedimentos se formaron en ambientes transicionales o marinos como las que conforman las formaciones Penderisco, Timbiquí, Mosquera, Raposo y Mayorquín, además aumenta la presencia de líticos volcánicos que evidencian una presencia de rocas de secuencia ofiolítica en las rocas fuente.

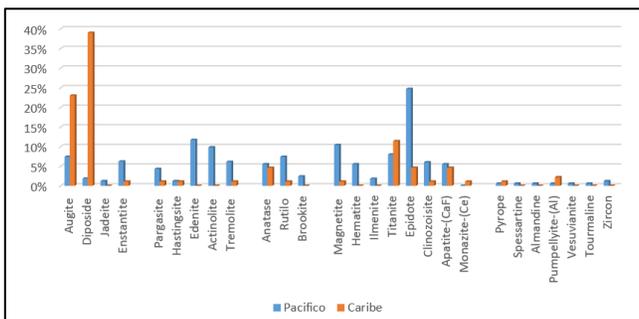


Tabla 7. Comparación estadística de las concentraciones de minerales pesados de los sedimentos de las desembocaduras de los ríos Sinú y Patía. Fuente: El autor

En los minerales pesados, para los sedimentos del Pacífico se evidencian dos tipos de rocas fuente, la primera identificada por

el alto contenido de piroxenos (33%), la presencia de augita y enstatita, la alta concentración en óxidos de hierro (magnetita y epidota) y la alta presencia de anfíboles (33%) nos indica que son rocas volcánicas máficas de tipo andesita y la segunda procedencia interpretada por la ausencia de zircones, turmalinas y rutilos se interpreta como de rocas sedimentarias de ambiente transicional a marino como había evidenciado el análisis petrográfico y de DRX.

Por otro lado las rocas del Caribe con un total de 63% de piroxenos y alta concentración de augita y de diópsido, no tienen influencia de rocas máficas y sí de rocas metamórficas de medio a bajo grado con protolitos que pueden ser rocas ígneas intermedias o rocas sedimentarias.

### 7. Conclusiones

El ambiente de depositación de los sedimentos de ambas localizaciones es transicional deltaico.

Regionalmente los sedimentos de las dos fuentes (margen Pacífico y margen Caribe Colombiano) tienen un origen mixto entre bloque continental y arco magmático reciclado (orógeno reciclado), característico de ambientes tectónicos complejos como la parte norte de los Andes.

En la zona de estudio para los sedimentos de la desembocadura del río Patía, se evidencia la influencia del arco magmático del Pacífico que está mezclado en estilo melange con rocas ígneas máficas, producto de la evolución del orógeno.

Los sedimentos de la desembocadura del río Sinú se formaron en un ambiente de orógeno continental cuarzoso a diferencia de los sedimentos de la desembocadura del río Patía que se formaron en un ambiente de orógeno transicional reciclado diferenciados.

Para los sedimentos de la desembocadura del río Sinú se identificaron diferentes fuentes de aporte, una procedente de rocas sedimentarias continentales relacionadas posiblemente con las formaciones San Cayetano, Brecha de Cispatá, Campano, Floresanto, Pavo inferior, Pavo superior y Copa; la segunda procedente de rocas volcánicas correlacionables con doleritas y tobas básicas provenientes de la formación Quebradagrande.

Para los sedimentos de la desembocadura del río Patía se identificaron dos fuentes de aporte, una procedente de rocas sedimentarias transicionales o marinas correlacionadas con las formaciones: Penderisco, Timbiquí, Mosquera, Raposo y Mayorquín y la ausencia de concentraciones considerables de anfíboles y piroxenos con el alto contenido de óxidos de hierro, indican la presencia de rocas ígneas de composición máfica posiblemente andesíticas provenientes de la formación Quebradagrande, Barroso y Ultramafitas de Guapí.

La disminución de cuarzo y el aumento de fragmentos líticos dentro de un ambiente de orógeno reciclado indica el cambio de ambiente de las rocas sedimentarias fuente.

Los minerales pesados son indicadores complementarios para conocer los agentes externos, en este caso los granos de augita, diópsido, epidota y magnetita se presentan en buen estado de conservación a pesar de su naturaleza inestable debido posiblemente a una alta tasa de sedimentación.

El índice de minerales ultra estables - ZTR (concentración de Zircón – Turmalinas y Rutilos) es bajo en los sedimentos de ambos márgenes, lo que sugiere una ausencia de rocas ígneas plutónicas félsicas en la fuente de los mismos.

### Agradecimientos

A mi Mama quien, con su amor, carácter paciencia y esfuerzo ha logrado que hoy cumpla uno de mis grandes sueños.

A mis tíos por su apoyo incondicional en este proceso y por siempre inculcar en mí las mejores cosas.

A Laura mi compañera de vida de alegrías y de días difíciles, de quien también es parte este sueño. Gracias por tanta Geología.

A Flover Rodríguez por su amistad y apoyo en mi crecimiento profesional.

A todo el equipo de Gmas por todo su constante apoyo en la labor de la ciencia.

Al Profesor Oscar por su apoyo en el proceso.

### Reconocimiento

Quiero hacer un reconocimiento a la Agencia Nacional de Hidrocarburos por financiar esta investigación, a el Ministerio de Ciencias, Tecnología e Innovación autores de la convocatoria 877, al grupo de investigación Gmas, a la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo autores del proyecto “Calidad de reservorios terrígenos de los márgenes Caribe y Pacífico Colombiano” por incluirme como pasante de investigación, a los investigadores Victor Ramirez, Germán Moreno, José María Jaramillo, Miguel Ramirez, Camilo Dongo, Vicente Benavidez y Jorge Barón por su asesoría y acompañamiento en el desarrollo de esta investigación, a los técnicos del laboratorio Gmas Lab Carlos y Julio por su apoyo en la implementación de las técnicas analíticas, a el doctor Lucca Caracciolo por su asesoría constante y apoyo con la realización del análisis de los minerales pesados.

### 8. Referencias

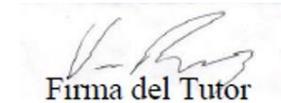
[1] Folk, R.L., 1974: Petrology of sedimentary rocks. Hemphills, Austin Texas.  
 [2] Dickinson, W., 1985: Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In Zuffa, G.G. Eds. Provenance of arenites. P 333-361.

[3] Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003. A Classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research* 73, 830–837.  
 [4] Pettijhon, F.J., Potter, P.E y Siever, R. Sand and Sandstone. Springer, 533 p., New York. 1987.  
 [5] Garzanti, E., and Andó, S. Heavy mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation. In: M.A. Mange, D.T. Wright (eds). *Developments in Sedimentology* (pp.517). Vol. 58, Amsterdam. 2007a  
 [6] Robertson, K y J. Chaparro. Evolución histórica del río Sinú. *Cuadernos de Geografía*, 7. (1-2). 1998  
 [7] CIAF. Estudios básicos para un Plan de Ocupación del Espacio, Valle del Río Sinú. Informe Técnico Corporación Autónoma de los Valles del Sinú y San Jorge. 1985  
 [8] Colignon, D. Beach sampling and processing guidelines. 2012.  
 [9] IGAC 2013 Manual de Percepción Remota en Geografía Actualizado. Vol I-II. Bogotá. 171 p.  
 [10] González M -. Metodología para la elaboración de secciones delgas - Taller del departamento de Petrología y Geoquímica UNAM. 2016  
 [11] Murcia H, Cortés G & Hurtado, Métodos e integración de análisis granulométrico para depósitos volcánoclasticos. *Boletín Geológico*, 42 (1-2), 2008, pp 129 – 139.  
 [12] MECESUP UCH 0303 “Modernización e integración transversal de la enseñanza de pregrado en cuencias de la tierra - área temática: Sedimentología” de la Universidad de Chile 2020 - Flores V  
 [13] Usuga J.J & Angulo B 2021 “Caracterización granulométrica de sedimentos colectados en las playas del litoral antioqueño” Universidad de Antioquia  
 [14] Mange 2015. Heavy Minerals in Colour. INGEOMINAS, Bogotá  
 [15] Dickinson, W.R, Sucek. CA., 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologist* 63, 2164 – 2172.  
 [16] 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 Petrology* 54, 103- 106.  
 [17] Di Giulio A., Valloni R, 1992. Analisis microscopica delle areniti terrigene: parametri petrologici e composizioni modali. *Acta Naturalia de l' Ateneo Parmense*, Vol. 28, nn.3/4, Parma, Italia.  
 [18] Dickinson W 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of sedimentary petrology* v.40 p. 695 – 707  
 [19] Buhker et al, 1998. A practical guide of the preparation of specimens for X-Ray fluorescence and X-Ray diffraction analysis.  
 [20] Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003. A Classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research* 73, 830–837.  
 [21] Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003. A Classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research* 73, 830–837.  
 [22] Garzanti, E., Vezzoli, G., 2003. A Classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. *Journal of Sedimentary Research* 73, 830–837.  
 [23] Velez, E. 2009. Alteración del régimen de caudales caso Urrá I. Tesis de Maestría Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. 59p  
 [24] Solano, O. D., Ruiz, C., Garcia, C., Vega, D., Cortés, F., Herera, F., y Gil, W. 2007. Plan de Seguimiento y Monitoreo de la Zona Deltaica Estuarina del Río Sinú (Noviembre 2000 a Diciembre de 2007).  
 [25] INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe Final, Fase X, Séptimo año, para la empresa Urrea SAESP, Santa Marta.  
 [26] Suarez, B. E. S. (2004). The Sinú river delta on the northwestern Caribbean coast of Colombia: bay infilling associated with delta development. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(7), 623-631.  
 [27] Juan Camilo Restrepo-López, Juan Carlos Ortiz-Royero, Luis Otero-Díaz, Silvio Raúl Ospino-Ortiz Grupo Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(153):527-

- 546, octubre-diciembre de 2015 doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyfn.209>
- [28] Trenkamp, R., Kellog, J., Freymueller, J., Mora, H. 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*. 15 (2): 157-171.
- [29] Cediél, F., Shaw, R., Caceres, M. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block. En: Bartolini, C., Buffler, R., Blickwede, J. (Eds.) *The circum-gulf of Mexico and Caribbean Hydrocarbon habitats, basin formation and plate tectonics*. AAPG Memoir, 79 p.
- [30] Ingeominas. 2003. Geología de los cinturones Sinú-San Jacinto. Planchas 50 Puerto Escondido, 51 Loricá, 59 Mulatos, 60 Canalete, 61 Montería, 69 Necoclí, 70 San Pedro de Urabá, 71 Planeta Rica, 79 Turbo, 80 Tierralta. Escala 1:100.000.
- [31] Duque-Caro, H. 1979. Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. *American Association of Petroleum Geologist Memoir*. 29: 329-351. Duque-Caro, H. 1984. Estilo estructural, diapirismo y episo-dios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia. *Boletín Geológico del Ingeominas*. 27 (2): 29 p.
- [32] J. Flinch°, J. Amaral\*, A. Doulcet°, B. Mouly°, C. Osorio\* Y J. M. Pince°. Estructura de la cuña de acreción del Sinú. Norte de Colombia
- [33] Mera, R., y Piragua, A., 2000. Correlación de las rocas del intervalo Paleoceno-Oligoceno, Subcuenca de San Juan, Chocó. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 93 p.
- [34] Duque-Caro, H., 1991. Contributions to the geology of the Pacific and Caribbean coastal areas of northwestern Colombia and South America: Princeton University, PhD. thesis. p. 132.
- [35] Robertson Research, 1988. The biostratigraphic, paleoenvironments and petroleum geochemistry of the Buchadó-1, Tambora-1 and Sandí-1 wells, Pacific coastal region of Colombia. Report No. 3792/lb for Ecopetrol. Bogotá. p. 104.
- [36] Coates, A.G., Laurel, S., Collins, Aubry, Marie-Pierre, Berggren, William A. 2004. The Geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. *GSA. Bulletin*
- [37] Duque-Caro, H., 1991. Contributions to the geology of the Pacific and Caribbean coastal areas of northwestern Colombia and South America: Princeton University, PhD. thesis. p. 132.
- [38] Restrepo-López, Ortiz-Royero, Díaz & Ospino – Ortiz. Transporte de Sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe Colombiano: magnitud, tendencias y variabilidad. 2015.
- [39] Unión Temporal B&G. Cartografía Geológica de los Cinturones Plegados Sinú – San Jacinto. Proyecto: Compilación, Análisis y Evaluación de la información existente. Bogotá – Marzo 2006
- [40] Gonzáles 2005. Análisis geomorfológico de abanicos aluviales y procesos de desbordamiento en el litora Cuad. De Geografía
- [41] INGEOMINAS, Geología de los cinturones Sinú – San Jacinto. Escala 1:100.000 Memoria Explicativa. Por GEOTEC Ltda. 2003
- [42] De Porta, J. 1974. *Léxique Stratigraphique International*. Amérique Latine, Colombie (deuxime partie), Tertiaire et Cuaternaire. *Centr. Nat. Rech. Sci.*, 5(4b):1- 643 p. París. Barrera
- [43] Duque Caro, H. 1968. Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. *UIS, Bol. Geol.*, 24: 71-87. Bucaramanga. Restrepo & cantera 2011
- [44] Restrepo & López. *Morphodynamics of the Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America*. 2008
- [45] Bayona, G., Jiménez, G., Silva, C., Cardona, A., Montes, C., Roncancio, J. & Cordani, U. 2010: Paleomagnetic data and K.Ar ages from Mesozoic units of the Santa Marta Massif: A preliminary interpretation for block rotations and translations. *Journal of South America Earth Sciences*. Vol. 29, Issue 4. P 817-831.
- [46] Morton, A. & Hallsworth, C. 1994: Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary geology No. 90*. P 241 -256.
- [47] Mora, A., Reyes, A., Rodríguez, G., Tesón, E., Ramírez, J., Parra, M., Caballero, V., Mora, J., Quintero, I., Valencia, V., Ibañez, M., Horton, B. & Stockli, D. 2013: Inversion tectonics under increasing rates of shortening and sedimentation: Cenozoic example from the Eastern Cordillera of Colombia. *Geological Society London Special Publications*. Vol. 377. P 411-442
- [48] Krynine 1948
- [49] Humbert 1960
- [50] Folk 1954
- [51] Mc Bride 1963
- [52] Morton, A. & Hallsworth, C. 1994: Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary geology No. 90*. P 241 -256.
- [53] Kerr, A.C. Tarney, J., 2005. Tectonic evolution of the Caribbean and northwestern South America: The case for accretion of two Late Cretaceous oceanic plateaus. *Geology*, 33, 269-272
- [54] Ranero, C. R., R. von Huene, E. Flueh, M. Duarte, D. Baca, and K. McIntosh (2000), A cross-section of the convergent Pacific margin of Nicaragua, *Tectonics*, 19, 335 – 357.



Firma Director  
Ph.D Oscar Mauro Castellanos  
Profesor Titular  
Universidad de Pamplona



Firma del Tutor



Firma del Tutor