

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.
FACULTAD DE CIENCIAS.
ESCUELA DE QUIMICA.



ESTUDIO DE LOS MINERALES PESADOS PRESENTES EN LA FRACCION ARENA
DE LOS SEDIMENTOS FRENTE AL DELTA DEL ORINOCO, VENEZUELA.

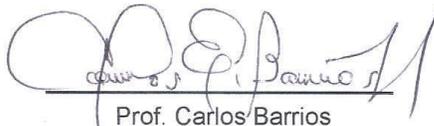
Trabajo Especial de Grado presentado
ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela, por el Br. **Arturo Leu** para
optar al título de Licenciado en Química.

Caracas, Mayo 2016.

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado:

**“ESTUDIO DE LOS MINERALES PESADOS PRESENTES EN LA FRACCION
ARENA DE LOS SEDIMENTOS FRENTE AL DELTA DEL ORINOCO, VENEZUELA.”**

Presentado por el Br. Arturo Leu, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.



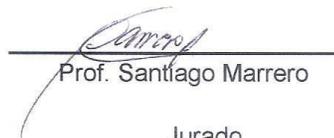
Prof. Carlos Barrios

Director



Prof. José Méndez

Jurado



Prof. Santiago Marrero

Jurado

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo quiero darle las gracias a Dios, por darme la vida, salud, fe, fortaleza, sabiduría y entendimiento para alcanzar esta meta y por permitirme entender que verdaderamente su tiempo es perfecto.

A toda mi familia por ofrecerme su apoyo incondicional, especialmente a mis padres por depositar toda su confianza en mí, este logro es gracias a ustedes por enseñarme a no rendirme por más grande que parezcan las adversidades.

Por último y no menos importante a Sherley, mi compañera de vida que siempre supo guiarme y levantarme en todo este camino.

RESUMEN.

El presente trabajo tuvo como finalidad realizar un estudio de los minerales pesados presentes en la fracción arena media y fina específicamente en los sedimentos frente al delta del Orinoco, entre Boca Grande y Pedernales. Los sedimentos del Delta del Orinoco, fueron previamente separados de acuerdo su susceptibilidad magnética a través del Isodinámico de Frantz y purificados con un líquido de alta densidad, el bromoformo. Una vez separados los minerales pesados encontrados, se observaron sus propiedades físicas, para así realizar la caracterización mineralógica, morfológico-textural y análisis químico puntual mediante las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), y así determinar la proveniencia de los minerales pesados.

Los minerales pesados pertenecen principalmente a las corrientes de 0,8 y 1,2 amp., para ambas fracciones de arenas. Donde la fracción de arena media contiene 5 ± 2 % de minerales pesados y 95 ± 6 % de minerales livianos y la fracción arena fina contiene un 8 ± 3 % de minerales pesados y 92 ± 7 % de minerales no pesados, indicando que la fracción de arena fina contiene mayor porcentaje de minerales pesados.

Entre los minerales encontrados la goethita, anfíbol y almandino tenían unas morfologías predominantemente rugosas mientras que el circón y la ilmenita su textura era lisa. Todas en general presentaban una alta redondez, destacando el circón y la ilmenita, presento un grado de transporte alto.

El cuarzo y los milliolidos, a pesar de que no son minerales pesados, fueron separados según su susceptibilidad magnética, encontrándose el cuarzo debido a inclusiones de minerales oscuros que le dan cierto carácter magnético y los milliolidos estaban compuesto por calcita enriquecida en magnesio y presentó una coloración naranja debido a una coraza de óxidos de hierro que recubre el armazón calcáreo de

estas especies. Según el ambiente donde se encuentren se pudiese formar óxidos de hierro que precipitan sobre los miliolitos, como consecuencia de estar en un ambiente natural o en un ambiente altamente óxico. Dándole cierto magnetismo y poder ser separados como minerales pesados.

Los minerales pesados identificados fueron asociados pertenecientes a fuentes de rocas ígneas y metamórficas, provenientes principalmente del Sureste de Venezuela del escudo de Guayana.

ÍNDICE GENERAL.

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específico.....	4
3. Marco teórico.....	5
3.1. Ambientes sedimentarios.....	5
3.1.1. Plataforma continental.....	5
3.1.2. Ambiente marino.....	6
3.1.3. Ambiente transicional.....	7
3.1.3.1. Deltas.....	7
3.2. Sedimentos.....	8
3.2.1. Clasificación de los sedimentos.....	9
3.2.2. Elementos de un sedimento.....	9
3.2.2.1. Minerales primarios.....	9
3.2.2.2. Minerales neoformados.....	10
3.2.2.3. Minerales autigénicos.....	10

3.3. Sedimentos marinos.....	10
3.3.1. Clasificación de los sedimentos marinos.....	10
3.3.1.1. Próximo costero.....	10
3.3.1.2. Marino profundo.....	11
3.3.1.2.1. Hemipelágico.....	11
3.3.1.2.2. Pelágico.....	11
3.3.1.2.2.1. Pelágicos inorgánicos.....	11
3.3.1.2.2.2. Pelágicos biogénicos.....	11
3.4. Minerales pesados.....	12
3.4.1. Clasificación de los minerales pesados	14
3.4.1.1. Alogénico.....	14
3.4.1.2. Autigénicos.....	14
3.4.2. Asociaciones de minerales pesados	14
3.4.3. Aplicaciones de minerales pesados.....	14
3.4.4. Métodos de separación de minerales pesados.....	16
3.4.4.1. Separación por gravedad.....	16
3.4.4.1.1. Líquidos de alta densidad.....	16
3.4.4.1.2. Método hidrodinámico.....	16
3.4.4.2. Separación magnética de minerales pesados.....	17

4. Área de estudio.....	19
5. Antecedentes.....	22
5.1. Antecedentes Internacionales.....	22
5.2. Antecedentes Nacionales.....	29
6. Metodología experimental.....	33
6.1. Recolección y selección de muestras.....	33
6.2. Tratamiento físico y separación granulométrica.....	34
6.3. Separación magnética a través del Isodinámico de Frantz.....	37
6.4. Caracterización mineralógica de los sedimentos.....	38
6.5. Caracterización textural y análisis químico puntual.....	38
7. Resultados y discusión.....	39
7.1. Cuantificación de minerales pesados.....	40
7.2. Cuantificación de las fracciones magnéticas.....	41
7.3. Caracterización mineralógica.....	44
7.3.1. Ilmenita y anatasa.....	45
7.3.2. Circón, mineral de arcilla y óxido de hierro.....	47
7.3.3. Almandino.....	49
7.3.4. Milliolidos (recubiertos por una fase de óxidos de hierro).....	51
7.3.5. Cuarzo.....	52

7.3.6. Anfíbol.....	54
7.3.7. Goethita.....	56
8. Asociaciones de minerales pesados.....	57
9. Conclusiones.....	61
10. Recomendaciones.....	63
11. Bibliografía.....	64
12. Anexos.....	73

ÍNDICE DE TABLAS.

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
Tabla 1. Clasificación de sedimento según tamaño.....	9
Tabla 2. Minerales pesados comunes de acuerdo a su estabilidad.....	13
Tabla 3. Proveniencia de algunos minerales pesados comunes.....	15
Tabla 4. Líquidos densos usados en la separación de minerales pesados.....	17
Tabla 5. Susceptibilidad magnética de los minerales pesados.....	18
Tabla 6. % P/P según de tamaño de granos.....	41
Tabla 7. % de los minerales pesados en distintos amperajes de arena media	42
Tabla 8. % de los minerales pesados en distintos amperajes de arena fina...	44
Tabla 9. Minerales pesados y su asociación con la roca parental.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS.

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
Figura 1. División en base a la profundidad del ambiente marino.....	7
Figura 2. Separador Magnético Frantz L-1.....	18
Figura 3. Ubicación del delta del Orinoco.....	20
Figura 4. Buque oceanográfico Hermano Gines.....	33
Figura 5. Equipo de muestreo A) Draga Van Veen, B) Nucleador.....	34
Figura 6. Esquema metodológico para la separación granulométrica de los sedimentos, concentración de los componentes pesados y posterior separación magnética.....	35
Figura 7. Equipo para la separación de los componentes pesados del sedimento por el método Hidrodinámico.....	36
Figura 8. Isodinámico de Frantz para la separación magnética de los minerales pesados.....	37
Figura 9. Lupa binocular, marca Leica.....	38
Figura 10. Equipo de MEB marca JEOL JSM-6390.....	39
Figura 11. % de arena media y arena fina en muestras de interés.....	40
Figura 12. % de minerales pesados en fracciones magnéticas de arena media.....	43
Figura 13. % de minerales pesados en fracciones magnéticas de arena fina...	43

Figura 14. Morfología de las partículas de ilmenita y anatasa.....	46
Figura 15. Espectro de ilmenita o anatasa.....	46
Figura 16. Morfologías de minerales de arcillas y circón.....	47
Figura 17. Espectro del circón.....	48
Figura 18. Espectro del óxido de hierro.....	48
Figura 19. Morfologías de minerales de almandino.....	50
Figura 20. Espectros presentes en muestras de almandino.....	50
Figura 21. Morfología de milliolidos.....	51
Figura 22. Espectro milliolidos.....	52
Figura 23. Morfología de Cuarzo.....	53
Figura 24. Espectro de cuarzo.....	53
Figura 25. Morfología de Anfíbol.....	55
Figura 26. Espectro de Anfíbol.....	55
Figura 27. Morfología de Goethita.....	56
Figura 28. Espectro de Goethita.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS.

<u>Contenido</u>	<u>Página</u>
Anexo # 1. Tabla masa de tamaño de granos iniciales en gramos.....	73
Anexo # 2. Tabla masa de minerales y fracciones Arena media (>60) en gramos.....	73
Anexo # 3. Tabla masa de minerales y fracciones Arena fina (>120) en gramos.....	74
Anexo # 4. Área de estudio a los efectos de la Línea Base Ambiental Plataforma Deltana (LBAPD) y ubicación de los bloques a desarrollar.....	74
Anexo # 5. Cálculos de promedio y desviación estándar.....	75

1. INTRODUCCIÓN.

Las plataformas continentales abarcan desde el fondo marino poco profundo hasta los 200 metros aproximadamente adyacentes a la placa continental, con márgenes externos marcados por las laderas de los continentes, ellas reciben sedimentos que son suministrados por los ríos. ^[1]

Estos ríos transportan gran cantidad de sedimentos que se acumulan en conos de deyección delante de la desembocadura. Los sedimentos son partículas sólidas no consolidadas, producidas por la meteorización y la erosión de las rocas preexistentes que originan los fragmentos, granos y partículas, los cuales son transportados por el agua, el viento o los glaciares. ^[2,3]

Las características químicas y mineralógicas de los sedimentos marinos están estrechamente relacionadas con la geología de las áreas adyacentes. De allí, que un estudio geoquímico de dichos sedimentos puede identificar el origen de las rocas y las vías de transporte de los sedimentos. Una herramienta para conocer el origen de los sedimentos terrígenos presentes en los sedimentos marinos es el estudio de los minerales pesados, ya que con estos se puede conocer la proveniencia de dichos sedimentos. ^[4] Otras de las aplicaciones más importantes de los minerales pesados, es que constituyen un reflejo directo de la litología a partir de su asociación mineralógica. ^[5]

La clave del uso de los minerales pesados como trazadores naturales de proveniencia reside en: su comportamiento hidrodinámico, densidad y la resistencia a la meteorización ^[6]. Los minerales pesados son aquellos constituyentes accesorios de los sedimentos siliciclásticos que poseen una alta densidad, comúnmente mayor a la del bromoformo (2,89 g/mL) o tetrabromoetano (2,96 g/mL). Los minerales pesados más comunes son el rutilo, circón, la turmalina, el rutilo, moscovita, clorita, hematita, apatito,

monzonita, estaurolita, sillimanita, cianita, epidoto, biotita, granate, magnetita, ilmenita, horblenda, augita y olivino. ^[7]

Los minerales pesados son utilizados para: determinar proveniencia, reconstruyendo las características originales o fases mineralógicas de la roca parental. También para reconstruir patrones de transporte que ayuden a complementar los análisis de paleo-corrientes. Al igual que son usados para cartografiar modelos de dispersión sedimentaria. Otra aplicación, es localizar depósitos con un potencial económico elevado. ^[7]

En Venezuela, los estudios de minerales pesados han estado enfocados principalmente en la determinación de la proveniencia de los sedimentos; al igual que en la caracterización y prospección minera; también para la reconstrucción de los patrones de transporte sedimentario; y por último en la relación que tienen los minerales pesados con el aporte de los sedimentos fluviales, los cuales han sido estudiadas en diversas áreas del país. ^[8,9,10,11,12,13,14,15]

Específicamente en la zona del Delta del Orinoco no se han realizado trabajos relacionados con minerales pesados, cercanos a la zona de estudio encontramos un trabajo sobre minerales pesados realizado en el 2006.

Franco (2006) realizó un estudio sobre minerales pesados en sedimentos superficiales de la plataforma continental atlántica, haciendo énfasis en las fracciones de arena, identificando circón, epidoto, berilo, clinocloro, ilmenita, anatasa y rutilo, en la facies de fango de la plataforma somera; ilmenita, circones, goethita, anfíboles, glauconita, sillimanita, epidoto, diópsido, andalucita, dravita, y moscovita, en la facies de carbonatos; Ilmenita, goethita, circón, dravita, glauconita, en las arenas transgresivas basales. Por otro lado recomienda realizar estudios de los minerales pesados mediante

la técnica microscopía electrónica para identificar procesos diagenéticos en la plataforma continental atlántica y comprobar la caracterización de algunos minerales pesados y sus asociaciones mineralógicas señaladas por dicho autor. Los minerales identificados por Franco (2006), tienen mayor influencia proveniente del río Orinoco con respecto al Amazonas y son distribuidos perpendicularmente a la línea de costa.^[9] Sin embargo, en la zona de estudio que corresponde a la plataforma continental venezolana frente al Delta del Orinoco, entre Boca Grande y Pedernales, no se han realizado estudios de minerales pesados, de allí radica la importancia de este trabajo.^[16]

En vista del interés geoquímico que presenta el estudio de los minerales pesados y la poca información encontrada en dicha zona, se propone el estudio de los minerales pesados presentes en la fracción de arena de los sedimentos en el delta del Orinoco. Esto con el fin de determinar las asociaciones mineralógicas y rasgos texturales que suministren información sobre la proveniencia de los sedimentos y los procesos de transporte de los mismos, así como las alteraciones que puedan sufrir los minerales producto de la diagénesis temprana. Por ende la información obtenida en el presente trabajo permitirá complementar los estudios de los sedimentos recientes en el frente Atlántico de Venezuela.

2. OBJETIVOS.

Para llevar a cabo el presente trabajo se ha planteado el siguiente objetivo general y los objetivos específicos correspondientes que ayudaran al cumplimiento del objetivo general

2.1. Objetivo General.

Realizar un estudio de los minerales pesados presentes en la fracción arena de los sedimentos frente al Delta del Orinoco, Venezuela.

2.2. Objetivos Específicos:

2.2.1. Cuantificar los minerales pesados de las muestras de sedimentos originales, mediante el método hidrodinámico.

2.2.2. Cuantificar los minerales pesados de acuerdo a su susceptibilidad magnética a través del Isodinámico de Frantz.

2.2.3. Identificar la composición mineralógica de las distintas fracciones magnéticas.

2.2.4. Realizar el análisis micro-textural (morfología y rasgos superficiales) y análisis químico, a esta escala, de los distintos minerales encontrados.

2.2.5. Realizar las asociaciones mineralógicas de los puntos muestreados para determinar la proveniencia de los sedimentos.

3. MARCO TEÓRICO.

A continuación en el siguiente apartado se presenta una breve revisión bibliográfica sobre los aspectos más importantes que sustentan el presente trabajo.

3.1. Ambientes sedimentarios.

Los ambientes sedimentarios se pueden considerar como unidades de depósitos de sedimentos enmarcados en un área geográfica definida, la cual está limitada y controlada por parámetros morfológicos del área, la tectónica, el clima, parámetros físicos (tipo y tamaño de granos, profundidad de las aguas, acción de los vientos, corrientes, oleaje y marea), químicos (pH, Eh, precipitaciones inorgánicas de minerales y variaciones en el CO₂) y biológicos (desarrollo de la biota, contribución de las partes esqueléticas al sedimento y edificación de estructuras orgánicas). Los ambientes sedimentarios pueden ser divididos en tres grandes grupos: ambientes continentales, ambientes marinos y ambientes transicionales.^[2]

El ambiente de plataforma continental puede ser definido como la región transicional ubicada entre la línea de costa y el talud^[17]. Las características de la sedimentación en la plataforma cambian de una región a otra, dependiendo de las diferencias de los regímenes de mareas, corrientes marinas, condiciones climáticas, profundidad de la fuente de sedimentos, salinidad y temperatura.^[18]

3.1.1. Plataforma continental.

Las plataformas continentales son tomadas desde el suelo marino poco profundo hasta los 200 m aproximadamente adyacentes a la placa continental, con márgenes externos marcados por las laderas de los continentes^[19]

Las plataformas más amplias están principalmente ante la desembocadura de los grandes ríos: Amazonas, Orinoco, Mississippi, Ganges, Nilo, Mekong, Ródano, Po, etc. Estos transportan gran cantidad de sedimentos fluviales que se acumulan en conos de deyección delante de la desembocadura, cayendo a veces por la pendiente del talud para depositarse en las llanuras abisales. ^[20]

El margen continental es la porción de fondo oceánico adyacente a las principales masas continentales. Puede incluir la plataforma continental, el talud continental y el pie de talud. El límite entre los continentes y las cuencas oceánicas profundas se encuentra a lo largo del talud continental, que es una estructura relativamente empinada que se extiende desde la superficie exterior de la plataforma continental hasta el fondo oceánico profundo. ^[3]

En regiones donde no existen fosas, el empinado talud continental pasa a tener una inclinación más gradual, conocida como pie de talud. El pie de talud está formado por un grueso cúmulo de sedimentos que se movieron pendiente abajo desde la plataforma continental hacia los fondos oceánicos profundos. ^[3]

3.1.2. Ambiente marino.

Los ambientes sedimentarios marinos se encuentran formados por depósitos de sedimentos terrígenos y carbonatos, ellos comprenden distintas zonas. A continuación se presenta la división en base a la profundidad del ambiente marino:

- **Zona nerítica:** hasta una profundidad de 200 metros de agua.
- **Zona batial:** corresponde a la pendiente continental y se extiende desde 200 a 2000 metros de profundidad.

- **Zona abisal:** es el fondo del océano por debajo de 2000 metros. ^[21]

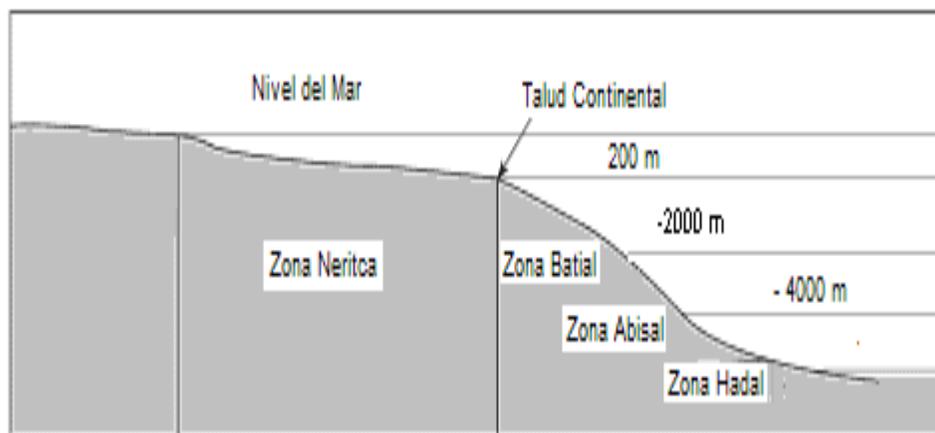


Figura 1. División en base a la profundidad del ambiente marino. ^[21]

3.1.3. Ambiente transicional.

Los ambientes transicionales son aquellos formados en la línea de costa y que poseen influencia marina y continental. Los deltas representan uno de los ambientes sedimentarios más importantes formados en la zona de transición entre la planicie o llanura costera y el mar. Para la formación de un delta intervienen los siguientes factores: el volumen de sedimentos aportados por el río y descargados en la línea de costa, la magnitud en las corrientes de marea y por último la magnitud en las corrientes marinas litorales, en Venezuela tenemos un delta de importancia como el Delta del Orinoco. ^[2]

3.1.3.1. Los Deltas.

Los deltas se forman en lugares donde la erosión marina, constituida por olas, mareas y corrientes, no alcanzan a erosionar y redistribuir los sedimentos que aporta el

río desde el interior de su cuenca. El frente del delta avanza y progresa sobre la plataforma a medida que se establece un equilibrio entre la sedimentación y la distribución de los sedimentos. Cuando la sedimentación o aporte de sedimentos es mayor que la distribución de las mismas, el avance y la progradación es más rápida y efectiva. Un delta por lo general se divide en tres sectores, el primero de ellos forma el sector emergido y un área próxima sumergida de escasa profundidad, con pendiente muy pequeña. El segundo sector se extiende aguas afuera, hasta una profundidad considerable (20 – 30 m). Y por último ya en el dominio de la plataforma continental, se extienden amplias zonas y forman las capas distales, constituidas por delgados depósitos de lodo marino. [22]

En términos generales, un delta se forma cuando todo el material sedimentario transportado por el río no logra ser distribuido de forma eficaz a lo largo de la línea de costa. De esta forma los sedimentos que inicialmente son transportados por un canal único, se distribuyen muy cerca de la desembocadura y van avanzando en dirección al mar, es decir, son receptores de sedimentos que provienen del continente. [2]

3.2. Sedimentos.

Los sedimentos son partículas sólidas no consolidadas, producidos por: erosión y meteorización de las rocas y suelos, precipitación química de soluciones acuosas, secreciones de organismos o restos de material vegetal y organismos en descomposición, los cuales son transportados por el agua, el viento o los glaciares. Las características de los sedimentos dependen de muchos factores, entre los que destacan: composición de la roca, tipo de meteorización que resiste la misma y agentes de transporte. [3]

3.2.1. Clasificación de los sedimentos.

De acuerdo al tamaño de grano, los sedimentos se clasifican de la siguiente manera: 1) Gravas, guijarros y gránulos que comprenden los sedimentos de mayor tamaño. 2) Arenas como sedimento comprenden cinco clases (arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina, arena muy fina). 3) Limos y 4) Arcillas. (Tabla 1).^[2]

Tabla # 1. Clasificación según tamaño de sedimento. ^[2]

Diámetro (mm)	Sedimento
>64	Gravas
64-4	Guijarros
4-2	Gránulos
2-1	Arenas muy gruesas
1-0,50	Arenas gruesas
0,50-0,25	Arenas medias
0,25-0,125	Arenas finas
0,125-0,0625	Arenas muy finas
0,0625-0,0039	Limos
< 0,0039	Arcillas

3.2.2 Productos de la sedimentación.

Los sedimentos están constituidos principalmente por:

3.2.2.1 Minerales primarios: son aquellos que mantienen la composición original que tenían cuando formaban parte del material parental. ^[23]

3.2.2.2 Minerales neoformados o secundarios: son minerales formados durante el proceso de meteorización por reacciones como hidrólisis, hidratación, solubilización entre otros. ^[22]

3.2.2.3 Minerales autigénicos: formados "*in situ*" durante o después de la depositación original, es decir, formados por un proceso secundario asociado a condiciones ambientales. ^[6,23]

La clasificación en base al tamaño del grano nos permite analizar, en términos generales, la intensidad de la corriente o flujo que ha transportado los sedimentos, la distancia recorrida puede ayudar al estudio del ambiente sedimentario. En los ambientes sedimentarios que se han mencionado, nombramos un ambiente sedimentario de plataforma donde se depositan los sedimentos marinos. ^[2]

3.3. Sedimentos Marinos.

Los sedimentos marinos son una mezcla de materiales que provienen de varias fuentes: una completamente terrígena, aportada por los ríos que drenan los continentes, otra próximo-costera, sustentada principalmente por los sedimentos deltaicos, mezcla terrígena y marina; y finalmente la netamente marina, material autóctono generado en los mares y océanos. ^[24]

3.3.1. Clasificación de los sedimentos marinos.

3.3.1.1. Próximo costero, estos son depositados en los márgenes de los continentes, bajo una amplia variedad de condiciones fisicoquímicas, en términos de su ambiente de depositación, los cuales varían de carácter óxico a totalmente anóxico. Los

sedimentos próximos costeros incluyen gravas, arenas, limos y lodos. Estos están compuestos de mezclas de componentes terrígenos, autigénicos y biológicos. ^[25]

3.3.1.2. Marinos profundo: son clasificados como sedimentos hemipelágicos y pelágicos. ^[25]

3.3.1.2.1. Hemipelágicos: tiene más del 25% de sedimento terrígeno, estos sedimentos son depositados en las áreas que bordean los continentes, en las llanuras abisales. El material derivado del continente ha sido transportado por mecanismos que actúan en el fondo marino. Estos sedimentos incluyen partículas tamaño arcilla, limo y turbiditas. Todos estos sedimentos pueden contener proporciones variables de material biogénico. ^[25]

3.3.1.2.2. Pelágicos: tiene menos del 25% de sedimento terrígeno, son acumulados en áreas abiertas de los océanos. Estos son depositados generalmente en ausencia de corrientes efectivas de fondo y en zonas de aguas profundas, bajo condiciones de corriente, formando depósitos que cubren la topografía del fondo. Estos sedimentos subdividen a su vez en: sedimentos pelágicos inorgánicos y sedimentos pelágicos biológicos. ^[25]

3.3.1.2.2.1. Pelágicos inorgánicos: contienen menos del 30% de restos de esqueletos biogénicos, constituyendo la mayor proporción de los mismos, los materiales no biogénicos, tamaño arcilla. ^[25]

3.3.1.2.2.2. Pelágicos biogénicos: estos sedimentos contienen más del 30% en restos biogénicos. Son usualmente conocidos con el término “ooze” y se subdividen en “oozes” calcáreos, los cuales poseen mas del 30% de restos carbonaticos, clasificados

sobre la base de los organismos predominantes presentes; y “oozes” silíceos, los cuales contienen más del 30% de restos esqueléticos de sílice opalina. [25]

Las características químicas y mineralógicas de los sedimentos marinos están estrechamente relacionadas con la geología de las áreas adyacentes. Como consecuencia el estudio de los sedimentos pueden identificar el origen y las rutas de transporte de los sedimentos. [4]

La complejidad de los sedimentos marinos es el resultado de varios factores que actúan simultáneamente. Estos incluyen factores hidrodinámicos generales, tales como: tamaño de grano, factores que determinan el transporte y difusión a través de la circulación del agua y finalmente, la contribución antrópica en forma de desechos inorgánicos y desechos orgánicos. [26]

Una herramienta para conocer el origen de los sedimentos terrígenos presentes en los sedimentos marinos es el estudio de los minerales pesados, ya que con estos se puede conocer la proveniencia de dichos sedimentos. [4]

3.4. Minerales pesados.

Mitchell (1975), Mange y Maurer (1992), definen los minerales pesados como aquellos constituyentes accesorios de los sedimentos siliciclásticos que poseen una alta densidad (2,9 g/mL), que pueden ser resistentes a los procesos de meteorización física y química. [27,28]

Dentro de la lista de los minerales pesados, existe un grupo que es resistente a los procesos de meteorización y transporte, estos son denominados minerales pesados estables o resistatos pesados. [11] Los resistatos son aquellos minerales de la

roca fuente que permanecen mas o menos intactos a través del proceso de meteorización sin sufrir cambios químicos. Entre los más comunes tenemos al, circón ($ZrSiO_4$), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita ($FeTiO_3$). (Tabla # 2) ^[29]

Tabla # 2. Minerales pesados comunes de acuerdo a su estabilidad. ^[30]

Estabilidad	Minerales
Ultraestable	Rutilo Circón Turmalina
Estable	Leucoxeno Muscovita Clorita Hematita (inestable bajo condiciones reductoras)
Semiestable	Apatito Monacita Estauroлита Silimanita Cianita Grupo del Epidoto
Inestable	Biotita Granate Magnetita (inestable bajo condiciones oxidantes) Ilmenita Horblenda Augita Olivino

3.4.1. Clasificación de los minerales pesados.

Los minerales pesados, se encuentran clasificados de acuerdo a su origen como:

3.4.1.1 Alogénicos, representan las acumulaciones derivadas de rocas y han sido resistentes a la alteración por meteorización. ^[8,31]

3.4.1.2 Autigénicos, se han formado en el lugar donde se encuentran. ^[8,31]

3.4.2. Asociaciones de minerales pesados.

La importancia del reconocimiento y estudio de minerales pesados radica en que es un complemento útil en la determinación de la litología, es decir, si provienen de una fuente ígnea, metamórfica y/o sedimentaria. (Tabla # 3). ^[14]

Distintos grupos de minerales pesados indican la procedencia de distintas fuentes primarias; como ejemplo: la asociación de andalucita, turmalina, anfíbol, granate, estaurolita, circón y apatito, provienen de rocas ígneas o metamórficas; mientras que la asociación de ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino sugiere como fuente rocas ultramáficas. ^[32]

3.4.3. Aplicaciones de los minerales pesados.

Los minerales pesados y sus asociaciones se emplean comúnmente para estudios con múltiples objetivos como lo son: 1) Determinación de proveniencia, reconstruyendo la naturaleza y el carácter de áreas fuente. 2) Reconstrucción de los patrones de transporte sedimentario, especialmente útiles para complementar los análisis

de paleo-corrientes. 3) Cartografía de los modelos de dispersión sedimentaria. 4) Delineación de provincias petrológicas sedimentarias. 5) Delineación y en los casos aplicables, la correlación de varios cuerpos de arenas. 6) Estudio de los procesos hidráulicos particulares y de los procesos de concentración. 7) Localización de depósitos económicos potenciales. 8) Elucidación de los procesos diagenéticos. ^[27]

Tabla # 3. Proveniencia de algunos minerales pesados comunes. ^[30]

Fuentes de minerales pesados	A S O C I A C I O N
Sedimentos retrabajados	Granos bien redondeados de rutilo, turmalina, circón
Rocas metamórficas de bajo grado	Biotita, clorita, esparita (granate), turmalina (especialmente pequeñas y euhedrales)
Rocas metamórficas de alto grado	Actinolita, andalucita, apatito, almandino (granate), diópsido, epidoto, clinozoisita, glaucofano, horblenda
Rocas ígneas félsicas	Apatito, biotita, horblenda, ilmenita, monacita, moscovita, rutilo, esfena, turmalina (variedad rosada), circón, titanita y brookita.
Rocas ígneas máficas	Augita, diópsido, epidoto, horblenda, hipersteno, ilmenita, magnetita, olivino, oxihornablenda, piropo (granate) y serpentina
Pegmatita granítica	Apatito, biotita, casiterita, granate, monacita, muscovita, rutilo y turmalina.
Cenizas volcánicas	Cristales euhedrales de apatito, augita, biotita, horblenda y circón
Minerales autigénicos	Hematita, leucoxeno, limonita, turmalina, circón, cristales euhedrales de anatasa, brookita, pirita, rutilo y esfena.

Con la finalidad de estudiar e identificar los minerales pesados presentes en los sedimentos, estos pueden ser concentrados y aislados de los minerales livianos, los cuales pueden ser separados de acuerdo a su tamaño, gravedad y susceptibilidad magnética. ^[29]

3.4.4. Métodos de separación de minerales pesados.

A continuación mencionaremos las distintas técnicas para la separación de los minerales pesados.

3.4.4.1. Separación por gravedad.

La técnica permite separar los minerales pesados de los livianos, aunque con ella también se pueden separar los minerales pesados entre sí según su densidad. Para separar los minerales por gravedad, se disponen de dos métodos:

3.4.4.1.1. Líquidos de alta densidad: es utilizado cuando la diferencia de densidad entre los constituyentes y los minerales pesados es considerable, consiste en la separación por asentamiento mediante gravedad de los minerales pesados, utilizando un líquido de alta densidad como el bromoformo o politungstato de sodio, en donde los minerales livianos flotan y los minerales pesados permanecen en el fondo del embudo de separación. (Tabla # 4). ^[29]

3.4.4.1.2. El método hidrodinámico: ayuda a separar los minerales pesados de los livianos, regulando una entrada de agua. ^[12] El método está basado en la acción de la gravedad; una corriente ascendente del fluido se regula de forma tal que permita la sedimentación de los minerales pesados y la flotación de los minerales livianos de la

muestra que se desea separar. El fluido o medio de suspensión de la muestra es el agua. ^[14]

Tabla # 4. Líquidos densos usados en la separación de minerales pesados. ^[27]

Líquido	Formula química	Densidad (g/cm ³) a 20 °C
Bromoformo (tribromometano)	CHBr ₃	2,89
Tetrabromoetano	C ₂ H ₂ Br ₄	2,96
Yoduro de metileno	CH ₂ I ₂	3,32
Solución de Clerici	HCO ₂ TICH ₂ (COOTI) ₂	4,40
Politungstato de sodio	3Na ₂ WO ₄ ·9WO ₃ ·H ₂ O	5,47

Entre las variables involucradas en la eficiencia del sistema hidrodinámico, se encuentran:

- Proporción de minerales pesados y livianos de los sedimentos.
- Densidad de los minerales pesados y su coeficiente hidráulico correspondiente, el cual puede relacionarse con la presión de flujo del agua.
- Tamaño y forma de los granos minerales. ^[14]

3.4.4.2. Separación magnética de los minerales pesados.

La susceptibilidad magnética, es un fenómeno complejo que depende de la composición química, específicamente de las cantidades menores de hierro o manganeso y del enrejado cristalino de los minerales ^[11] los minerales pesados son separados aprovechando sus propiedades magnéticas. ^[10]

Los minerales son separados por pasos en orden de susceptibilidad magnética decreciente: primero los ferromagnéticos con un imán, segundo con la configuración

paramagnética del equipo de Frantz y tercero con la configuración diamagnética del mismo equipo ^[11]. (Tabla # 5)

Tabla # 5. Susceptibilidad magnética de los minerales pesados. ^[11,28]

Imán	Pendiente frontal 20 °			Pendiente frontal 5 °	
	Magnéticos (0,4 amp.)	Magnéticos (0,8 amp.)	Magnéticos (1,2 amp.)	Magnéticos (1,2 amp.)	No-magnéticos
Magnetita	Ilmenita	Horblenda	Diópsido	Esfena	Circón
Pirrotita	Granate	Hipersteno	Enstatita	Leucoxeno	Rutilo
	Olivino	Augita	Estaurolita	Apatito	Anatasa
	Cromita	Biotita	Espinela	Andalucita	Brucita
		Turmalina	Muscovita	Monacita	Corindón
		Epidoto		Xenotina	Silimanita

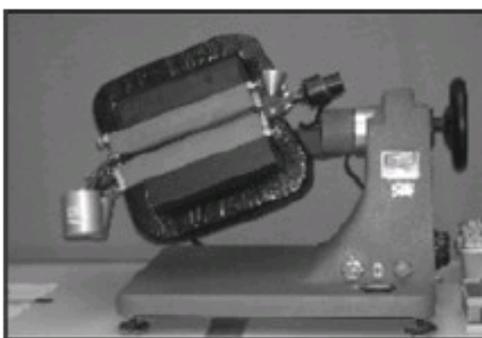


Figura # 2. Separador Magnético Frantz L-1. ^[33]

El separador de Frantz (Figura # 2) consiste en un electroimán que puede inclinarse tanto vertical como lateralmente y de un sistema eléctrico que permite regular el campo magnético producido por el electroimán. También consta de un canal vibratorio centrado entre las dos bobinas la cual puede regularse de modo que las

vibraciones producidas permitan el paso continuo de los minerales. Cuando el separador está funcionando la muestra desciende por el canal vibratorio y esta es dividida en dos partes. En la parte más externa a las espiras se obtienen los minerales de mayor susceptibilidad magnética ^[11].

Los elementos comunes más importantes que pueden producir un campo magnético son los de la primera serie de transición, entre ellos están: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, y Cu. Estos son constituyentes de algunos minerales pesados comunes. ^[34]

4. ÁREA DE ESTUDIO.

La cuenca hidrográfica del río Orinoco drena el 75% del territorio de Venezuela y la mayor parte de los llanos orientales de Colombia, abarca una superficie aproximada de 1.000.000 de Km², de los cuales 640.000 km² corresponden a Venezuela. El río Orinoco posee una longitud de 2.200 km. desde sus cabeceras en el cerro Delgado Chabaud, entre las sierras Parima y Unturán, hasta la desembocadura en forma de delta en el Océano Atlántico ^[35]

El área de estudio corresponde a la zona ubicada en frente al delta del Orinoco, ocupando todo el territorio geográfico del estado Delta Amacuro y la costa oriental del estado Monagas, así como gran parte de la costa oriental y sur del estado Sucre. Este delta con aproximadamente 30000 km², posee características muy particulares derivadas de su condición de delta oceánico (Figura # 3). Es un delta controlado y moldeado morfológicamente, en cuanto a sus facies sedimentarias: por el sedimento de fondo y en suspensión acarreado por el río Orinoco, por la acción de las mareas y por el oleaje y la corriente de Guayana. ^[35]

El delta del Orinoco representa uno de los ambientes sedimentarios transicionales más importantes del mundo. Su formación durante el pleistoceno y progradación activa durante el holoceno está controlada por tres variables fundamentales:

- Descarga de materiales sedimentarios provenientes de la cuenca hidrográfica del río Orinoco.
- Transporte y distribución de sedimentos en la plataforma continental por corrientes marinas provenientes del sur y sureste de Suramérica, desde el delta del Amazonas y la plataforma continental de Surinam, incluyendo también Guayana.
- Acción de las mareas. [16]

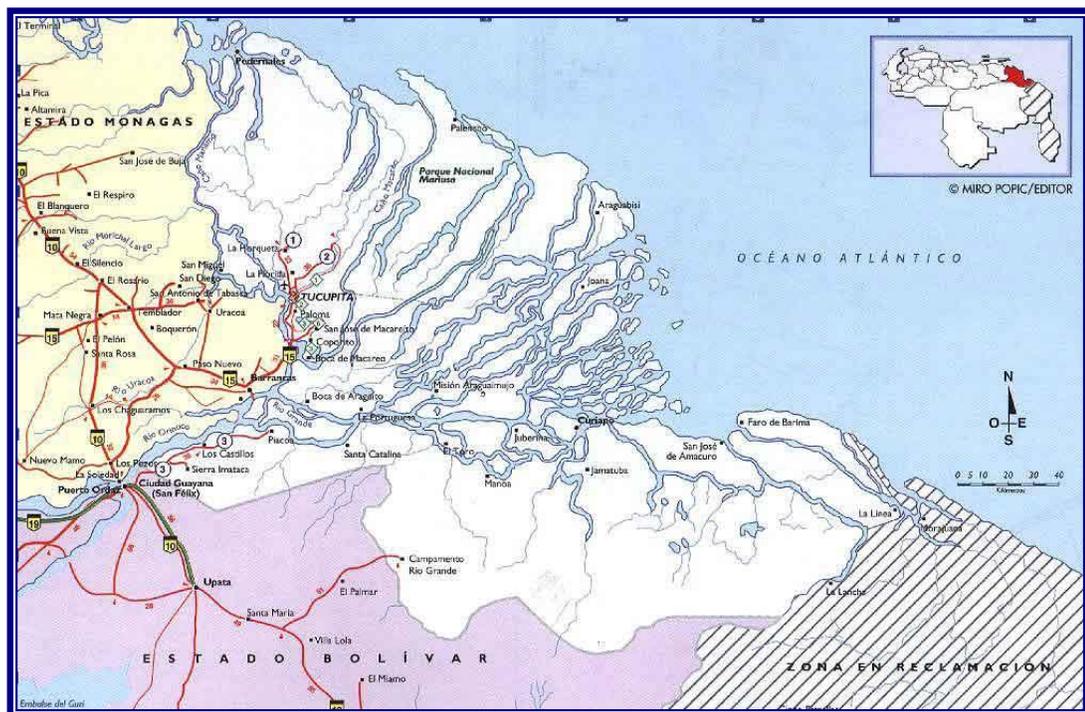


Figura # 3. Ubicación del delta del Orinoco. [8]

Dichas variables son responsables de la distribución en la planicie y frente deltaico, pro-delta y el talud continental de esta región de la margen atlántica. ^[2,16]

Los sedimentos del delta del Orinoco derivan de varias fuentes de aporte, incluyendo:

- Sedimentos finos del Amazonas que son transportados por la corriente marina de Guayana.
- Los sedimentos que son transportados por el río Orinoco provenientes de los cinturones orogénicos de los Andes y la Cordillera de la Costa, así como del escudo de Guayana y los llanos venezolanos y colombianos.
- Los sedimentos que son acarreados de las cuencas tributarias de los caños Tigre, Morichal Largo, Simara, Uracoa y Guargapo, que drenan la Formación Mesa. ^[2,16]

El delta del Orinoco puede dividirse en tres partes de acuerdo a su evolución, facies sedimentarias y procesos, los cuales interactúan en su formación: ^[35]

- El delta superior está formado por facies fluvio-deltáicas con canales actuales y abandonados, zonas de meandros abandonados, barras de meandro, diques naturales, llanuras de inundación fluvio-deltáicas, abanicos de rotura. En esta zona, las predominan las facies fluviales y además puede considerarse que dicha zona se extiende hipotéticamente hasta donde hay un buen desarrollo de los diques naturales de los caños más importantes. ^[35]
- El delta medio se extiende a partir de la región donde ha ocurrido una disminución de los diques naturales por el menor aporte de arena y el predominio de limos y arcilla. El ambiente sedimentario está mayoritariamente formado por llanuras de inundación y zonas de pantano donde la formación de turberas es favorecida. ^[35]

- El delta inferior comprende una franja relativamente estrecha entre el delta medio y la línea de costa, y es el área de progradación activa actual. ^[35]

El área de estudio a los efectos de la línea base ambiental plataforma Deltana (LBAPD), espacio que incluye la plataforma continental venezolana frente al delta del Orinoco, entre Boca Grande y Pedernales, a profundidades que oscilan entre la costa y 1000 metros aproximadamente y que incluye los cinco bloques de producción, así como la proyección del corredor de tuberías sobre el golfo de Paria, con un ancho de dos kilómetros a ambos lados del eje central del tendido y desde Boca de Serpiente hasta la intercepción con la línea de costa en Guiria. ^[15]

5. ANTECEDENTES.

A continuación se mencionarán algunos trabajos relacionados con el tema de estudio que han sido realizados en diversas partes del mundo y en nuestro país.

5.1. Antecedentes internacionales.

Markevich *et al.* (2007) enfocaron sus estudios principalmente en rocas sedimentarias y volcano-sedimentarias del cinturón Sikhote-Alin y la región de Kamchatka, así como también la Bahía Pengina y la Fosa Vanautu en el Océano Pacífico. Las muestras de sedimentos fueron recolectadas durante expediciones geológicas marinas y analizadas usando un microscopio tradicional, Microscopia Electrónica y análisis químicos para los minerales detríticos. Usando las composiciones de magnetita y cromita lograron identificar y diferenciar las asociaciones provenientes de los distintos tipos de ofiolitas, mientras que la química de los piroxenos detríticos ayudo a identificar los principales tipos de fuentes de arcos volcánicos, reconociendo de esta manera asociaciones minerales que se depositan particularmente en entornos

tectónicos. Revelando que la litología de los sedimentos de Sikhote-Alin se derivan de la Siberia continental y cratones chinos; en la región de Koryak-Kamchatka, las cuencas intrarco fueron alimentadas casi completamente por rocas básicas e intermedias, producto del volcanismo del fanerozoico. La principal fuente de minerales pesados detríticos de sedimentos marinos profundos de la Fosa Vanautu que corresponden a mediados del Eoceno-Pleistoceno fueron basaltos toleíticos del arco de Isla Vanautu. ^[36]

Cascalho *et al.* (2007) tomaron varias muestras de minerales pesados en la fracción de arena que fueron obtenidas al norte de la plataforma continental portuguesa y recolectados en el talud superior y en el río principal. Obteniéndose como resultados una asociación principal que comprende de biotita, andalucita, turmalina, anfíbol, granate, estaurolita, circón y apatito. Un segundo conjunto incluye ortopiroxeno, clinopiroxeno y olivino; estos están presentes solo fuera de la plataforma y en el Sur del talud superior de cañón Porto. Estas dos asociaciones diferentes indicaron que su origen proviene de distintas fuentes primarias: el conjunto principal de minerales pesados es originado de rocas metamórfica e ígneas, extendidas en las cuencas de todos los drenajes del Norte del río Portugués, mientras que el segundo conjunto son de origen ígneo, que se encuentra probablemente en otras partes fuera de la plataforma o en el talud superior, al Sur del cañón Porto. Los patrones de distribución sugieren la influencia de un régimen de hundimiento oceanográfico, que afecta predominantemente el interior y el medio de la plataforma. Los patrones de distribución correspondieron entre granos de mineral pesados y los sedimentos móviles de grano fino (cubierto de lodo), indicando la similitud del comportamiento hidráulico. Por el contrario, los granos grandes de menor movilidad, como el granate, andalucita, turmalina, estaurolita y circón, solo llegaron al interior de la plataforma. ^[32]

Damiani *et al.* (2008) estudiaron los sedimentos marinos-glaciares en la Antártida, llevándose a cabo la separación de los minerales pesados por el método de

gravedad estándar con sistema de separación embudos y una solución de politungstato de sodio, reconociendo los minerales pesados usando un microscopio óptico y por Microscopia Electrónica (SEM-EDAX) observaron sus características ópticas tales como: color y forma, lográndose identificar asociaciones de minerales pesados como olivino, piroxeno, anfíbol y fragmentos de vidrio volcánico. Los resultados de los análisis mostraron que los sedimentos son una mezcla de rocas volcánicas de McMurdo y rocas provenientes del sur-este de las montañas transantárticas. ^[4]

Giorgetti *et al.* (2009) investigaron los minerales pesados y arcillosos de los sedimentos subglaciales y glaciomarineros de finales del pleistoceno, al sur de la Isla Ross (Antártida). Los minerales pesados se separaron usando una solución de politungstato de sodio y fueron reconocidos usando Microscopia Electrónica lográndose identificar minerales pesados como olivino, piroxeno, anfíboles, espinelas y óxidos de Fe, así como también epidoto, granate, apatito y aluminosilicatos, pero en menor proporción. Los análisis muestran que los sedimentos son una mezcla de clastos detríticos del Grupo Volcánico McMurdo y de las Montañas Transantárticas, desde el sur al oeste. Las variaciones mineralógicas son determinadas por los cambios en la roca parental y procesos sedimentarios. Consecuentemente, las secuencias sedimentarias que subyacen a la actual plataforma de hielo McMurdo proporcionaron datos geológicos para reconstruir las variaciones en los mecanismos de transporte. ^[37]

Yang *et al.* (2009) estudiaron 71 muestras de minerales pesados que fueron recolectados en la corriente principal y en los afluentes principales del río Yangtze. Dichos minerales pesados fueron separados con bromoformo y fueron identificadas con un microscopio binocular, lográndose encontrar minerales pesados como anfíbol, epidota, granate, biotita, circón y óxido Fe-Ti. La mayoría de los granos de magnetita son homogéneos casi estequiométricos en cuanto a su composición química y se obtienen de rocas plutónicas (félsicas), rocas volcánicas y metamórficas, las cuales presentan grandes variaciones en porcentaje entre los diferentes afluentes y la corriente

principal. Dicho estudio sugiere que la combinación de conjuntos de minerales pesados transparentes y el estudio de las variedades de cada uno de los minerales pesados ayuda en la discriminación de procedencia de los sedimentos del Changjiang y contribuye a la determinación mineralógica de las rocas fuente en la cuenca de grandes drenajes y del reciclaje complejo de los sedimentos generados de las rocas parentales.^[38]

Lin *et al.* (2010) realizaron un estudio de minerales pesados de un núcleo de sedimentos ubicados en el este de la plataforma de China, situado en el exterior de la plataforma del Mar Oriental. Estos minerales fueron separados con bromoformo e identificados con un microscopio binocular, Difracción de Rayos X y mediante Microscopía Electrónica. El análisis estadístico multivariado de los datos mineralógicos de los sedimentos muestra que la secuencia de estos, se divide en tres grupos los cuales tienen características diferentes en las asociaciones de minerales pesados debido a que la (unidad I) se caracterizó por hornblenda, epidota-piroxeno, la (unidad II) se caracterizó por una asociación hornblenda, epidota-magnetita-ilmenita y la (unidad III) se caracterizó por una asociación de hornblenda-pirita autigénica-mica. Las variaciones en las asociaciones de minerales pesados y relaciones de los minerales en el núcleo estudiado reveló cambios en la proveniencia y en el ambiente de depositación de los sedimentos depositados en la plataforma del mar de China.^[39]

Olivarius *et al.* (2010) clasificaron 7 facies del Mioceno de depósitos fluvio-deltáicas de Dinamarca, ubicados en la zona oeste del país. Para esto realizaron interpretaciones de perfiles sísmicos, registros de rayos gamma y descripciones de sedimentos que les permitió la identificación de diferentes facies fluvio-deltáicas, lográndolas distinguir mediante la integración geoquímica y la mineralogía a través de una secuencia sedimentaria. Las variaciones de los minerales pesados en diferentes facies fueron causadas principalmente por el escogimiento del equivalente hidráulico

(relacionadas con el escogimiento y madurez textural) indicando la alteración a lo que los sedimentos han sido expuestos, la madurez de minerales de titanio ha demostrado su utilidad en la caracterización de las facies. Este enfoque sistemático de vinculaciones de ambientes depositacionales a un modelo de secuencia estratigráfica, ha generado resultados analíticos los cuales son válidos como niveles de referencia para la identificación de facies en un futuro. ^[40]

Bojar *et al.* (2010) con este estudio representaron la primera investigación de la fuente de los depósitos continentales Maastrichtian de la Cuenca Hațeg (Austria) usando asociaciones de minerales pesados. Estos patrones generales indican áreas con diferentes fuentes y distintos contrastes metamórficos en la zona Norte y Sur de la cuenca. Los sedimentos del norte y sectores centrales de la cuenca muestran una alta proporción de granate, estaurolita, cianita y una baja proporción de epidoto, sugiriendo como fuente una facie metamórfica anfibolítica compatible con la litología de la placa Getic donde se formó la cuenca. Además, dichas muestras poseen una alta proporción magnética de óxidos Fe-Ti con características complejas de exsoluciones e intercrecimiento. El estudio demuestra que en la zona norte y centro de la cuenca, la placa Getic es la principal fuente de sedimentos. ^[41]

Dill (2010) investigó al sureste de Alemania, sedimentos marinos y continentales mediante un espectro variado de minerales pesados autigénicos y minerales pesados agregados, pertenecientes al grupo de los minerales semi-opacos, estos fueron identificados con un microscopio petrográfico y complementado por SEM-EDX y por EMPA, estos minerales pesados fueron originados por la alteración supergénica e hipogénica. Las condiciones fisicoquímicas durante los cuales estos minerales autigénicos fueron revelados y discutidos por medio de diagramas Eh-pH bajo diferentes condiciones de temperatura (<200 °C). Los minerales indicativos de alteración supergénica de estos sedimentos son apatito, limonita Fe-Mn, barita, ankerita

y sulfuros (Fe-Ni-Pb-Zn-Cu). La serie ilmenita-pseudorutilo-anatasa puede ser usada como una medida de la intensidad supergénica bajo la creciente fugacidad del oxígeno. El pseudorutilo y anatasa también se formaron durante la alteración hipogénica y revelaron cristales con diferentes morfologías en comparación con su contraparte supergénica, encontradas en las series anteriores. Los minerales pesados autigénicos fluorita, barita, nicolita, acantita, pirita, galena, calcopirita, calcocita y rhabdophane-(Ce) fueron producidos por los procesos hipogénicos / hidrotermales. La mineralización hipogénica en la formación rocosa de los sedimentos del mesozoico pertenecen a dos tipos: 1. Mineralizaciones epimesotermales REE-F controlados por reactivación estructural a través de los lineamientos de una fallas profunda. 2. Mineralizaciones epitermales de Ni-Cu-Zn-As-S relacionadas a planos geo-hidráulicos de finales del triásico. ^[42]

Guedes *et al.* (2011) analizaron los sedimentos arenosos del Cuaternario de la Isla de barrera regresiva Ilha Comprida, ubicada al sureste de Brasil, para evaluar los índices de minerales pesados y los diferentes tamaños de grano. La variación espacial y tamaño de grano de los minerales pesados fue interpretada en términos de la dinámica de la barrera actual y su evolución desde el Holoceno Medio. Dichos análisis permitieron la identificación de los principales procesos y factores que controlan la variación de los minerales pesados y sus tamaños de grano en la mencionada barrera. El circón, rutilo, turmalina y horblenda son significativamente sensibles a la proveniencia y muestra las contribuciones de los sedimentos del río Ribeira de Iguape, los cuales alcanzan la costa cerca de dicha isla. Además la turmalina y el circón responden principalmente a los procesos de escogimiento hidráulico, concordando con patrones de sedimentos caracterizados por la divergencia de dos resultados netos a lo largo de la costa que se deriva hacia el suroeste de la barrera. Los sedimentos del mencionado río pueden alcanzar directamente la barrera a través de su desembocadura e indirectamente después de un almacenamiento temporal en la plataforma interior. ^[43]

Mahdi *et al.* (2014) realizaron el análisis geoquímico de minerales pesados para determinar la procedencia y el ambiente tectónico de la formación Zivah, ubicada al Noreste de Irán Moghan. En donde indicaron que la formación Zivah está dominado por clinopiroxeno y apatito principalmente y pequeñas cantidades de anfíboles, circón, granate y epidoto. En donde intuyen que por la abundancia de minerales máficos, metamórficos y félsicos, es probable que la formación Zivah haya ocurrido en un límite de placa convergente y provienen de un arco volcánico. Los minerales fueron separados líquidos de alta densidad descrita por Mange y Maurer en 1992.^[44]

Daniel *et al* (2015) en este estudio los investigadores aplicaron la técnica OSL (iluminación ópticamente estimulada) en donde utilizan el feldespato y el cuarzo para su luminiscencia para el estudio de minerales pesados en 29 muestras de arena en la región de rio Madeira y Amazonas. Donde buscaron como objetivo principal encontrar indicadores de procedencia específicas para ambos ríos. Ya que a pesar del clima húmedo tropical de la región, estos ríos son ricos en minerales inestables, donde el rio Madeira destaca por su mayor contenido de andalucita, mientras que el río Amazonas contiene un alto porcentaje de augita e hipersteno. Determinando que el río Amazonas proviene de una procedencia andina (rocas volcánicas). Y el río Madeira proviene de rocas metamórficas.^[45]

Gang *et al* (2015) el propósito de este estudio fue analizar las posibles fuentes de depósitos de minerales pesados de los sedimentos de la plataforma al Noreste del mar del Sur China, utilizando la técnica de Microscopia Electrónica. Donde indican que variaciones químicas de turmalina y anfíbol indican que el río Pearl es el principal proveedor de sedimentos de arena de la plataforma oriental en un radio de 100 Km. Mientras que los sedimentos de la plataforma occidental provienen de los ríos Jian y Wanquan. Demostrando que los aluviones de minerales pesados en la plataforma

continental está determinada principalmente por el aporte de sedimentos y procesos marinos ocurridos durante transgresiones. ^[46]

5.2 Antecedentes nacionales.

Chavez (2003) determinó los compuestos no cristalinos presentes en los sedimentos marinos de la plataforma. Para esto llevo a cabo ensayos variando la cantidad de muestra y el volumen del reactivo (Tiron), ajustando las condiciones necesarias y con agitación continua, pudo detectar la concentración de los elementos del área que estudio. Según los resultados que obtuvo, determino que existen al menos tres fases amorfas: una constituida por el aluminio y el silicio (alofano), la siguiente por óxidos u oxihidróxidos de hierro y la otra por oxihidróxidos de manganeso (concreciones). Por otra parte el patrón de distribución de la concentración en función de la profundidad indica que el Fe, V, Al, Si, Ti, y P se ubican hacia las zonas de la plataforma, mientras que el Mn y el Ba se ubican hacia el fondo oceánico. Para Ni, Cr, Zn y Cu no hay tendencias definidas. Esto parece indicar que la mayor influencia en el aporte de los sedimentos amorfos en la zona de la plataforma la ejerce el río Orinoco y que la presencia de manganeso y bario está gobernada por otros procesos distintos al aporte continental realizado por este río. ^[8]

Franco (2006) realizó un estudio geoquímico de minerales pesados en sedimentos de la plataforma continental atlántica, procesándolas mediante la técnica de tamizado en húmedo, con el fin de realizar el estudio granulométrico y separar las distintas fracciones de arena y grava para el estudio de los minerales pesados. Los minerales pesados identificados fueron: circón, epidoto, berilo, clinocloro, ilmenita, anatasa y rutilo, en la facies de fango de la plataforma somera; ilmenita, circones, goethita, anfíboles, glauconita, sillimanita, epidoto, diópsido, andalucita, dravita, y moscovita, en la facies de carbonatos; Ilmenita, goethita, circón, dravita, glauconita, en

las arenas transgresivas basales. Dichos minerales tienen mayor influencia local proveniente del río Orinoco con respecto al Amazonas. Los minerales autigénicos identificados (glauconita y goethita) y los resultados sedimentológicos de estudios previos apuntan a la presencia de una paleo-zona litoral, relictas de un evento de transgresión posglacial durante el Pleistoceno tardío (glaciación Winsconsin).^[9]

Abreu (2007) identificó y cuantificó los minerales pesados provenientes de sedimentos fluviales de la cuenca del río Caroní (Estado Bolívar), específicamente en las zonas de Sabanita de Antabari y San Salvador de Paúl. Dichas muestras fueron tamizadas en húmedo y posteriormente tratadas con bromoformo para separar los minerales pesados, seguidamente fueron separadas según sus propiedades magnéticas. La identificación de los minerales pesados se realizó con una lupa binocular, obteniendo principalmente ilmenita, magnetita y hematita en las fracciones magnéticas y en la fracción no magnética se obtuvo circón, rutilo, anatasa, monacita, oro y diamante. Los minerales pesados de Sabanita de Antabari son principalmente de tamaño arena media, mientras que los de San Salvador de Paul son de tamaño arena fina. La fracción no magnética es siempre la de menor tamaño dentro de los minerales pesados y presenta una abundancia en los sedimentos entre 9-826 mg/Kg, por su parte la fracción magnética constituye más del 50% del total de los minerales pesados.^[10]

Alfonzo (2008) estudió la distribución de los minerales pesados en sedimentos marinos del litoral central (Estado Vargas), con el propósito de determinar la relación que tienen dichos minerales con el aporte de los sedimentos fluviales. Las muestras fueron separadas y luego tratadas con la técnica de tamizado en húmedo y posteriormente tratado con bromoformo para separar los minerales pesados. Los minerales fueron identificados mediante Difracción de Rayos X y por último realizó un análisis cualitativo por medio del ICP-AES de los elementos en las muestras. Los resultados indicaron que existen causas que afectaron la distribución de la

concentración y composición mineralógica de los minerales pesados en los sedimentos marinos, los cuales pudieran estar relacionados con la batimetría de la zona, las corrientes submarinas, las tormentas y los sismos. Los minerales pesados identificados fueron magnetita, cromita, clinozoisita, epidoto, biotita, dolomita, circón, rutilo, barita y muscovita, los cuales son similares a los que presentan las rocas ígneas y metamórficas que conforman la litología de la zona. ^[11]

Hernández (2009) estudió los minerales pesados pertenecientes a sedimentos de drenajes activos de la región de Imataca, Estado Bolívar para determinar la proveniencia de los sedimentos. Para ello comparó dos técnicas de análisis multivariado: análisis de factores (AF) y análisis de componentes principales (ACP). Ambas técnicas arrojaron los mismos resultados desde el punto de vista geoquímico. A partir de los resultados obtenidos se pudo establecer que las muestras de la parte septentrional de la quebrada El Catire provienen de una fuente máfica, mientras que las muestras de la parte sur de esta quebrada son producto de una mezcla de fuentes félsicas y máficas; y por último obtuvo que las muestras de la quebrada Los Brinquitos y Chaparrillal fueron aportadas principalmente por una fuente félsica. Estos resultados coincidieron con los aportados a partir de la distribución de valores de correlaciones interelementales y gráficos de discriminación ^[12]

Gamero *et al.* (2011) realizaron un estudio geoquímico de los minerales pesados de varias muestras recolectadas en la zona Nor-Occidental del Estado Bolívar, con el fin de ubicar y limitar zonas de interés para la prospección minera. El análisis químico se realizó con espectrometría de emisión óptica para elementos mayoritarios y minoritarios (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO) y por Espectrometría de Masa con Plasma Inductivamente acoplado para los traza (Y, Zr, Nb, Hf, La, Ce, Nd, Th, U, Cr). El análisis mineralógico se efectuó por medio de la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), para las muestras anómalas. Los resultados obtenidos permitieron

dividir el área de estudio en varias zonas: 1) Zona A presento valores anómalos en los elementos Cr, Y, La, Ce, Th y U y arrojaron como posibles fases minerales: Ilmenita, Magnetita, Cromita, Hematita. 2) Zona B con anomalías en Zr, Hf y U y las fases propuestas fueron ilmenita, hematita, magnetita, monacita.^[13]

Barrios (2011) caracterizó químicamente, mineralógicamente y morfológicamente los componentes nodulares pesados presentes en la fracción de arena de los sedimentos de la costa atlántica venezolana. Dichas arenas fueron separadas mediante tamizado húmedo de los sedimentos, luego los componentes pesados fueron concentrados con el método hidrodinámico y separados por el Isodinámico de Frantz. Estos nódulos fueron sometidas a extracción acida para determinar la concentración de elementos mayoritarios, minoritarios y traza utilizando EEA-ICP y por DRX, EPMA y TGA para la caracterización mineralógica y química. Los resultados revelaron que la porción de componentes pesados y livianos corresponden a valores de 33% y 67% respectivamente, las fracciones magnéticas alrededor del 70% (correspondiendo a un carácter magnético entre 0,5 y 08 Amp.) El análisis termo-gravimétrico revelan que los nódulos están constituidos por cuatro fases: minerales oxihidróxidos amorfos de hierro (0,6 – 5,3%), calcita (1,4 – 51,0%), goethita (0,2 – 69,3%) y cuarzo (24,0-48,1%). En cuanto a los núcleos asociados a estos nódulos, los mismos corresponden a fósiles de foraminíferos planctónicos (capa delgada de calcita) y foraminíferos bentónicos en la mayoría de los casos (capa delgada de calcita y microcristales de cuarzo). Estos últimos, tomaron los sedimentos clásticos muy finos, provenientes del continente a la plataforma por flujo de detritos, y los adicionaron y cementaron a sus diferentes cámaras.^[14]

6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

A continuación describiremos todo el proceso desde la recolección, preparación, separación de las muestras hasta llegar a su caracterización mineralógica y textural de los mismos.

6.1 Recolección y selección de muestras.

Las muestras de sedimentos fueron colectadas a bordo del buque oceanográfico Hermano Gines (Flasa-Edimar) (figura # 4), dichas muestras fueron recolectadas a profundidades entre 0 – 500 metros mediante el uso de una draga Van Veen (modelo 214WB270) de 0,19 m² (figura # 5) Dado que en algunos casos la draga se hacía inefectiva, por condiciones de corriente y de mayor profundidad, se probó la extracción de sedimentos con un nucleador, el cual pesaba más de 110 kg, el contenido de sedimento fue vertido directamente en bolsas plásticas; siendo etiquetadas. Las muestras se tomaron entre los días 28 y 29 de Septiembre del 2004, en el marco de las investigaciones geoambientales conocidas con el proyecto Línea Base Ambiental Plataforma Deltana (LBAPD).^[16]



Figura # 4. Buque oceanográfico Hermano Gines (Fundación La Salle).^[16]

De todo el conjunto de muestras tomadas, se seleccionaron 5 muestras en base a la profundidad y a la inspección con una lupa binocular de los sedimentos. Las muestras seleccionadas se prepararon de acuerdo al esquema presentado en la (figura # 6), con el fin de concentrar los componentes pesados a estudiar. Dichas técnicas se describen a continuación.^[14]



Figura # 5. Equipo de muestreo A) Draga Van Veen, B) Nucleador.^[16]

6.2. Tratamiento físico y separación granulométrica de las muestras.

Se pesaron 400 g de la porción del sedimento húmedo y se colocaron en un recipiente con 500 mL de agua deionizada agitándose constantemente (para excluir el agua salada). La porción anterior previamente lavada fue tamizada en húmedo (1000, 500, 250, 125 y 63 μm), con el fin de separar la fracción grava, arena, limo y arcilla. Para finalizar las distintas fracciones fueron colocadas en la estufa y luego se pesaron para su cuantificación (las arenas fueron observadas con lupa binocular para ver la homogeneidad de dichas fracciones en lo que respecta a su mineralogía y características texturales).^[14]

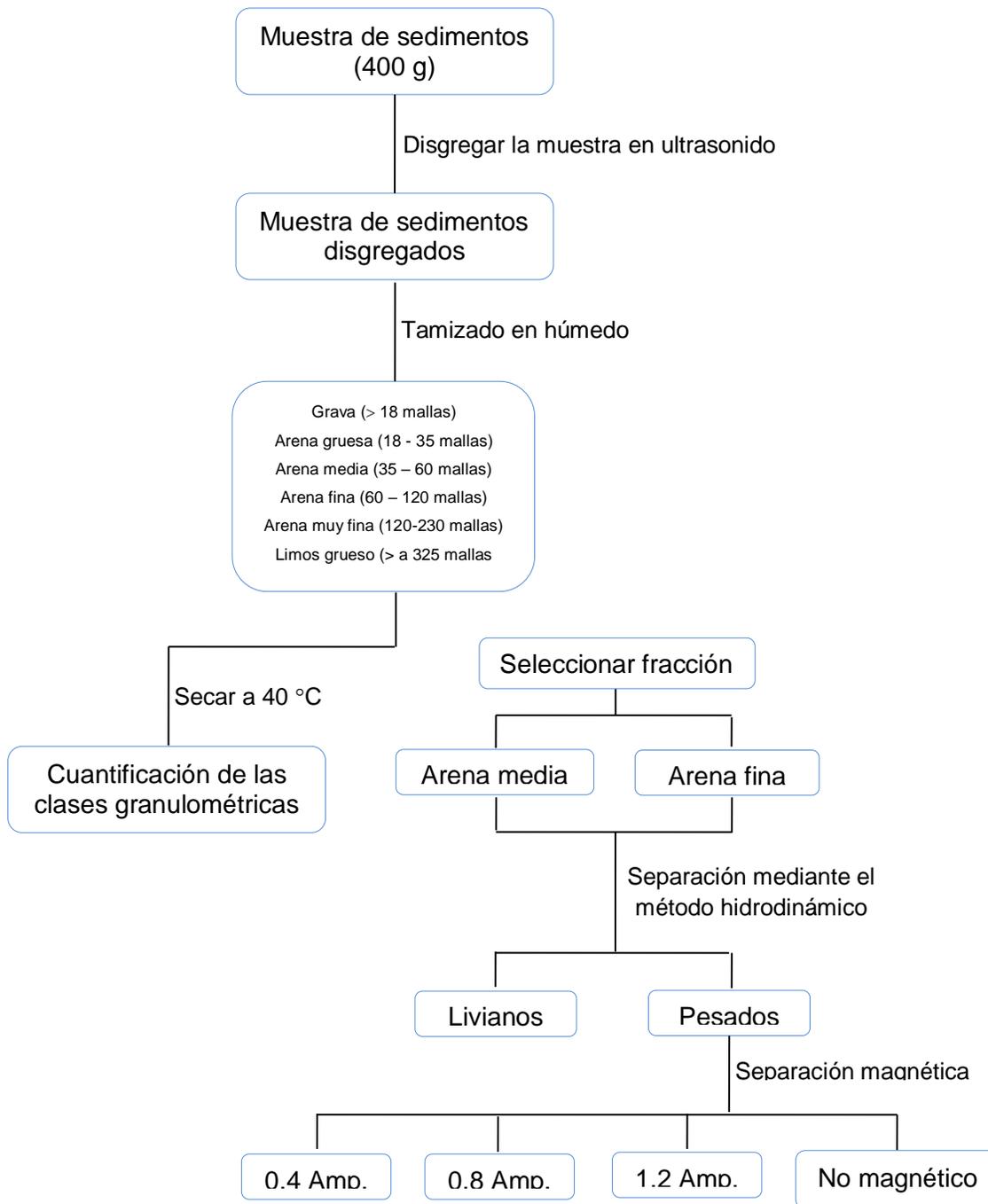


Figura # 6. Esquema metodológico para la separación granulométrica de los sedimentos, concentración de los componentes pesados y posterior separación magnética.

Las fracciones de arenas (media y fina), obtenidas anteriormente, fueron sometidas a separación de los minerales pesados con este método (hidrodinámico). Para realizar esta separación, se montó en un sistema que incluye una columna de aproximadamente 1 m de longitud con una esfera de vidrio. Ésta a su vez contiene dos aberturas en la parte superior; una para la entrada de la muestra y la otra para la salida de agua. La columna en su parte inferior posee una abertura correspondiente a la entrada del agua y una abertura en el centro donde se depositaron los minerales pesados (figura # 7).^[14]

El método fue basado en la acción de la gravedad; una corriente ascendente del fluido se regula de forma tal que permita la sedimentación de los minerales pesados y la flotación de los minerales livianos de la muestra que se deseó separar. El fluido o medio de suspensión de la muestra fue el agua.^[14]



Figura # 7. Equipo empleado para la separación de los componentes pesados del sedimento por el método hidrodinámico.^[14]

6.3. Separación magnética a través del isodinámico de Frantz.

Los componentes pesados del sedimento, previamente separados y concentrados por el método hidrodinámico, fueron separados magnéticamente con este equipo. (Figura # 8).^[14]

Las condiciones de separación fueron las siguientes: 1) Corriente de 0,4; 0,8 y 1,2 amp. Las condiciones que fueron utilizadas para el equipo se indican a continuación: ángulos de inclinación estándar para separar la mayoría de los minerales, según el manual del isodinámico Frantz de -10° de inmersión (con respecto a la horizontal) y -15° de vergencia (con respecto a la vertical), en un plano imaginario visto desde los contenedores del equipo a favor de la pendiente de los canales.^[14]

La separación magnética ayudo a identificar mejor las fases minerales presentes ya que el grupo de minerales de una muestra total fueron separados y podrán verse mejor los difractogramas.^[14]



Figura # 8. Isodinámico de Frantz para la separación magnética de los minerales pesados.^[14]

6.4. Caracterización mineralógica de los sedimentos.

El análisis mineralógico presente en cada fracción magnética fue realizado con una lupa binocular (marca Leica Mz 125), utilizando diferentes aumentos empleando luz transmitida y diafragma cerrado (ver figura # 9). Para así observar sus propiedades como el color, forma y brillo, las cuales fueron comparadas con un atlas fotográfico de minerales y posteriormente separarlos según grupos más representativos.



Figura # 9. Lupa binocular, marca Leica Mz 125.

6.5. Caracterización textural y análisis químico puntual.

Para esto se utilizó un microscopio electrónico de barrido. El instrumento utilizado fue el equipo JEOL JSM-6390, facilitado por la Unidad de Laboratorios de la Universidad Simón Bolívar, adscrito al laboratorio "E". ver figura # 10 Estas muestras fueron adicionadas en un porta objetos sobre una cinta doble-faz, donde se les agregó una gota de solución de plata; seguidamente, las muestras fueron colocadas en un cubridor iónico para ser cubiertas con una película de platino, con la finalidad de hacer conductora la muestra. Para finalizar, las muestras fueron colocadas en el microscopio para realizarles un barrido sobre la superficie a fin de observar las características morfológicas presentes en las muestras. ^[14]

La selección de las muestras para la caracterización textural y análisis químico puntual de la clase arena fue realizada tomando en cuenta la caracterización

mineralógica. Con el objetivo de estudiar de forma más específica las características texturales y químicas de los diferentes grupos de muestras presentes en los sistemas estudiados y así permitir realizar las asociaciones mineralógicas para determinar la proveniencia de los sedimentos.^[14]



Figura # 10. Equipo de MEB marca JEOL JSM-6390

7. RESULTADOS Y DISCUSION.

A continuación se muestran los resultados alcanzados en la ejecución del trabajo y la discusión de los mismos.

Para alcanzar la finalidad del trabajo, primero pesamos la cantidad de sedimentos presentes en cada muestra para luego seleccionar cuales eran las de mayor interés. Como se puede ver en la tabla anexo # 1, de las cuales se eligieron 8 muestras que se pueden observar en la tabla # 6 de los resultados, y solo tomamos las muestras de arena media y fina ya que son las de interés para el trabajo.

7.1. CUANTIFICACIÓN DE MINERALES PESADOS.

Los minerales pesados de las muestras fueron obtenidos a partir de la separación de las fracciones arena media y arena fina usando el método hidrodinámico, al ver que dicha técnica no era la más adecuada, ya que no obtuvimos buenos resultados, se procedió a realizar la separación de todas las muestras a través del isodinámico de Frantz, cabe destacar que la separación con este último método no era del toda buena ya que el equipo utilizado presentaba algunos inconvenientes, por lo tanto es posible que algunos minerales livianos los obtuviéramos en los minerales pesados, por lo mencionado anteriormente, se utilizó Bromoformo para hacer la separación lo mejor posible.

La figura # 11, corresponde al gráfico de porcentaje de arena media y arena fina presentes en las muestras PD-50, PD-47, PD-46, PD-45, PD-44, PD-38, PD-34, PD-22. Se tomó la fracción de arena, específicamente la arena media y la arena fina ya que son las de interés para el experimento.

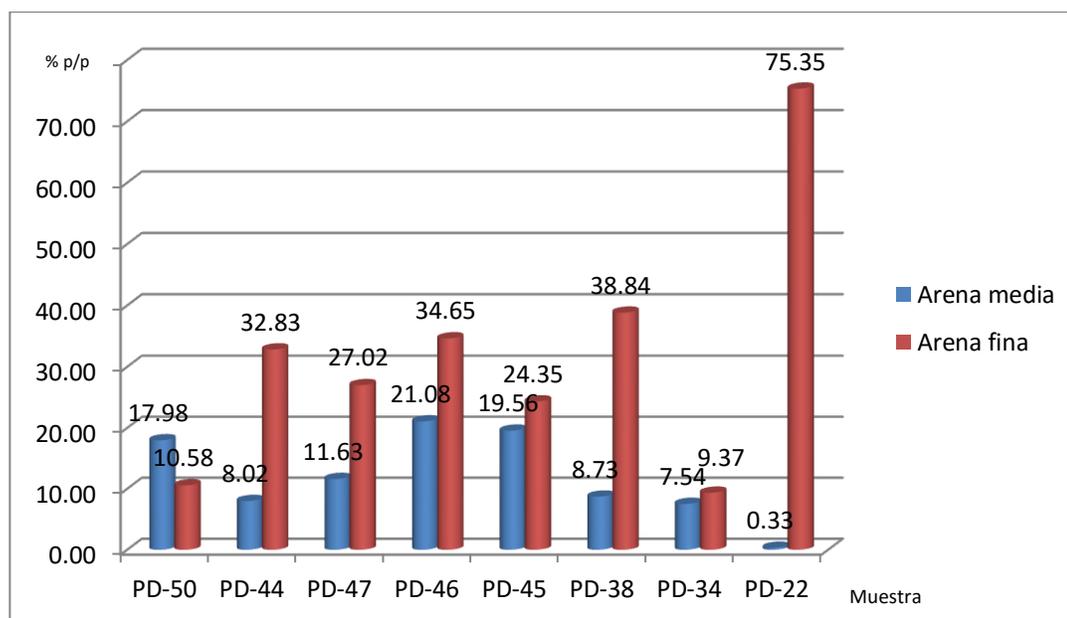


Figura # 11. % de arena media y arena fina en muestras de interés.

Por otro lado en la tabla # 6, se puede observar los valores en % p/p, correspondiente de dicho gráfico (Figura # 11). Estos están organizados según el tamaño de grano, grava, arena gruesa (AG). Arena media (AM), arena fina (AF), arena muy fina (AMF), limo y arcilla.

Como podemos observar en la tabla # 6, obtuvimos varios tipos de tamaños de grano desde grava hasta arcilla, donde las fracciones arenosas se encontraban en mayor proporción, seguidamente limo-arcilla y por último gravas. Por la finalidad del trabajo solo nos enfocaremos en las arenas medias y arenas finas.

Tabla # 6. % P/P según las clases granulométricas.

Muestra	Grava	Arena G.	Arena M.	Arena F.	Arena MF.	Limo	Arcilla
PD-50	1,16	6,63	17,98	10,58	10,56	52,47	0,63
PD-44	11,07	5,42	8,02	32,83	16,69	19,48	6,50
PD-47	11,60	9,55	11,63	27,02	14,10	25,24	0,86
PD-46	9,65	9,69	21,08	34,65	16,17	6,30	2,47
PD-45	10,85	17,15	19,56	24,35	12,63	11,79	3,67
PD-38	7,68	5,79	8,73	38,84	10,55	28,02	0,39
PD-34	3,48	4,09	7,54	9,37	10,94	63,24	1,35
PD-22	0,26	0,01	0,33	75,35	20,91	2,61	0,52

7.2. CUANTIFICACIÓN DE LAS FRACCIONES MAGNÉTICAS.

La figura # 12 y 13 representan los gráficos generados para la cuantificación de las fracciones magnéticas de los minerales pesados de las secciones arena media y arena fina presentes en los sedimentos. Dichos datos se reflejan en la tabla # 7 y 8.

Cabe destacar que seguimos el procedimiento según la bibliografía en donde el isodinámico Frantz se encontraba a -10° de inmersión (con respecto a la horizontal) y -15° de vergencia (con respecto a la vertical).

Tabla # 7. % de los minerales pesados en distintos amperajes de arena media.

Muestra	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	0,04	7,91	0,07	99,79
PD-47	0,01	0,02	0,00	99,97
PD-46	0,00	0,69	1,37	97,24
PD-45	0,00	3,91	8,10	83,78
PD-44	0,00	1,63	0,28	99,42
PD-38	0,00	0,64	0,93	98,12
PD-34	0,31	1,30	4,59	90,48

Para la fracción de arena media representada en la figura # 12, mediante los valores de la tabla # 7. Podemos observar algunos valores en la fracción de 0,8 amp, muy pocos valores en las fracciones con alto magnetismo solo apreciables en la muestra PD-34; y por último en la fracción con amperaje de 1,2 amp resaltamos las proporciones de la muestra PD-45 y 34. No se pudo realizar la separación de los minerales pesados para la muestra PD-22 ya que inicialmente teníamos muy poca muestra, es por esto que no se observan estos valores en la tabla # 7. Puede ser verificado en el anexo #1.

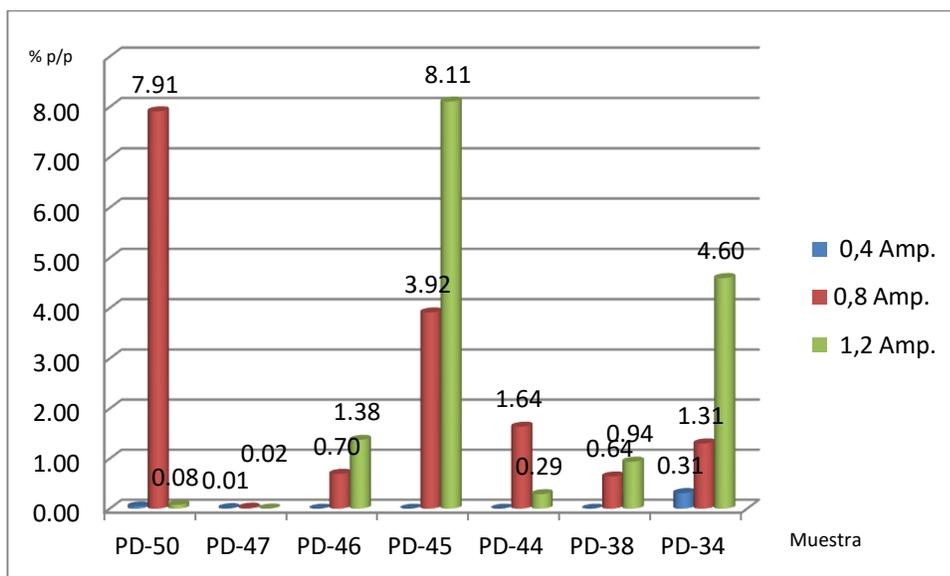


Figura 12. % de minerales pesados en fracciones magnéticas de arena media.

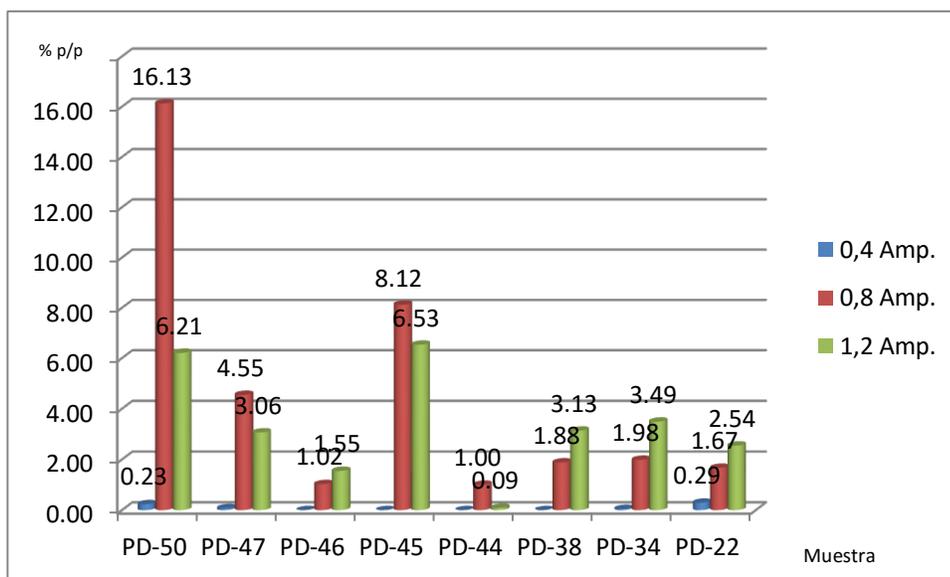


Figura 13. % de minerales pesados en fracciones magnéticas de arena fina.

En la fracción de arena fina, destacamos la cantidad de muestras con valores apreciables en el amperaje de 1,2 amp. Las muestras con mayor carácter ferruginoso solo se observa algo en la muestra PD-50 y PD-22, mientras que con amperajes de 0,8

destaca la muestra PD-50, PD-45, PD-47, PD-38, PD-34 y PD-22, es decir, casi todas las muestras. Estos valores se observan en la tabla # 8. Y graficados en la figura # 13.

Tabla # 8. % de los minerales pesados en distintos amperajes de arena fina.

Muestra	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	0,23	16,12	6,20	77,43
PD-47	0,07	4,54	3,06	92,31
PD-46	0,00	1,02	1,54	97,42
PD-45	0,00	8,12	6,53	85,34
PD-44	0,00	0,99	0,08	98,91
PD-38	0,00	1,87	3,13	94,98
PD-34	0,04	1,98	3,49	94,48
PD-22	0,29	1,66	2,54	95,49

Al estudiarlas por su tamaño de grano, podemos ver que en las muestras PD-50 y PD-45 son las que resaltan en un amperaje intermedio de 0,8 amp., pero aparece en mayor proporción las arenas finas. Para 1,2 amp., de igual forma para las arenas finas seguimos obteniendo valores para casi todos las muestras en comparación con las arenas medias, destacando nuevamente las muestras PD-50 y PD-45. Por último, para las fracciones de 0,4 amp. se obtuvo mayor presencia de minerales pesados en las muestras de arenas medias pero solo en la PD-34 con un valor de 0,31 %, mientras que en las muestras de arenas finas destacamos los valores de 0,23 % y 0,29 en la muestras PD-50 y PD-22 respectivamente.

7.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA.

Luego de la separación por susceptibilidad magnética, las muestras de minerales pesados fueron observadas y analizadas mediante el uso de la lupa binocular, observando características como el color, forma, hábito y según el caso por su

diafanidad, de igual forma fueron comparados con un atlas fotográfico de minerales y posteriormente fueron agrupadas las muestras de mayor interés en cuanto a sus propiedades anteriormente descritas y luego se sometieron al análisis por Microscopia Electrónica de Barrido para observar sus análisis morfológicos.

En las fracciones analizadas se logró observar una gran variedad de minerales, con diferentes tonalidades de colores, habito y forma. Donde predominaban la mayoría las fracciones magnéticas de 0,8 y 1,2 amp., y algunas correspondían a las fracciones de mayor magnetismo como son las de 0,4 amp., todas fueron encontradas tanto en arenas finas y/o arenas medias. Los minerales identificados fueron los siguientes:

7.3.1. Ilmenita y anatasa. (TiO_3Fe y TiO_2)

Específicamente para las muestras de arena de las muestras PD-22, PD-34, PD38, PD-46 y PD-50 encontramos una serie de minerales similares en cuanto a sus características externas, donde todas tenían en común una coloración negra oscura y con un brillo de metálico a sub-metálico. La mayoría correspondían a fracciones magnéticas de 0,4 amp., y algunas de 0,8 amp., y estuvieron presente tanto en arenas finas como medias.

Como se puede apreciar en la figura # 14 y 15. Los minerales presentan unas formas tabulares, irregulares y algunos están redondeados. Con una superficie muy lisa y en placas delgadas o compactas y con poca porosidad, intuyendo que sufrió un alto grado de transporte. Al observar su composición según los porcentajes mediante el análisis de Microscopia Electrónica de Barrido (Fe: 30,19%, Ti: 41,69% y O: 21,72%) y por las características físicas nombradas anteriormente se infirió que el mineral pudiera ser ilmenita o anatasa.

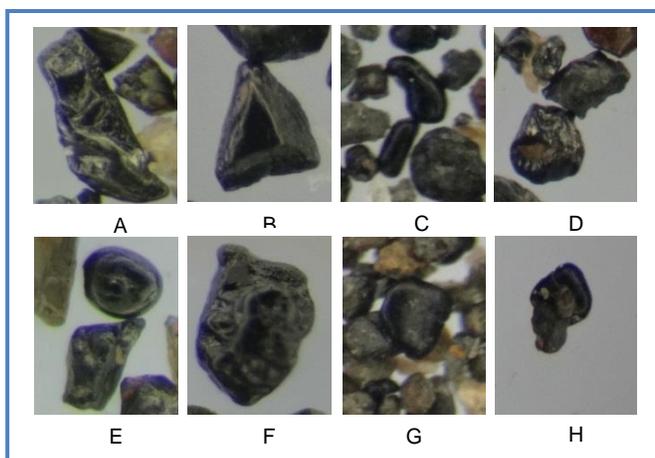


Figura # 14. Morfología de las partículas de ilmenita y anatasa.

Según la bibliografía consultada ^[47] los porcentajes de hierro, titanio y oxígeno para la ilmenita son de Fe: 36,8%, Ti: 31,6% y O: 31,6% y por el trabajo realizado por Tosiani *et al.* (2005) donde encontró dicho mineral en su trabajo ^[24].

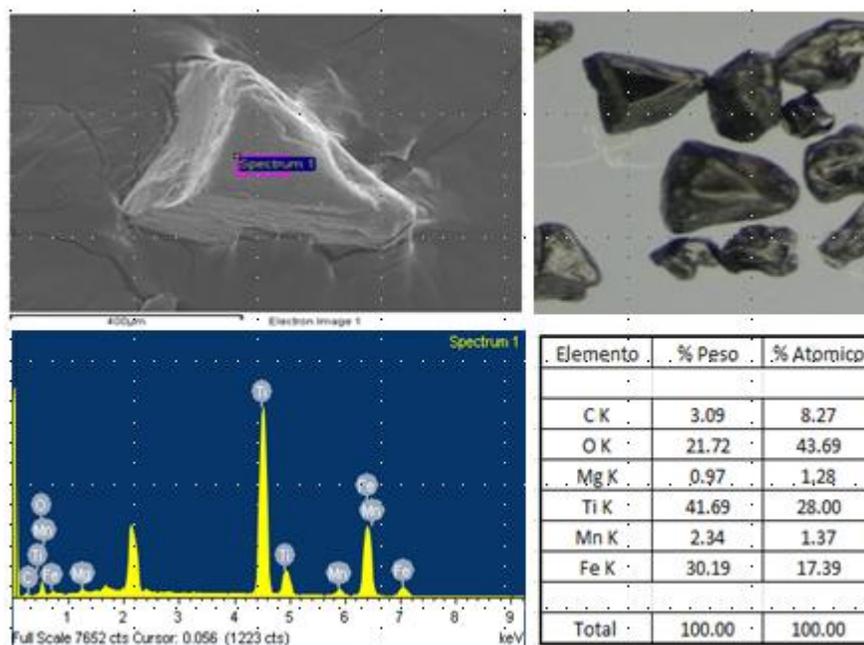


Figura # 15. Espectro de ilmenita o anatasa.

7.3.2. Circón ($ZrSiO_4$), mineral de arcilla y óxido de hierro.

Como se puede observar en la figura # 16 los minerales encontrados presentan una coloración naranja, donde la mayoría son angulosos y otros redondeados, presentan un brillo no metálico. La coloración de dichos minerales pueden estar asociados a oxi-hidróxido de hierro, pertenecientes a la muestra PD-46 > 60 y a la PD-50 > 120 ambos de 0,8 amp.

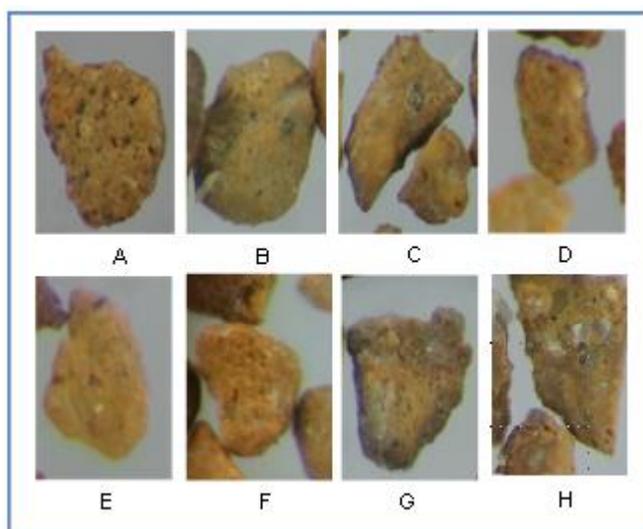


Figura # 16. Morfologías de minerales de arcillas y circón (figura H).

Observando la figura # 16 y 17 de este mineral se puede intuir que está rodeado de un aluminosilicato hidratado, es decir, minerales de arcilla debido a su porosidad, grano fino, terroso y de forma rugosa. Su alta redondez es producto del alto proceso de transporte a la cual fue sometido el mineral (circón), infiriendo una alta abrasión de las corrientes.

Según las características mencionadas anteriormente se realizó un análisis de microscopia, revelando la existencia de circón, donde este se encuentra dentro de un material o mineral de arcillas y óxidos de hierro formando aglomerados, observándose un cristal de circón bien definido, con un brillo adamantino y color transparente como se visualiza en la figura # 17 y 18.

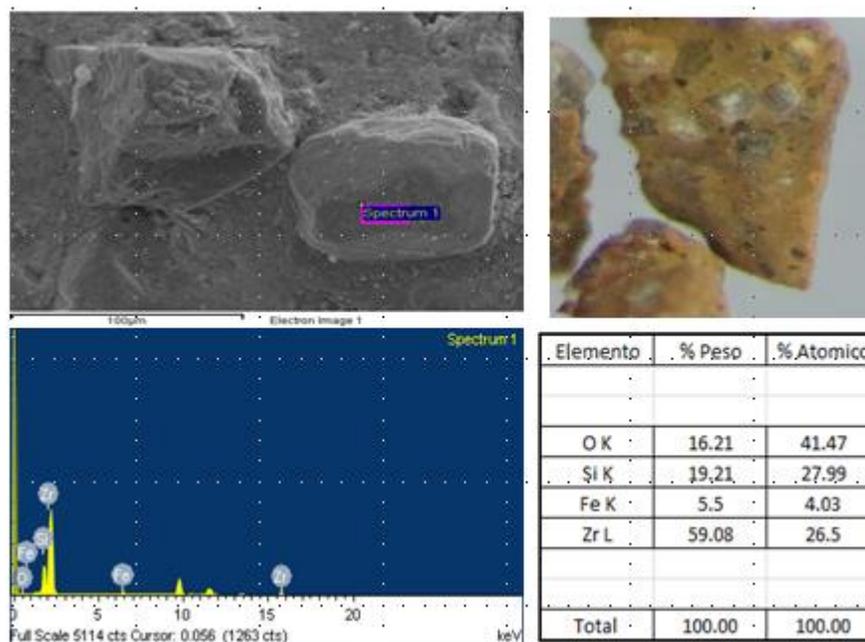


Figura #17. Espectro del circón.

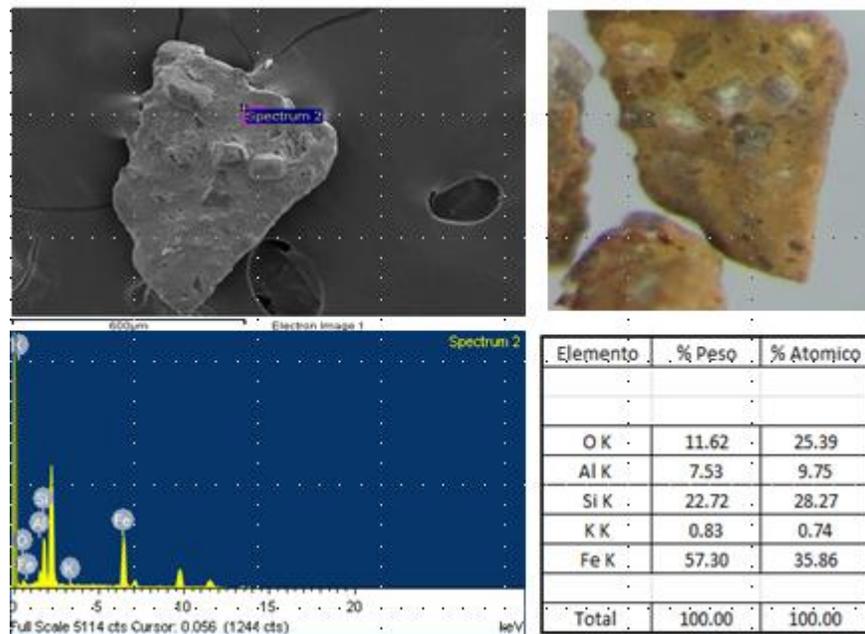


Figura # 18. Espectro del óxido de hierro.

La forma del mineral como prisma intuye con mayor determinación que el mineral es un circón además de los porcentajes y sus composición de Zr, Fe, Si y O. La morfología del circón es lisa, redondeados y poco angulares, lo cual indica un alto grado de transporte desde su roca original.

Según las leyes de la hidrodinámica los granos de tamaño arcilla y arena no deben depositarse al mismo tiempo, indicando por esto un cambio brusco de la energía del medio de transporte.

7.3.3 Almandino. $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Los minerales presentaron una coloración roja oscura casi negro ver figura # 19., con formas redondas y angulares. Estos minerales se encontraban en arenas medias y arenas finas, pertenecientes en su mayoría a las muestras PD-22, PD-34, PD-44 y PD-50 de 0,8 y 1,2 amp. Por los análisis y por el atlas fotográfico se pudo inferir que se parecía a un granate tipo almandino con brillo no metálico. Con una morfología rugosa y granos angulares a redondos, es probable que provenga cerca de su fuente original el cual no sufrió mucho transporte.

Los porcentajes obtenidos de Al, Fe, O y Si mostrados en la figura # 20., intuyen la existencia de almandino, una serie de subespecies del granate. En donde el hierro férrico puede reemplazar al aluminio y el magnesio al hierro ferroso.^[47] El resto son fragmentos de rocas o impurezas presentes en el compuesto que están siendo recubiertos por óxidos de hierro, es por eso que predominan dos colores específicamente.

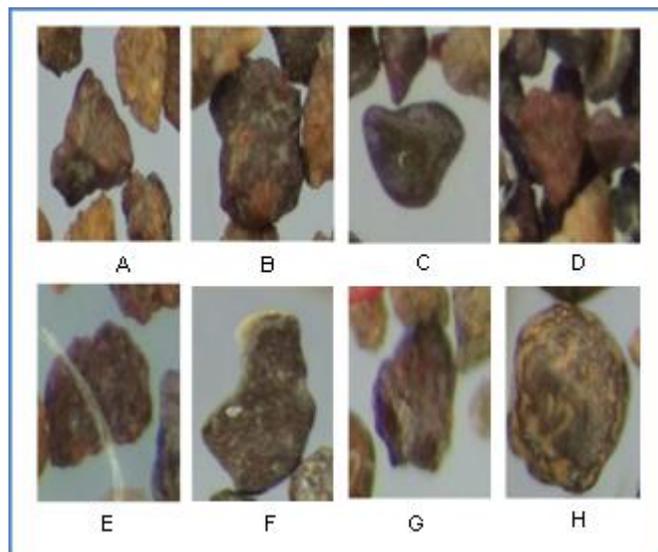


Figura #19. Morfologías de minerales de almandino.

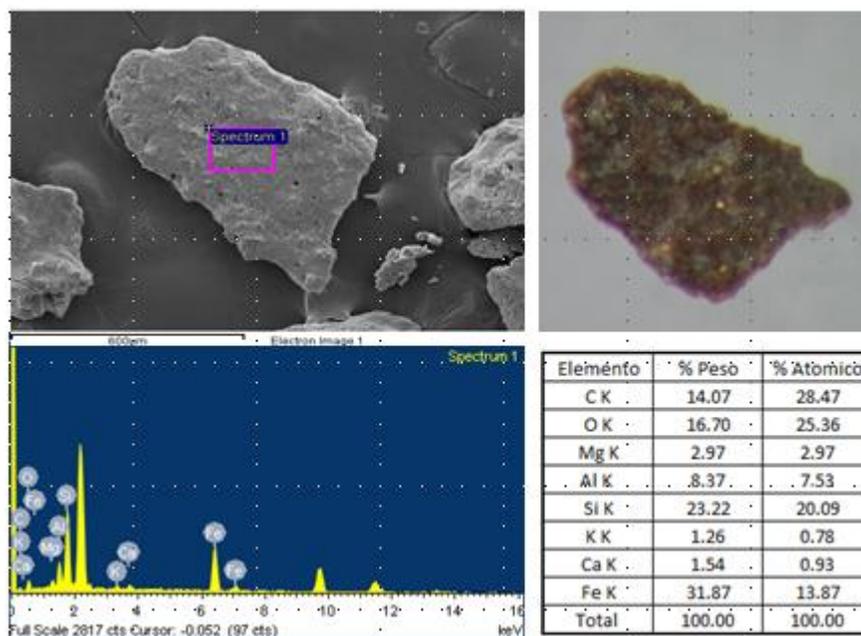


Figura # 20. Espectros presentes en muestras de almandino.

7.3.4 Milliolidos (recubiertos por una fase de óxidos de hierro).

Se observó en la muestra PD-45 con amperaje de 1.2 amp. Una especie de fósil de color naranja pudiendo estar compuesta mayoritariamente por calcita enriquecida en magnesio y la presencia de óxidos de hierro, en la cual el hierro es incorporado como nutriente en las cámaras de los foraminíferos, según el ambiente donde se encuentren pudiese formar óxidos de hierro que precipitan sobre los milliolidos, como consecuencia de encontrarse disponibles en su ambiente natural o en un ambiente altamente óxido. [48,49]

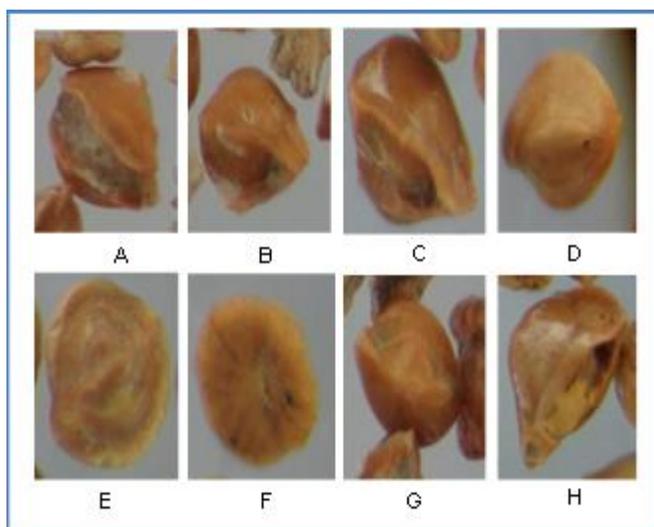


Figura # 21. Morfología de milliolidos.

Sin embargo, a pesar de que estos no son minerales pesados, fueron separados como los mismos según su susceptibilidad magnética, debido a una posible coraza de óxidos de hierro que recubre el almacén calcáreo de estas especies como lo sugiere Barrios (2011) ^[14]

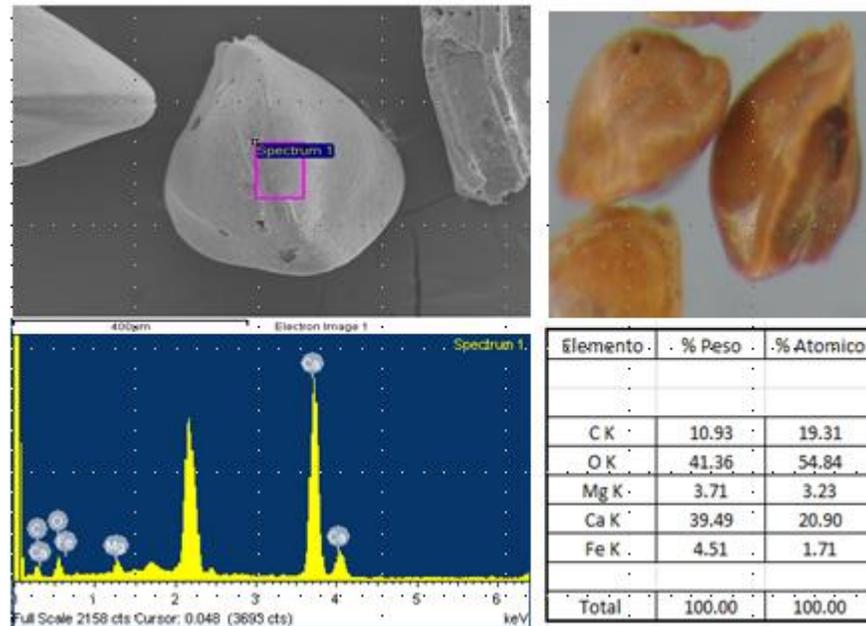


Figura # 22. Espectro milliolidos.

En la figura # 22 se puede reflejar claramente la composición de los milliolidos (organismos microfósilíferos bentónicos), donde poseen un alto porcentaje de carbonato y un leve porcentaje de hierro y dicha coloración naranja es debido a la baja concentración del porcentaje de hierro. Este aumento de microfósiles, al disminuir la susceptibilidad magnética, también sugiere la presencia de algún elemento químico, como lo es el hierro, que les brinde cierta naturaleza magnética, ya sea formando parte de las cámaras de los milliolidos como óxidos como propuso Barrios (2011).^[14]

7.3.5 Cuarzo. (SiO₂)

Al observar su forma angular y redondeada en la mayoría de los casos estos minerales tenían una coloración de incoloro a blanco y muchos de estos tenían manchas de diferentes colores. Los minerales mostrados en la figura # 23, se

caracterizan por tener un brillo vítreo y en algunos casos grasoso. Las muestras fueron encontradas en amperajes de 1,2 amp., y en otros casos con corrientes de 0,8 amp. Estos minerales fueron encontrados principalmente en las muestras PD-22.

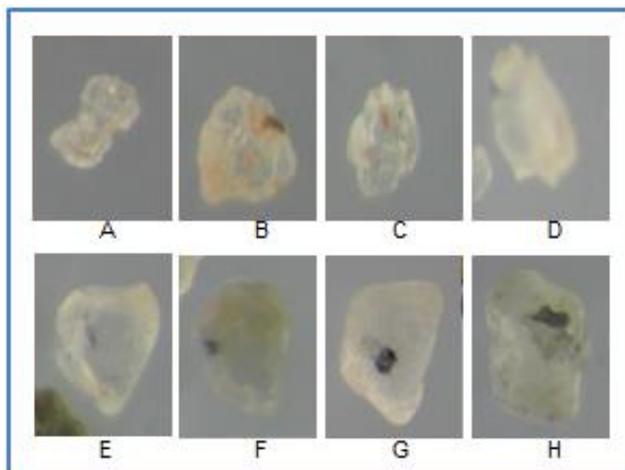


Figura # 23. Morfología de Cuarzo.

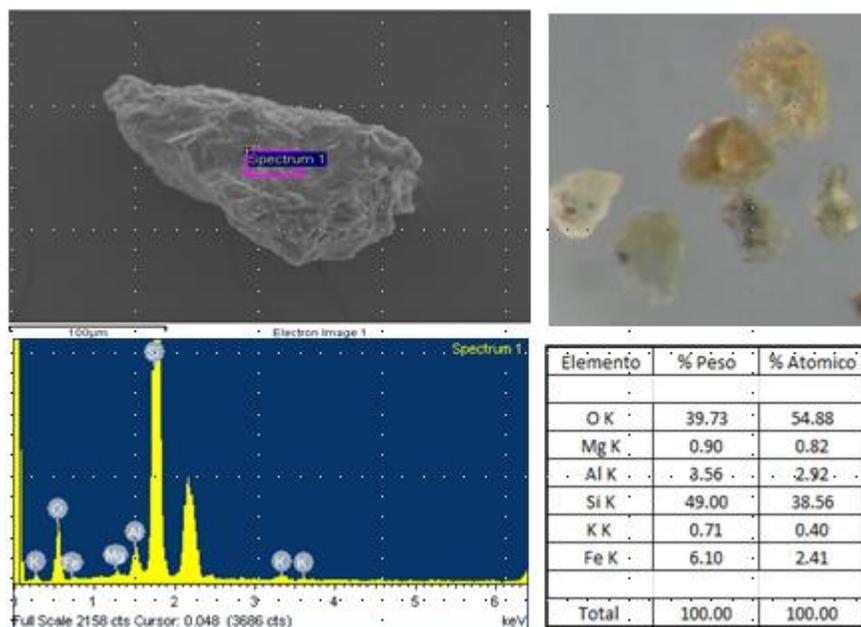


Figura # 24. Espectro de cuarzo.

Estos minerales con una composición de 49,00% de silicio y 39,73% de Oxígeno como se observa en la figura # 24. Todo lleva a pensar que podríamos estar describiendo a un mineral con alto porcentaje de sílice (SiO_2) como es el cuarzo. El porcentaje de magnesio, aluminio, potasio y hierro pueden ser porcentajes de impurezas presentes en dicho mineral o son inclusiones de minerales inscrustados que le dan cierto carácter magnético. Algunos de los minerales pueden tener algún tipo de magnetismo debido a que están presentes algunos minerales incluidos en ellos, es por esta razón que tuvimos cuarzo en amperajes de menores a 1,2 amp.

7.3.6 Anfíbol. ($X_{0-7} Y_{7-14} Z_{16} O_{44} (\text{OH})_4$)

Con una coloración de negro a gris inclusive se pudo notar en algunos casos verdosos, presentan algunos ángulos muy pronunciados y otro más redondeado, con brillo no metálico, vítreo específicamente. En la mayoría de ellos presentan manchas blancas ya sean en forma de puntos o manchas irregulares. Estos minerales están presentes en varias muestras de la zona de estudio, como PD-34, PD-44, PD-22, PD-46 en amperajes de 0,4 y 0,8 amp. Por su composición podríamos estar hablando de algún tipo de anfíbol. Los valores están representados en la figura #26.

El anfíbol como en los minerales antes descritos se encontraban en trabajos previos pero esta información es corroborada por la bibliografía de (Méndez 1999) ^[50]. Donde detalla según el autor la geología del Delta del Orinoco. De igual manera pero según el tipo de Delta (Escamilla y Romero, 2000) ^[51]., también indica la presencia del anfíbol corroborando la presencia del mineral en la zona. Su textura es variable pero predomina su morfología rugosa a lisa indicando procesos de transportes variables, lo que puede estar definido por la distancia de las fuentes con respecto al depocentro.

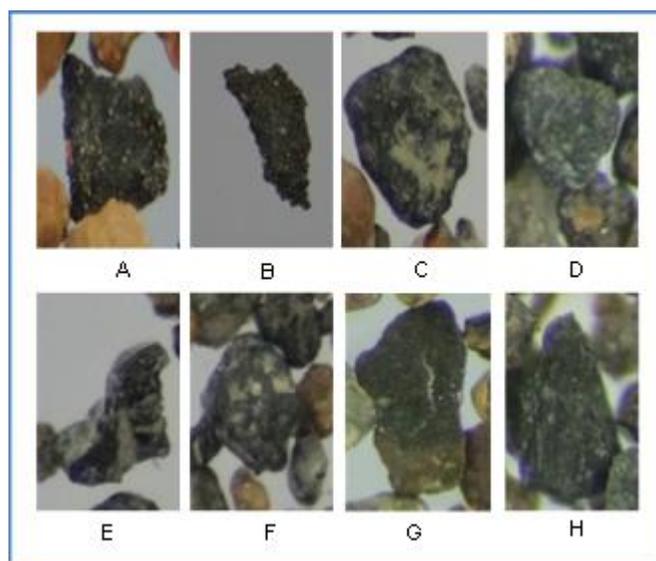


Figura #25. Morfología de anfíbol.

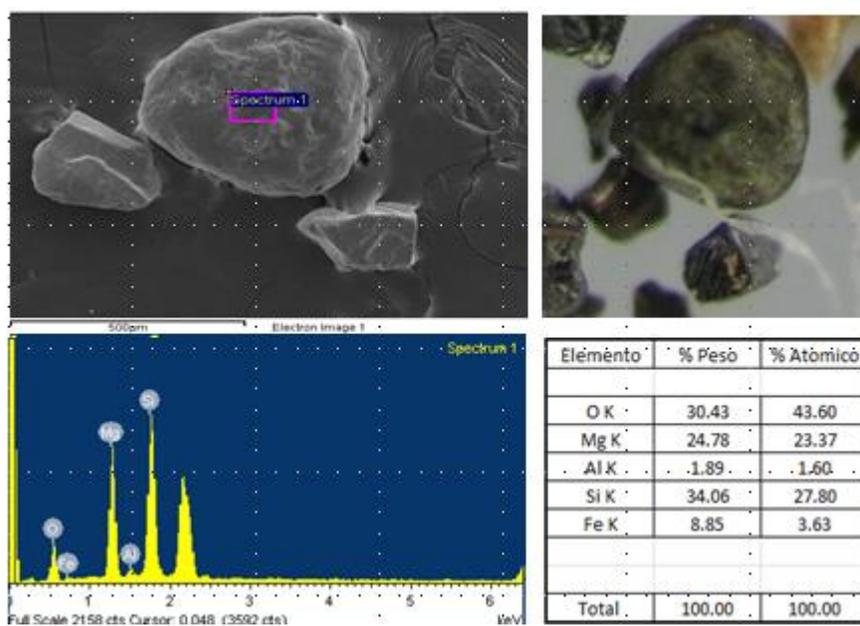


Figura # 26. Espectro de Anfíbol.

7.3.7 Goethita. (FeO(OH))

Este grupo de minerales redondeados y angulares presentaban una coloración roja, algunos casos presentando unas manchas anaranjadas, pero predominaban la coloración rojo, brillo no metálico resinoso, presentes en las muestras PD-50, PD-44 y PD-38 todos con amperaje de 0,8 amp.

Según los porcentajes de la figura # 28 podemos observar altos porcentajes de hierro y oxígeno, por lo tanto podemos inferir la presencia de un óxido-hidróxido de hierro como la goethita, por su origen estos minerales no fueron depositados y estuvieron expuestos en la superficie quedando en algún momento por encima del nivel actual del mar, es decir, que la presencia de goethita está asociada a una regresión marina según (Kim y Lee 2000).^[52] Estos cambios transgresivos y regresivos ocurrieron periódicamente desde el Pleistoceno tardío y Holoceno (Mendez, 1999 ^[50]; Tossiani, et al., 2005). ^[24].

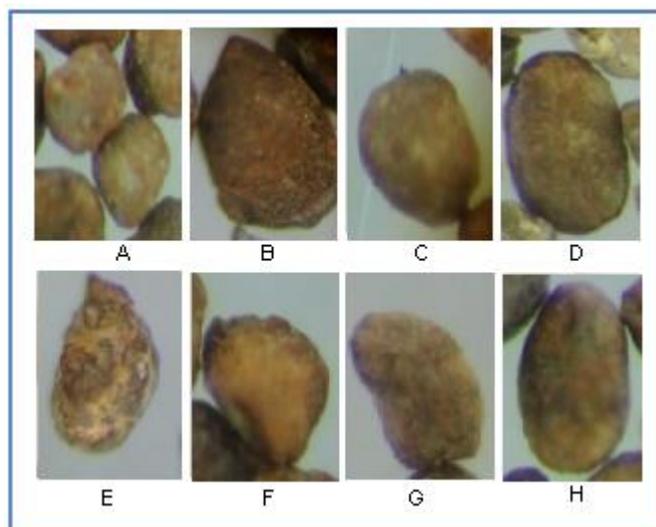


Figura # 27. Morfología de Goethita.

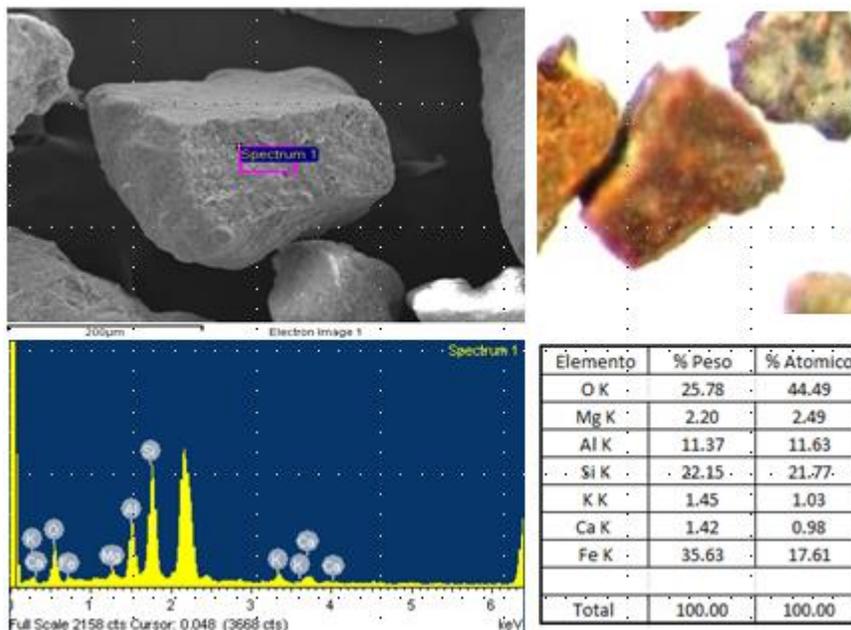


Figura # 28. Espectro de Goethita.

Cabe destacar que la mayoría de estos minerales tienen una forma redondeada lo que infiere un alto transporte desde su roca original. Observado los porcentajes de Si, Ca, Al, K y Mg sugiere la existencia de algún tipo de impurezas de algún mineral como los aluminosilicatos. Como por ejemplo micas (biotita, moscovita, flogopita) o minerales arcillosos talco.

8. ASOCIACIONES DE MINERALES PESADOS.

La importancia del reconocimiento y estudio de minerales pesados radica en que es un complemento útil en la determinación de la litología, es decir, si provienen de una fuente ígnea, metamórfica y/o sedimentaria.^[8] Además puede ser indicativo de la localización de la fuente de aporte de un sedimento y de las condiciones existentes antes, durante y después de sus ciclos de sedimentación.^[48]

La sedimentos del Delta del Orinoco es una mezcla compleja de diversos componentes originados desde los ríos Orinoco y Amazonas.(Warner et al (2002), y también son provenientes principalmente del Sureste de Venezuela, específicamente en el escudo de Guayana. ^[2]

Para establecer las posibles asociaciones fue utilizada la tabla de asociación de minerales pesados propuesta por Sander y Friedman (1978) ver tabla # 9 ^[53] y Carver (1971) ver tabla # 3 ^[30]

Las asociaciones de minerales propuesta son:

- a) Anfíboles puede provenir de una mezcla de rocas ígneas y metamórficas (Sander y Friedman, 1978). ^[53]
- b) Circón-ilmenita. Una asociación puede provenir de una roca ígnea félsica del tipo granítica. (Sam Boogs, 1995) ^[7]
- c) Almandino, proviene de una roca fuente metamórfica de alto grado o Hidrotermal (Sander y Friedman, 1978). ^[53]
- d) Cuarzo, no es un mineral pesado pero puede venir de una roca parental tanto ígnea, metamórfica y sedimentaria. ^[47]
- e) Goethita, de origen autigénico, es típico de rocas metamórficas de alto grado. Esta zona parece estar asociada a una antigua zona transicional (litoral), posiblemente a una línea de costa.
- f) Milliolidos, aunque no es un mineral pesado fueron separados como los mismos según el método isodinámico, debido a una posible coraza de óxidos de hierro que recubre el almacén calcáreo de estas especies ^[14]

Tabla # 9. Minerales pesados y su asociación con la roca parental. [53]

Minerales pesados	Rocas parentales					Sedimentaria
	Ígneas		Hidrotermal	Metamórficas		
	Máfico	Félsico	(Vetas, pegmatitas)	Alto grado	Bajo grado	
Anatasa	x					
Augita	x					
Brokita	x					
Cassiterita		x	X			
Cromita	x					
Hipersteno	x					
Ilmenita	x	x				
Leucoxeno	x	x				
Magnetita	x	x		x		
Olivino	x					
Rutilo	x					
Serpentina	x					
Apatito		x				
Biotita		x	X	x		
Horblenda		x	X	Variedad verde - azul		
Monacita		x	X			
Esfena		x				
Turmalina		Euhedral rosado	Típicamente azul		Marrones con inclusiones carbonáceas	
Circón		x				
Fluorita			X			
Granate			X	x		
Topacio			X			
Andalucita				x		
Epidoto				x	x	
Cianita				x		
Sillimanita				x		
Estaurolita				x		
Zoicita				x		
Barita			X			X

Los milliolidos, son organismos fosilíferos donde la forma externa de estos organismos, depende principalmente de su movilidad, su estrategia en cuanto a alimentación y captación de oxígeno. Indicando que las formas de los foraminíferos bentónicos tienden a ser angulares y asimétricas cuando se incrementa la profundidad de su hábitat. Se observó que están compuestos mayoritariamente por calcita enriquecida en magnesio y la presencia de óxidos de hierro, en la cual el hierro es incorporado como nutriente en las cámaras de los foraminíferos, según Moreau (2013) [48]

Según el ambiente donde se encuentren se pueden formar óxidos de hierro que precipitan sobre los milliolidos, como consecuencia de encontrarse disponibles en su ambiente natural o en un ambiente altamente óxico, pudiéndose explicar mediante el ciclo global del Fe, el cual es el resultado de reacciones abióticas y bióticas que toman lugar en los sistemas naturales. En presencia de oxígeno y condiciones de pH neutro, el ion ferroso es rápidamente oxidado a Fe (III) y precipita como óxido de hierro. Bajo las mismas condiciones de pH, así como también a condiciones de pH bajo, algunos microorganismos pueden oxidar al Fe (II) a Fe (III).^[14]

En general y según los minerales analizados, se infiere que todas las muestras de los minerales pesados provienen de una fuente ígneo metamórfico, unos con mayor grado de estabilidad que otros. Por otra parte el cuarzo obtenido fue por algunas impurezas que le dieron cierto magnetismo. Para finalizar, la goethita, un óxido-hidróxidos de hierro recubre a los minerales detríticos (rutilo, circón, uvarovita y cuarzo) y no fueron depositados en la plataforma marina, sino que estuvieron expuestos en superficie “in situ”, en un periodo regresivo, lo que indica que el continente estaba por encima del nivel actual y quedando expuesto a los agentes de meteorización. Estos cambios transgresivos y regresivos ocurrieron periódicamente desde el Pleistoceno tardío y Holoceno (Mendez, 1999 ^[50]; Tossiani, et al., 2005) ^[24] Franco 2006 ^[9].

9. CONCLUSIONES.

Tomando en cuenta los resultados y discusiones generadas durante la presente investigación, se exponen las siguientes conclusiones, que permiten alcanzar los objetivos propuestos:

1. La acumulación de los sedimentos en la línea de costa de los delta está constituida principalmente por los granos de tamaño arena, (arenas gruesa 7,29 %, arena media 11,85%, arena fina 31,62% y arena muy fina 14,06%) representando un $64,84 \pm 20,09\%$ de toda la muestra, esta granulometría es característica de las zonas cercanas a la línea de costa.
2. Los minerales pesados de la fracción de arena media contiene $5 \pm 2 \%$ de minerales pesados y $95 \pm 6 \%$ de minerales livianos y la fracción arena fina contiene un $8 \pm 3 \%$ de minerales pesados y $92 \pm 7 \%$ de minerales no pesados.
3. Los minerales pesados se concentraban en fracciones obtenidas a corrientes de 0,8 y 1,2 amp., en casi todas las muestras, con excepción de la muestra PD-34, PD-50 y PD-22 de 0,4 amp. donde hubo un valor de 0,31%, 0,23 y de 0,29 respectivamente, encontrando en dicha fracción el mineral ilmenita que tiene una mayor susceptibilidad magnética.
4. La unión de fragmentos y alteración a causa del transporte y retrabajo de los sedimentos, formo aglomerados de minerales como el circón, minerales de arcilla y óxidos de hierro, los cuales pudieron formarse "in situ" después de la sedimentación.

5. Los minerales encontrados como la goethita, anfíbol y almandino presentan unas morfologías predominantemente rugosas, mientras que el circón y la ilmenita su textura son lisas. Todas en general presentaban una alta redondez, destacando el circón y la ilmenita, por lo que se concluye un grado de transporte alto, mientras que los otros minerales presentaron menor traslado.
6. Los milliolidos a pesar de no ser minerales pesados, fueron separados según su susceptibilidad magnética, debido a una posible coraza de óxidos de hierro que recubre el armazón calcáreo de estas especies, presentando una coloración naranja y estaba compuesta por calcita enriquecida en magnesio. Según el ambiente donde se encuentren se pudiese formar óxidos de hierro que precipitan sobre los milliolidos, como consecuencia de estar en un ambiente natural o en un ambiente altamente óxico. Dándole cierto magnetismo y poder ser separados como minerales pesados.
7. El Cuarzo encontrado generalmente en la muestra PD-22, se obtuvo en fracciones de 0,8 y 1,2 amp., aunque no es un mineral pesado, fue descrito debido a que la presencia de algunos minerales con cierto magnetismo estuvieron incluidos como impurezas.
8. Los minerales pesados identificados fueron ilmenita, circón, anfíbol, almandino y goethita, pertenecientes o asociadas fuentes de rocas ígneas y metamórficas, donde la mayor parte proviene del escudo de Guayana.

10. RECOMENDACIONES.

Para complementar el estudio del trabajo sobre los minerales pesados en los sedimentos de arena frente al delta del Orinoco se recomienda:

1. Realizar la separación de minerales pesados usando líquidos de alta densidad, ya que el método por separación magnética no es totalmente efectivo.
2. Determinar la caracterización mineralógica de los minerales pesados, con la técnica de Difracción de Rayos X puntual, para identificar las fases minerales de las muestras que están en baja proporción en la presente investigación.
3. Para las fracciones con poca cantidad de muestra, realizar la caracterización mineralógica de los minerales pesados mediante petrografía, para lograr identificar las fases minerales de dichas muestras.
4. Identificar las asociaciones de minerales pesados de las otras fracciones no estudiadas en esta investigación a fin de integrar toda la información y establecer asociaciones minerales más completas que permitan establecer fuentes más específicas.
5. Complementar con un estudio más amplio los foraminíferos planctónicos observados, a fin de establecer condiciones paleoambientales.

11. BIBLIOGRAFÍA.

1. Perry, C.; Taylor, Kevin.; (2007). **“Environmental sedimentology”** Blackwell Publishing Oxford, UK. Cap. 10. 460p.
2. Méndez, J.; (2007) **“Petrología”** Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias, UCV. 363p.
3. Tarbuck, E.; Lutgens, F.; (1999) **“Una introducción a la geología física.”** Ciencias de la Tierra Prentice-Hall. U.S.A. 700p.
4. Damiani, D.; Giorgetti, G.; (2008) **“Provenance of glacial–marine sediments under the McMurdo/Ross Ice Shelf (Windless Bight, Antarctica): Heavy minerals and geochemical data”** ELSEVIER. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 260. 262–283.
5. Pettijohn, F.; (1975) **“Sedimentary Rocks”** 3ra edición. New York. Harper y Row. 628p.
6. Mange, M.; Wright, D.; (2007) **“Heavy minerals in use”** Primera edición. Elsevier. Italia. 1283p.
7. Boggs, S.; (1995) **“Principles of sedimentology and stratigraphy”** University of Oregon, Prentice Hall. New Jersey. 662p.
8. Chávez, G.; (2003) **“Estudio geoquímico de los compuestos no cristalinos en la fracción fina de los sedimentos marinos de la fachada atlántica,**

- Venezuela**” Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 122p.
9. Franco, J.; (2006) **“Estudio geoquímico de minerales pesados en sedimentos recientes de la plataforma continental atlántica, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 86p.
 10. Abreu, R.; (2007) **“Identificación de minerales pesados en sedimentos fluviales del estado Bolívar”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 97p.
 11. Alonzo, R.; (2008) **“Estudio de la distribución de los minerales pesados de los sedimentos marinos del litoral central, estado Vargas, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 90p.
 12. Hernández, M.; (2009) **“Evaluación de técnicas de análisis multivariado sobre minerales pesados pertenecientes a sedimentos de drenajes activos de la región de Imataca, estado Bolívar, Venezuela. Implicación en la determinación de proveniencia”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 133p.
 13. Gamero, A.; Reveti M.; (2011) **“Estudio geoquímico y mineralógico de minerales pesados en la zona Nor-Oriental del Estado Bolívar”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería, Caracas. 103p.

14. Barrios, C.; (2011) **“Estudio geoquímico de los componentes nodulares pesados presentes en la fracción arena de los sedimentos de la costa atlántica venezolana”** Trabajo de ascenso. Universidad central de Venezuela. Facultad de ciencias. 81p.
15. Rodríguez, A.; Prieto, P.; Castillo, M. (2005) **“Análisis de sedimentos de la parte alta y media de la cuenca del río Chama. Mérida, Venezuela”** Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Revista Ciencia e Ingeniería. Vol. 26. No. 1. Mérida. 23-28.
16. Martín, A.; Malave, L.; Sanches, D.; Aparicio, R.; Arocha, F.; Bone, D.; Bolaños, J.; Bolaños-Jimenez, J.; Castañeda, J.; Cardenas, J.; Carbonini, A.; Diaz, Y.; Guada, H.; Klein, E.; Lazo, R.; Lemus, A.; Lentino, M.; Lira, C.; Lodeiros, C.; Lopez, R.; Marin, B.; Martinez, G.; Marquez, B.; Mrquez, A.; Molinet, R.; Morales, F.; Posada, J.; Prieto, A.; Riera, A.; Rodriguez, C.; Ramirez, A.; Senior, W.; Solana, P.; Severeyn, H.; Spiniello, P.; Valera, E.; Yanes, C.; Zoppi, E.; (2007) **“Línea base ambiental plataforma Deltana”** A. Martín y D. Bone (ed). Petróleos de Venezuela, S.A. **Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.** 175p.
17. Marcano, N.; (2006) **“Estudio geoquímico de los sedimentos recientes depositados en la plataforma continental y talud deltaico frente al delta del orino, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 120p.
18. Méndez, J.; (2009) **“Carbonatos, origen y sedimentación”** Instituto de ciencias de la tierra. Facultad de Ciencias, UCV. 270p.

19. Whitten, D.; Brooks, J.; (1972) **“The Penguin Dictionary of Geology”** Penguin Books, London. 493p.
20. Calvo, M. (2000) **“Manual de contaminación marina y restauración del litoral”** Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 565p.
21. Nichols, G.; (2009) **“Sedimentology and Stratigraphy”** 2da edición. Wiley-Blackwell. UK. 419p.
22. Arche, A.; (1992) **“Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria”** Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. Vol. I. 1287p.
23. Lo Mónaco, S; (2000) **“Guía 6: sedimentación y rocas sedimentarias”**. Clases de geoquímica. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias Universidad central de Venezuela. 56p.
24. Tosiani, T.; Yanes, C.; Ramírez, A.; (2005) **“Sedimentos recientes frente al delta del Orinoco, Venezuela”** Investigaciones Geo-ambientales. Frente atlántico venezolano. (ciencias de la tierra PDVSA). 159p.
25. Camargo, A.; (2004) **“Determinación de los elementos mayoritarios y traza de muestras de núcleos de sedimentos marinos de la fachada Atlántica, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 94p.

26. De Lazzari A., Rampazzo G., Pavoni B., (2004) **“Geochemistry of sediments in the Northern and Central Adriatic Sea” Elsevier (venece Italy)**” Estuarine, Coastal and Shelf Science 59, 429-440.
27. Mange y Maurer., (1992) **“Heavy minerals in color”** Chapman y Hall. 147p.
28. Mitchell, W; (1975) **“Heavy minerals”** In: Gieseking, J.E. (Ed), Soil Components. II. Inorganic. Springer, New York. 480p.
29. Quevedo, J.; (2009) **“Análisis mineralógico y químico de minerales pesados de sedimentos de la cuenca del rio Aro, estado Bolívar, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 79p.
30. Carver, E.; (1971) **“Procedures in sedimentary petrology”** Wiley-Interscience, New York. 653p.
31. Feo-Codecido, G.; (1956) **“Geología: técnica para el estudio de los minerales pesados y su aplicación a la estratigrafía de Venezuela”** Bull. Amer. Assoc. Petroleum. Geologists, volumen 40 (5). 24p.
32. Cascalho, J.; y Fradique, C.; (2007) **“The sources and hydraulic sorting of heavy mineral son the Northern Portuguese continental margin”** Developments in Sedimentology, volumen 58. 75-110.
33. Parales, D.; (2009) **“Estudio de la variación en la composición de minerales pesados con el tamaño de grano en sedimentos de las cuencas de los ríos Aro, Arizo, Pao y Orinoco, Venezuela”** Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Caracas. 59p.

34. Brown, T.; (1993) **“Química la Ciencia Central”** 5^{ta} edición. Prentice Hall Hispanoamericana. 1152p.
35. Mendez, J.; **“El Delta del Orinoco”** Investigaciones Geo-ambientales. Frente atlántico venezolano. (ciencias de la tierra PDVSA) 159p.
36. Markeviche, P.; Malinovsky, A.; Tuchkova, M.; Sokolov, S.; Grigoryev, V.; (2007) **“Chapter 31 The Use of Heavy Minerals in Determining the Provenance and Tectonic Evolution of Mesozoic and Cenozoic Sedimentary Basins in the Continent-Pacific Ocean Transition Zone: Examples from Sikhote-Alin and Koryak-Kamchatka Regions (Russian Far East) and Western Pacific”** Elsevier, Developments in sedimentology. heavy minerals in Use. Volumen 58. 789-822.
37. Giorgetti, G.; Talarico, F.; Sandroni, S.; Zeoli, A.; (2009); **“Provenance of Pleistocene sediments in the ANDRILL AND-1B drillcore: Clay and heavy mineral data”**. Elsevier. Global and Planetary Change. Volumen 69, Issue 3, 94-102.
38. Yang, S.; Wang, Z.; Guo, Y.; Li, C.; Cai, J.; (2009) **“Heavy mineral compositions of the Changjiang (Yangtze River) sediments and their provenance-tracing implication”** Journal of Asian Earth Sciences 35. 56–65.
39. Lin, X.; Li, W.; Du, S.; Lin, Z.; (2010) **“Heavy mineral stratigraphy of sediments from the southern outer shelf of the East China Sea since the last glaciation using fuzzy C-means cluster method”** Chinese Journal of Oceanology and Limnology Vol. 28 No. 1, 183-189.

40. Olivarius, M.; Rasmussen, E.; Siersma, V.; Knudsen, C.; Pedersen, G.; (2010) **“Distinguishing fluvio-deltaic facies by bulk geochemistry and heavy minerals: an example from the Miocene of Denmark”** *Sedimentology the journal of the International Association Sedimentologists*.
41. Bojar, A.; Bojar, H.; Otther, F.; Grigorescu, D.; (2010); **“Heavy mineral distributions of Maastrichtian deposits from the Hațeg basin, South Carpathians: Tectonic and palaeogeographic implications”** Elsevier. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 293, Issues 3–4, 15. 319–328.
42. Dill, H.; (2010) **“Authigenic heavy minerals a clue to unravel supergene and hypogene alteration of marine and continental sediments of Triassic to Cretaceous age (SE Germany)”** *Sedimentary Geology* 228. 61–76.
43. Guedes, C.; Giannini, P.; Nascimento, D.; Sawakuchi, A.; Tanaka, A.; Rossi, M.; (2011) **“Controls of heavy minerals and grain size in a holocene regressive barrier (Ilha Comprida, southeastern Brazil)”** Elsevier. *Journal of South American Earth Sciences*. Volume 31, Issue 1, 110-123.
44. Mahdi, J.; Reza M. H.; Henrik F.; Abdolhossein A.; Asadollah M.; Davide L.; (2014) **“Provenance of the Oligocene–Miocene Zivah Formation, NW Iran, assessed using heavy mineral assemblage and detrital clinopyroxene and detrital apatite analyses”** Elsevier. *Journal of African Earth Sciences* 89 (2014) 56-71.
45. Daniel R. N. Jr.; Andre O. S.; Carlos C. F. G.; Paulo C. F. G.; Carlos H. G.; Manuela P. F. (2015) **“Provenance of sands from the confluence of the**

- Amazon and Madeira rivers based on detrital heavy minerals and luminescence of quartz and feldspar**” Elsevier. *Sedimentary Geology* 316 (2015)1-12.
46. Gang L.; Wen Y.; Lifeng Z.; Zhen X.; Shuhong W.; (2015) **“Provenance of heavy mineral deposits on the northwestern shelf of the South China Sea, evidence from single-mineral chemistry”** Elsevier. *Marine Geology* 363 (2015)112-124.
47. Dana J.; (1997) **“Manual de mineralogía”**. 1ra Edición. Editorial Reverte. 564p.
48. Moreau C.; (2013) **“Estudio de los minerales pesados presentes en la fracción arena de los sedimentos de la plataforma continental del golfo de Venezuela”**. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra. Caracas.
49. Corliss, B. H.; & Fois, E.; (1991) **“Morphotype analysis of deep-sea benthic foraminifera from the north-west Atlantic Ocean”**. *Marine micropaleontology*, 17, 195-236.
50. Mendez, J.; (1999) Delta del Orinoco: Proyecto Geoambiental Geología: I.C.T. Facultad de Ciencias. Fundación UCV, Corpomene.
51. Escamilla, H.; Romero, K.; (2000) **“Distribución de facies sedimentarias y características de los sedimentos en la parte superior del Delta del Orinoco”**. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

52. Kim, Y.; & Lee, Y.I.; (2000). **“Ironstone and green merine clays in the Dongjeom Formation (Early Ordovician) of korea”**. Sedimentary Geology 130:65-80.
53. Sanders & Friedman .; (1978) **“Principles of sedimentary”**. Jhon Wiley y Sons. Pp 60-63.

12. ANEXOS.

Anexo # 1. Tabla masa de tamaño de granos iniciales en gramos.

Muestra	Grava	Arena G	Arena M	Arena F	Arena MF	Limo	Arcilla	Total
50	2,5301	14,4386	39,1644	23,0529	23,0036	114,3055	1,3726	217,8677
44	41,3507	20,2315	29,9538	122,6410	62,3382	72,7580	24,2724	373,5456
51	8,0351	9,8347	46,6316	53,7307	79,7477	120,7308	23,4020	342,1126
47	43,1677	35,5343	43,2959	100,5385	52,4617	93,9397	3,2049	372,1427
46	32,8327	32,9568	71,7240	117,8830	55,0105	21,4323	8,4119	340,2512
45	39,4954	62,4261	71,2100	88,6465	45,9994	42,9401	13,3632	364,0807
43	24,6628	25,0747	20,7972	57,1231	33,1792	6,4204	3,4010	170,6584
39	24,7290	19,1039	18,7457	68,5898	18,9341	37,9924	3,2545	191,3494
38	29,0496	21,9192	33,0311	146,9272	39,9331	105,9994	1,4771	378,3367
34	10,3446	12,1750	22,4440	27,8895	32,5521	188,2245	4,0133	297,643
22	0,8437	0,0263	1,0698	241,6494	67,0766	8,3851	1,6683	320,7192
11	7,2706	4,4217	10,4150	13,8208	30,7429	83,1835	2,8688	152,7233
9	0,0000	0,0000	0,1227	0,7527	23,3301	33,1938	7,5452	64,9445

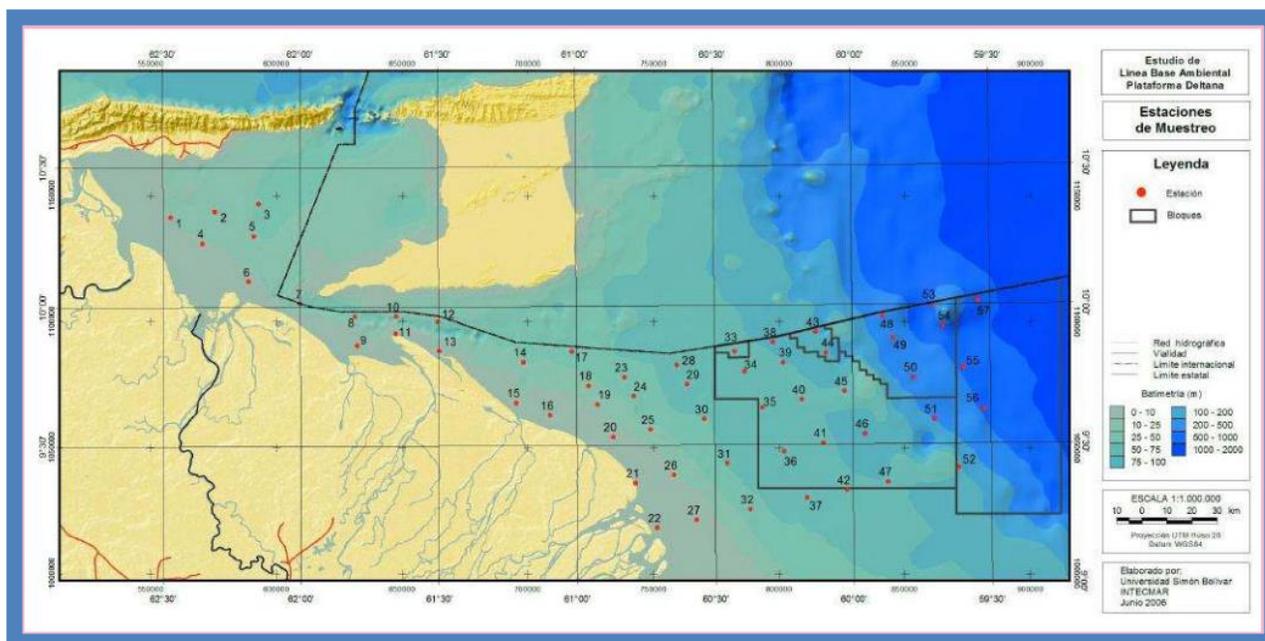
Anexo # 2. Tabla masa de minerales y fracciones Arena media (>60) en gramos

Muestra	Masa inicial	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	20,0060	0,0092	1,5832	0,0158	19,9652
PD-47	20,0098	0,0023	0,0041	0,0009	20,0057
PD-46	50,0013	0,0000	0,3491	0,6877	48,6259
PD-45	50,0005	0,0000	1,9586	4,0534	41,8937
PD-44	20,0048	0,0000	0,3280	0,0580	19,8888
PD-38	20,1200	0,0000	0,1297	0,1890	19,7420
PD-34	15,0074	0,0468	0,1959	0,6903	13,5800

Anexo # 3. Tabla masa de minerales y fracciones Arena fina (>120) en gramos

Muestra	Masa inicial	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	15,0052	0,0350	2,4201	0,9314	11,6187
PD-47	50,0680	0,0371	2,2758	1,5341	46,2210
PD-46	49,9226	0,0000	0,5114	0,7720	48,6392
PD-45	50,0595	0,0000	4,0652	3,2697	42,7246
PD-44	20,0232	0,0000	0,2001	0,0175	19,8056
PD-38	50,3974	0,0000	0,9470	1,5798	47,8706
PD-34	14,9667	0,0066	0,2970	0,5225	14,1406
PD-22	23,8049	0,0694	0,3970	0,6058	22,7327

Anexo # 4. Área de estudio a los efectos de la Línea Base Ambiental Plataforma Deltana (LBAPD) y ubicación de los bloques a desarrollar



Anexo # 5. Cálculos de promedio y desviación estándar.

% para fracción de arena media

Muestra	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	0,04	7,91	0,07	99,79
PD-47	0,01	0,02	0,00	99,97
PD-46	0,00	0,69	1,37	97,24
PD-45	0,00	3,91	8,10	83,78
PD-44	0,00	1,63	0,28	99,42
PD-38	0,00	0,64	0,93	98,12
PD-34	0,31	1,30	4,59	90,48
Promedio	0,05	2,30	2,19	95,54
Desviación S.		1,97		6,13

% para fracción de arena fina

Muestra	0,4 Amp.	0,8 Amp.	1,2 Amp.	No magnético
PD-50	0,23	16,12	6,20	77,43
PD-47	0,07	4,54	3,06	92,31
PD-46	0,00	1,02	1,54	97,42
PD-45	0,00	8,12	6,53	85,34
PD-44	0,00	0,99	0,08	98,91
PD-38	0,00	1,87	3,13	94,98
PD-34	0,04	1,98	3,49	94,48
PD-22	0,29	1,66	2,54	95,49
Promedio	0,08	4,54	3,32	92,05
Desviación S.		2,51		7,18