



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE SUCRE  
ESCUELA DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL  
MAR CARIBE  
(Modalidad: Tesis de grado)

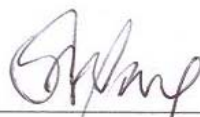
ANA KARINA MARTÍNEZ ESPINOZA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN QUÍMICA

CUMANÁ, 2013

FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL  
MAR CARIBE

APROBADO POR:



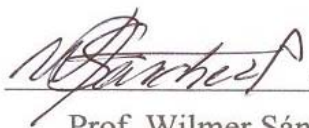
---

Prof. Gregorio Martínez Campos M.Sc.  
Asesor Académico



---

Prof. Ángel Marcano  
Jurado



---

Prof. Wilmer Sánchez  
Jurado

## DEDICATORIA

A Dios primeramente, por guiarme, ser mi paz y ponerme en el camino las herramientas necesarias, para cumplir mis objetivos tanto en mi vida, como en mi carrera profesional.

Ana Espinoza, mi madre y Jesús Martínez, mi padre, por inculcarme valores y principios educativos, por ser ustedes unos de los pilares importantes en mi formación académica y profesional y quienes les debo tanto en esta vida. Este logro es de ustedes...Los amo.

A mis hermanos Annie y Jesús R. (Beto), por toda la confianza que ha existido entre nosotros, a ustedes gracias por creer en mi y darme ejemplos ¡los amo!

A mis abuelos(a) a quienes aprecio y quiero mucho, porque sé que el hecho de lograr esta meta a ustedes les hará feliz ya que están ansiosos de ver mi progreso profesional.

A mis sobrinos JeanKarlos y Karliannie, por ser tan especiales en mi vida y contribuir a esforzarme cada día más, a ustedes mis ternuras los adoro con todo mí ser.

A mi hermanita skarli, tios(a) y primos(a) por apoyarme y estar pendientes de mi, espero ser ejemplo y orgullo de todos ustedes.

Al tesoro más preciado que llevo en el mejor momento de finalizar este logro con éxito mi hijo "Samuel"; quien hizo que me incentivara mas a seguir adelante. ¡Te amo!

A Ronald Bolivar por ser el padre de mi hijo y por estar a mi lado, a pesar de nuestras diferencias. Te agradezco

A todas las personas que perseveran y se crean capaces de lograr sus metas, no importan que caigan, lo mejor de caer es levantarse y lograrlo.

A todos ustedes les dedico este trabajo como constancia del aprendizaje, apoyo y esfuerzo de todos los días.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme paciencia, sabiduría y satisfacción en todo momento. A mis padres por el apoyo brindado en esta meta.

A la universidad de oriente por permitirme pasar por sus instalaciones, aulas, laboratorios, especialmente al Departamento de Química donde viví muchas experiencias y compartí con amistades, profesores, técnicos conocimientos básicos y profesionales.

Al Prof. Gregorio Martínez por su asesoramiento, amistad y conocimientos impartidos en cada una de las fases y elaboración del trabajo de grado.

Al Departamento de oceanografía, en el Instituto Oceanográfico de Venezuela (IOV), especialmente a los T.S.U Deudedit Hernández y Edymir Parra por su valiosa dedicación y colaboración en esta investigación.

A mis amigas Berenice Aguado, Rosanny López y Yolimar Marcano, quienes han sido compañía y testigos de mis esfuerzos en la carrera y a las que tanto tengo que agradecer. A ustedes gracias por su inigualable amistad y confianza.

A todos mis compañeros y amigos con quienes viví y compartí momentos agradables y experiencias inolvidables en el transcurso de la carrera, muy especialmente Alexis, Any, Asyuris, Dilimar, Fabiola, Irmina, Jesli, Jesusmarith, José, julineth, María, Marilyn, Miguel, Mónica, Olga, Rafael, Yamira.

A todos muchas gracias por su dedicación y confianza.

## INDICE

	Pág.
LISTA DE TABLAS .....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
RESUMEN .....	X
INTRODUCCION.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
METODOLOGIA.....	6
Área de estudio .....	6
Recolección y Almacenamiento de los Sedimentos .....	7
Análisis textural de los sedimentos.....	9
Pérdida a 450°C en los sedimentos .....	10
Determinación del carbono orgánico total.....	11
Determinación del contenido de carbonatos.....	11
Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.....	11
Fósforo total (FT).....	12
Fósforo total inorgánico (FTinorg) y fósforo orgánico (F4).....	12
Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (F1) .....	12
Fósforo autogénico (F2).....	13
Fósforo Detrítico (F3).....	13
Nitrógeno total (N <sub>T</sub> ) y fósforo total (P <sub>T</sub> ).....	13
Reproducibilidad de los métodos utilizados .....	14
Análisis Estadísticos .....	14
RESULTADOS Y DISCUSION .....	15
Textura de los sedimentos.....	15
Pérdida a 450°C de los sedimentos .....	17
Carbono orgánico.....	20
Determinación del contenido de carbonato de calcio .....	21
Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.....	24
Fósforo total (FT).....	26
Fósforo total inorgánico (FTinorg) .....	29
Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (F1). .....	30
Fósforo autogénico (F2).....	33
Fósforo detrítico (F3).....	35
Fósforo orgánico (F4) .....	37
Nitrógeno total (NT) .....	38
Análisis Estadísticos .....	39
Análisis de correlación de Pearson .....	39
CONCLUSIONES .....	42
BIBLIOGRAFIA .....	44
APÉNDICE.....	50

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. Ubicación longitudinal y latitudinal de los muestreos realizados en el Mar Caribe (zona Centroamérica y Suramérica) para el presente estudio. ....	8
Tabla 2. Reproducibilidad del método Sedex (Berner y Rao 1994), utilizado en el fraccionamiento de fósforo (mg/kg), en los sedimentos estudiados del Mar Caribe.....	25
Tabla A1. Composición granulométrica (%) y textura de los sedimentos estudiados en el Mar Caribe .....	50
Tabla A2. Composición porcentual (%) de Pérdida a 450°C, carbonatos, carbono orgánico y nitrógeno total (mg/kg) en los sedimentos del Mar Caribe. ....	51
Tabla A3. Contenido de fósforo (mg/kg) en los sedimentos estudiados del Mar Caribe. ...	52
Tabla A4. Contenido de fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Mar Caribe por el método de Valderrama y por el método de Berner y Rao(1994).....	53

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Recorrido del Buque Oceanográfico METEOR II (M78/1).los puntos indican el número de estaciones de las áreas trabajadas. ....	7
Figura 2. Muestreador tipo Box Core para el muestreo de sedimentos superficiales.....	8
Figura 3. Triángulo de Shepard para la clasificación textural de los sedimentos marinos. ....	10
Figura 4. Distribución y Composición textural de los sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche, Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	16
Figura 5. Clasificación textural, según el triángulo de Sheppard de los sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.....	17
Figura 6. Distribución Porcentual de Perdida a 450°C (%) de sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	18
Figura 7. Distribución Porcentual de Carbono Orgánico (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.....	20
Figura 8. Distribución Porcentual de Equivalentes de carbonatos de calcio (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	23
Figura 9. Distribución de fósforo total (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	26
Figura 10. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.....	27
Figura 11. Distribución de fósforo total (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe, obtenidos por los métodos SEDEX y de Valderrama.....	28

Figura 12. Distribución de fósforo total inorgánico (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.....	29
Figura 13. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total inorgánico (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe .....	30
Figura 14. Distribución de fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos hierro (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe .....	32
Figura 15. Distribución de fósforo autogénico (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	34
Figura 16. Distribución de fósforo detrítico (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	36
Figura 17. Distribución de fósforo orgánico (F4) (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.....	37
Figura 18. Distribución de Nitrógeno Total (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe. ....	39



## **LISTA DE ABREVIATURAS**

FT= Fósforo total

FTinorg= Fósforo total inorgánico

F1= Fósforo absorbido más asociado a óxidos de hierro

F2= Fósforo autogénico

F3= Fósforo detrítico

F4= Fósforo orgánica

%Pérd 450°C= Equivalente a materia orgánica (materia volátil)

CO= Carbono orgánico

NT= Nitrógeno total.

## RESUMEN

Se evaluaron sedimentos en doce estaciones ubicadas en el Mar Caribe (Centroamérica y Suramérica) distribuyéndose estas entre el canal y plataforma de Yucatán (banco de Campeche), isla La Blanquilla, cercanías de San Jorge, cercanías de Trinidad, boca grande Orinoco y plataforma Deltana. A través del análisis textural se encuentra que la mayoría de las muestras son de tipo areno-arcillosa con considerable porción de limo, los cuales poseen relaciones significativas con la mayoría de los parámetros estudiados. También se cuantificó el contenido en porcentajes (%) de materia volátil (%Pérd 450°C), carbono orgánico (CO) y carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), hallándose valores entre 2,01 a 15,09; 0,33 a 3,16; y 23,00 a 95,00. Se determinó la cantidad de fósforo haciendo fracciones geoquímicas (orgánico, inorgánico (autogénico, detrítico, adsorbido más asociados a óxidos de hierro) y total) por el método de Sedex con adaptaciones de Berner y Rao (1994), siendo esta más sencilla y efectiva para extraer las diferentes fracciones de fósforo. La cuantificación del fósforo extraído en cada una de las fracciones se realizó con la técnica de espectrofotometría en la región visible a 885 nm. Los resultados obtenidos arrojaron niveles considerables de fósforo orgánico, variando entre 54,64 y 284,99 mg/kg, coincidiendo estos con el aporte de materia orgánica, como principal fuente de especies químicas fosfatadas existente en la zona de estudio. Y en orden decreciente del fósforo inorgánico (fósforo autogénico (24,10 a 60,77 mg/kg) > fósforo detrítico (2,17 a 135,97 mg/kg) > fósforo adsorbido más asociados a óxidos de hierro (1,75 a 3,18 mg/kg), este solo se encontró en las muestras pertenecientes a boca grande Orinoco y este del Delta Orinoco). En el caso del fósforo total y nitrógeno total, las concentraciones oscilaron entre 145,09 mg/kg en Boca grande de Orinoco (zona Suramérica) a 456,35mg/kg en Banco de Campeche (zona Centroamérica) y 228,11mg/kg en Banco de Campeche (zona Centroamérica) a 971,02mg/kg en Isla Blanquilla(zona Suramérica), respectivamente. La concentración de compuestos nitrogenados y fosforados en los sedimentos superficiales del ecosistema en estudio, confirman la intensidad de los procesos bióticos y abióticos que ocurre en las zonas estudiadas.

## INTRODUCCIÓN

La sedimentación es un proceso de acumulación en un área específica de materiales transportados que resultan de la erosión de suelos y rocas meteorizadas por agentes geológicos externos como el agua, aire y viento. Las características de los depósitos sedimentarios dependen de la naturaleza de los agentes de transporte. En el caso de los ríos, el material sedimenta cuando el movimiento del medio se reduce por debajo de la velocidad de transporte de carga, la cual sucede en las desembocaduras de los arroyos o en los torrentes al pie de las montañas, donde los materiales depositados forman abanicos aluviales. Sin embargo, en las desembocaduras marinas y deltas ocurre una mayor velocidad de sedimentación, debido a la disminución del flujo del río al encontrarse con las masas de agua salada. Durante este proceso, también sucede el asentamiento de residuos orgánicos que permiten la actividad biológica. En ríos pequeños, arroyos y zonas marinas con descarga fluviales, el aporte de materia orgánica (MO) es una fuente indispensable de nutrientes y energía. Así mismo, los restos de materiales leñosos proporcionan sustratos y hábitat para los organismos acuáticos (Meadows y Campbell, 1978; Meybeck *et al.*, 1989). La sedimentación de materia orgánica, también, elimina contaminantes tales como los metales pesados, que se adsorben a la superficie de las partículas a medida que se hunden en la columna de agua (Wageman y Muir, 1994). Por medio de este proceso, estos contaminantes son removidos de las capas superficiales del océano, limitando así su potencial incorporación y bioacumulación en animales marinos que pueden ser eventualmente ingeridos por los humanos.

El fósforo (P) y el nitrógeno (N), son los elementos de mayor importancia para el crecimiento de los organismos acuáticos, principalmente en el ciclo del ácido nucleico y los fosfolípidos de las membranas celulares, mediante la actividad metabólica para transferir energía entre moléculas (Bonilla, 1977). El P ocupa la posición 11 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. En los sedimentos, la fuente principal de fósforo inorgánico se origina durante la desintegración y descomposición de

las rocas que contienen el mineral apatita, formando fluorapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ), cloroapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$ ) e hidroxiapatita ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ). También se encuentra combinado con hierro y aluminio, formando fosfatos de hierro y aluminio  $\text{PO}_4\text{Al}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (variscita),  $\text{PO}_4\text{Fe}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (estrengita) y en combinaciones con arcillas, humus y otras formas orgánicas (Spivakovet *al.*, 1999; Hanrahanet *al.*, 2005).

Las transformaciones del fósforo en los sedimentos abarcan múltiples formas, ya que puede formar complejos con el calcio, hierro, aluminio, ser adsorbido en las partículas minerales, o puede encontrarse en varias formas orgánicas, tanto viva como muerta (Andrieux-Loyer y Aminot 2001; Koch *et al.* 2001). Bajo ciertas condiciones, el fósforo liberado de los sedimentos puede estimular la eutrofización (Andrieux-Loyer y Aminot 2001; Jansson 1987). Hartet *et al.* (1976) afirman que bajo ciertas condiciones, el fósforo puede ser liberado a la columna de agua desde los sedimentos y es aprovechado potencialmente como un nutrimento para el crecimiento del fitoplancton.

La eutrofización ha sido identificada como un factor importante que afecta a los ecosistemas acuáticos. El hombre ha incrementado este parámetro por el suministro de nutrimento en las precipitaciones, las aguas subterráneas y la escorrentía de la tierra. Existe un consenso entre limnólogos que el término eutrofización es sinónimo de aumento de las tasas de crecimiento de la biota acuática y que esto se debe a perturbaciones del sistema a través de las actividades del hombre. Tanto el P como el N han sido vinculados a la eutrofización (Vollenweideret *al.*, 1974; Likens, 1972, Dillon y Rigler, 1974). Por lo tanto, el control de las concentraciones de P en los sistemas acuáticos tiene que ser visto como el mejor medio de control de la productividad acuática y, por lo tanto, de la eutrofización. El N no proporciona un control adecuado, porque tanto las algas como las bacterias pueden fijar  $\text{N}_2$ . Por otro lado, Ruttenberg (1990) se refiere a la heterogeneidad espacial de la sedimentación en las márgenes continentales del mismo modo que lo hace Berner (1982) para la estimación de carbono orgánico. La sedimentación total en el margen continental, se determinó por la diferencia entre el aporte total de los sedimentos por los ríos a los océanos y la tasa de acumulación de sedimentos en el fondo del mar (Berner y Berner, 1987).

Actualmente, el estudio de las distintas fracciones de fósforo es uno de los tópicos de gran interés dentro de la oceanografía y las investigaciones biogeoquímicas. Liebezeit (1991) realizó un fraccionamiento de fósforo del material obtenido de unas trampas de sedimentos del Mar de Mármara, el sur del Mar de China, Mar del Norte, y la Meseta de Voring en el Mar de Noruega, hallando que el fósforo inorgánico se puede originar del carbonato biogénico y el fósforo detrítal de minerales de arcilla, restos de peces y deposición atmosférica.

Para conocer la distribución de fósforo, se ha implementado una gran variedad de métodos entre los cuales se puede mencionar, el método de Chang y Jackson (1957), el cual consiste en separar distintas fracciones de fósforo inorgánico y estimar la cantidad de fósforo orgánico por la diferencia entre la suma de todas las fracciones inorgánicas extraídas y el fósforo total cuantificado. Otros métodos son los de Amuerman (1991) y Bartels (1996), en los que únicamente se determina la cantidad de fósforo orgánico respecto al contenido total. Debido a que ninguno de estos métodos genera información alguna acerca de la labilidad de las fracciones orgánicas, Ruttenberg (1992) propone un método de extracción de los distintos tipos de fósforo en sedimentos marinos conformado por cinco pasos, conocido como el método SEDEX, en el cual se caracterizan 5 formas principales de fósforo (P) en los sedimentos marinos:

- P ligeramente adsorbido o lábil (extraíble con  $MgCl_2$ );
- P enlazado a óxidos e hidróxidos de Fe (extraíble con solución de citrato-ditionito-bicarbonato, CDB, a pH 7,6);
- P apatita antigénico (formado *in situ* + calcita + apatita biogénica (buffer de acetato a pH 4));
- P detrítico inorgánico ( $HCl$   $1\ mol\cdot l^{-1}$ );
- P orgánico (calcinación en  $550\ ^\circ C$  +  $HCl$   $1\ mol\cdot l^{-1}$ ).

El fósforo adsorbido es aquel que se encuentra unido débilmente a la matriz sedimentaria y, por lo general, su presencia en los sedimentos marinos se debe a

fertilizantes fosfatados que son utilizados en la agricultura. El fósforo asociado a óxidos, como su nombre lo indica, es el que se encuentra ligado a los oxihidróxidos de hierro y manganeso y pueden ser movilizados por procesos dependientes del potencial redox presente en el medio. El fósforo autogénico se caracteriza por ser propio de la zona en estudio, es decir, no proviene de ningún tipo de fuentes externas. El fósforo detrítico se encuentra asociado a los carbonatos y, finalmente, el fósforo orgánico es el aportado por la materia orgánica en la zona de estudio.

Existen diversas modificaciones al método SEDEX (Berner y Rao (1994), Anderson y Delaney (1995), Schenau y De Lange (2000)) propuesto inicialmente por Ruttenberg (1992) que intentan hacer más efectiva la extracción selectiva de las fracciones de fósforo en los sedimentos marinos. Fanget *al.* (2007) proponen modificaciones, al método de extracción con disolventes selectivos establecidos por Berner y Rao (1994), para determinar las diferentes fracciones de P en sedimentos marinos con el propósito de hacerla más efectiva y sencilla. Este método se diferencia del método SEDEX ya que combina los pasos 1 y 2, fósforo biogeoquímicamente disponible, estima por diferencia, entre el  $P_{\text{Inorgánico}}$  y la suma de ( $P_{\text{asociado a óxidos}} + P_{\text{asociado a carbonatos de calcio}}$ ), el fósforo apatita detrítico  $P_{\text{Detr.}}$ . El  $P_{\text{orgánico}}$  corresponde a la diferencia entre el PT y el  $P_{\text{Inorgánico}}$ .

Entre los estudios realizados en otras zonas, pueden señalarse los de Sedex (2000) quien realizó un análisis de las extracciones secuenciales de los sedimentos de fondos en el Pacífico del este, California. Indica el autor que el bajo contenido de fósforo adsorbido y asociados a óxidos en la zona estudiada, está vinculado a la influencia de las corrientes y la surgencia de las aguas, las cuales modifican la textura del sedimento, Carman *et al.* (2000) evaluaron la distribución de los compuestos orgánicos e inorgánicos del fósforo en sedimentos del sistema lagunar costero de Huizache-Caimanero, Sinaloa, México. Helal (1990) estudió las partículas de fósforo en los sedimentos superficiales en el escurrimiento y desagüe de las tierras arcillosas provenientes de Argentina. Hieltjes y Lijklema (1980) evaluaron la deposición sedimentaria y reflujos de fósforo y su acoplamiento con las concentraciones del P en la columna de agua en la Cubeta de Gotland Oriental

.Así como el estudio de las distintas fracciones del fósforo es uno de los tópicos de gran interés dentro de la oceanografía, existen otros parámetros de gran importancia como lo son el nitrógeno y la materia orgánica los cuales se encuentran relacionados entre sí, ya que en sedimentos de tipo muy finos (arcillas y limos) se suelen encontrar grandes cantidades de materia orgánica y, por ende, concentraciones elevadas de nitrógeno los cuales juegan un papel determinante en la evolución de los ecosistemas, permitiendo dilucidar los procesos metabólicos que controlan los cambios diagenéticos y los mecanismos biogeoquímicos de degradación de la materia orgánica (Bonilla y Lin, 1979).

En la actualidad no se conocen registros o estudios científicos sobre la calidad de los sedimentos en el área de estudio ubicadas (12 zonas) entre el Mar Caribe, por lo tanto, la presente investigación generará información de línea base para establecer sus condiciones geoquímicas para investigaciones futuras. En esta investigación se planteó como objetivo general evaluar la distribución y comportamiento de la materia orgánica, nitrógeno, así como el fraccionamiento geoquímico del fósforo en los sedimentos superficiales del Mar Caribe, cuantificando el contenido de materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total en dichos sedimentos. Para ello se contó con el apoyo de las instalaciones del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

## METODOLOGÍA

### Área de estudio

El Mar Caribe es un martropical del océano Atlántico, situado al este de América Central y al norte de América del Sur, cubriendo la superficie de la Placa del Caribe. También, es llamado mar de Las Antillas por estar ubicado al sur y al oeste del arco antillano. Limita al norte con las llamadas Antillas Mayores: Cuba, La Española (Haití y República Dominicana) y Puerto Rico, ubicadas al Sur del Trópico de Cáncer. Al este con las Antillas Menores (meridiano 60° este), al sur con la República Bolivariana de Venezuela, Colombia y Panamá (paralelo 9° norte), y al oeste con México, Belice y Guatemala (meridiano 88° oeste), Honduras, Nicaragua y Costa Rica (meridiano 84° oeste). El mar Caribe es uno de los mares salados más grandes del mundo y tiene un área de unos 2763800 km<sup>2</sup> . El punto más profundo del mar es la fosa de la isla Caimán, ubicado entre Cuba y Jamaica a 7686 m bajo el nivel del mar.

El país con mayor extensión tanto costera como de aguas territoriales en el Caribe es Venezuela con 2830 km de costas que abarcan de este a oeste, pasando por islas y archipiélagos. La línea costera del Caribe tiene muchos golfos y bahías: el Golfo de Venezuela, el del Morrosquillo, el de Darién, el de los Mosquitos y el de Honduras. La expresión "el Caribe" es el nombre genérico con el que se conoce a la misma zona aquí descrita, incluido el mar Caribe y los territorios continentales e islas mencionados. El mar Caribe se comunica con el océano Pacífico a través del canal de Panamá (Cano y Valderrama, 1996). El área de estudio se ubica en el Mar Caribe (Figura 1), específicamente en doce estaciones que formaron parte del recorrido que realizó el buque oceanográfico Meteor II (M78/1); el primer trimestre del año 2009. Abarca una zona de Centroamérica (Banco de Campeche) y otra de Suramérica (Isla Blanquilla, San George, Trinidad, Boca Grande del Orinoco y Plataforma Deltana).



## Recolección y Almacenamiento de los Sedimentos

Las muestras de sedimentos superficiales fueron recolectadas por personal especializado en el primer trimestre del año 2009, en 12 estaciones ubicadas en el mar caribe (Tabla1), usando un muestreador tipo Box Core (Figura 2), a bordo del Buque Oceanográfico METEOR II, el cual es administrado por el Instituto Leibniz de Ciencias Marinas de la Universidad de Kiel. Cada muestra se almacenó en bolsas de polietileno previamente rotuladas y refrigeradas a  $-20^{\circ}\text{C}$ , hasta el momento de su procesamiento y análisis en los laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Para el tratamiento y análisis, las muestras de sedimentos se descongelaron y se separaron en dos porciones, de las cuales, una se secó en la estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  y se pulverizó finamente en un mortero de porcelana, almacenándose en envases limpios y posteriormente se llevaron las respectivas determinaciones analíticas. La otra porción se secó a temperatura ambiente y fue utilizada para el análisis textural.

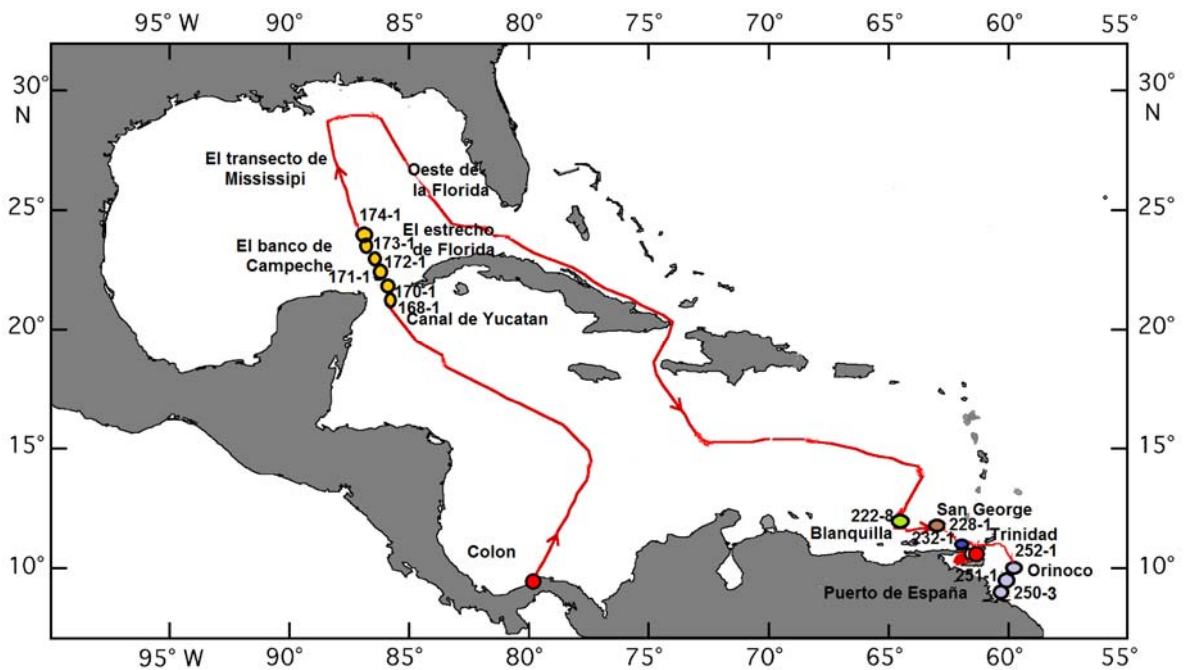


Figura 1. Recorrido del Buque Oceanográfico METEOR II (M78/1). los puntos indican el número de estaciones de las áreas trabajadas.

TABLA 1. Ubicación longitudinal y latitudinal de los muestreos realizados en el Mar Caribe (zona Centroamérica y Suramérica) para el presente estudio.

N°	Estación	Localidad	Longitud	Latitud
1	168-1	Banco de Campeche	86° 37' 32''	21° 41' 28''
2	170-1	Banco de Campeche	86° 27' 87''	21° 42' 55''
3	171-1	Banco de Campeche	86° 26' 98''	21° 42' 67''
4	172-1	Banco de Campeche	86° 26' 48''	21° 42' 75''
5	173-1	Banco de Campeche	86° 21' 72''	21° 43' 54''
6	174-1	Banco de Campeche	86° 16' 69''	21° 43' 94''
7	222-8	Isla Blanquilla	64° 28' 22''	12° 01' 42''
8	228-1	San George	62° 39' 52''	11° 37' 78''
9	232-1	Trinidad	61° 31' 49''	10° 59' 00''
10	250-3	Boca Grande del Orinoco	60° 13' 95''	8° 57' 37''
11	251-1	Plataforma Deltana	60° 02' 97''	9° 22' 00''
12	252-1	Plataforma Deltana	60° 04' 01''	9° 42' 99''

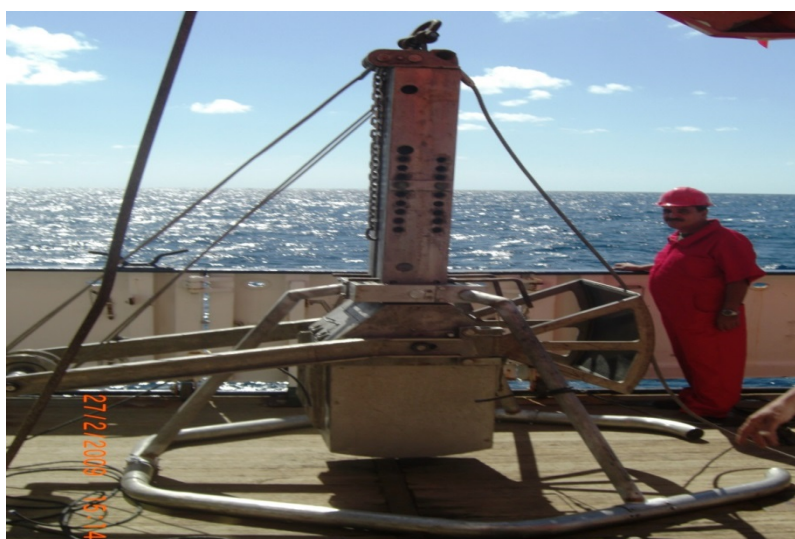


Figura 2. Muestreador tipo Box Core para el muestreo de sedimentos superficiales.

### **Análisis textural de los sedimentos**

Para determinar las diferentes fracciones de los sedimentos (arena, limo y arcilla) se utilizó el método del densímetro (Primo y Carrasco, 1973), el cual consistió en medir la densidad de una suspensión a través del tiempo de sedimentación, usando un densímetro Bouyoucos con escala desde -5 hasta 60 g/l. Una muestra de 50g de sedimento seco, previamente tamizado en una malla de orificio de 2 mm de diámetro, se homogenizó durante 5 minutos con 10 ml de solución dispersante de calgón y 300 ml de agua destilada. La solución se vertió en un cilindro graduado de 1000 ml arrastrando toda partícula del sedimento hasta completar un litro de solución con agua destilada. Luego, se agitó vigorosamente durante un minuto a fin de homogeneizar el contenido y a los 40 segundos del cese de la agitación, se tomó la primera lectura del densímetro y la temperatura de suspensión. Al cabo de dos horas se volvió a tomar la densidad y la temperatura de suspensión.

Los porcentajes de arcilla, limo y arena se calcularon de las lecturas del densímetro, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$X = \frac{c + (T - 20) \cdot 0,36}{m} \cdot 100$$

$$Y = \frac{c' + (T' - 20) \cdot 0,36}{m} \cdot 100$$

Dónde:

x = porcentaje de limo + arcilla

y = porcentaje de arcilla

(x - y) = porcentaje de limo

(100 - x) = porcentaje de arena

0,36 = factor de corrección por grado de diferencia de temperatura

Luego, a cada una de las muestras se le determinó la textura mediante el triángulo de Shepard, nomenclatura ampliamente usada en la actualidad (Sheppard, 1954; Fermín, 2002; López, 2002).

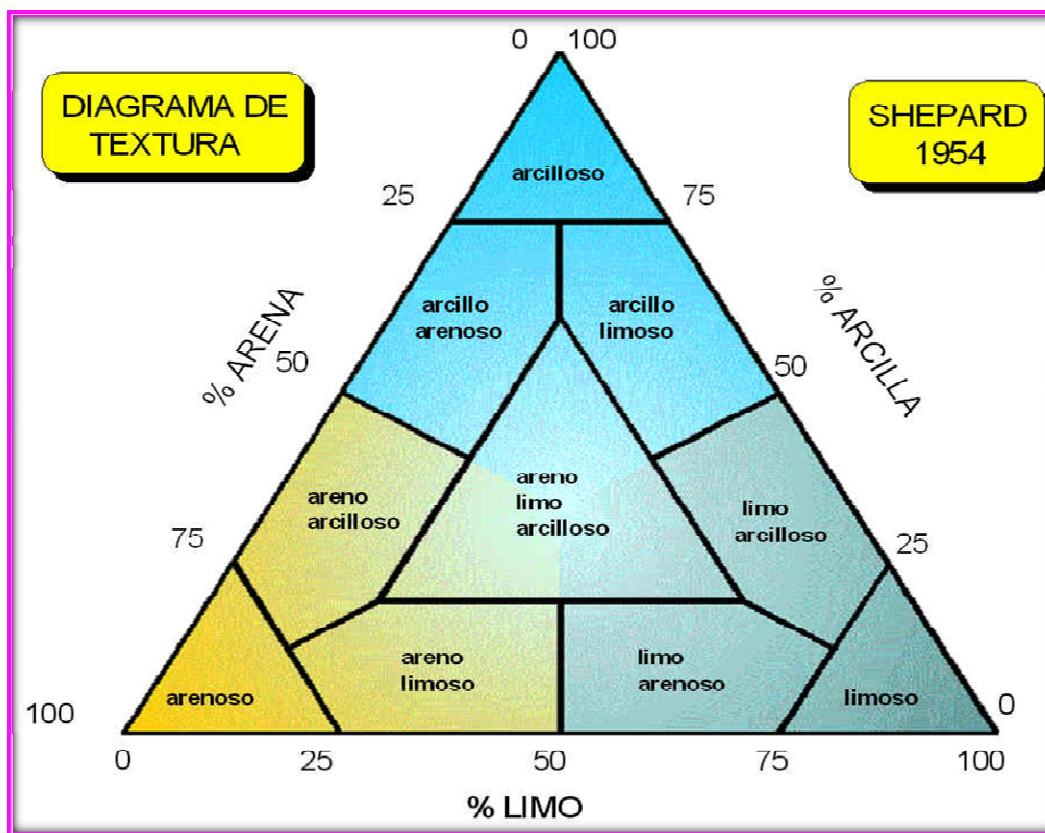


Figura 3. Triángulo de Shepard para la clasificación textural de los sedimentos marinos.

### **Pérdida a 450°C en los sedimentos**

Se determinó a través de la calcinación de las muestras en una mufla a 450°C, obteniéndose una fracción libre de materia orgánica. Se colocaron 2 g de sedimento seco en crisoles de porcelana previamente pesados y tarados; luego, dichos crisoles se introdujeron en una mufla a 450°C por períodos de 12 horas hasta la obtención de masa constante. Una vez calcinada la muestra, se dejaron enfriar en un desecador, y por último, se pesaron para estimar, por diferencia de masa, el contenido de materia orgánica total.

### **Determinación del carbono orgánico total.**

El carbono orgánico fue realizado por el método de combustión húmeda (Walkley y Black, 1934) y con diferentes adaptaciones y modificaciones (Okuda, 1964; Miyazawa *et al.*, 2000; Schumacher, 2002). La última modificación del método se fundamenta en la medición espectrofotométrica del color verde de los iones del  $\text{Cr}^{3+}$ , formados por la oxidación del carbono orgánico a  $\text{CO}_2$ .

Para su aplicación se pesaron 0,050 g aproximadamente de sedimento y se le añadieron 10 ml de solución de agente oxidante (ácido sulfocrómico  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ), se calentó hasta ebullición por 2 minutos; se dejó enfriar y luego se centrifugó. El extracto se diluyó a 25 ml con agua desionizada y se leyó la absorbancia a 590 nm, con celdas de 1 cm de trayecto óptico, en un espectrofotómetro GENESYS 8. Paralelamente, se preparó una curva de calibración de carbono a partir de biftalato de potasio y se le hizo un procedimiento similar al anteriormente descrito. Los valores para la curva de calibración se ubican en un rango de valores con un mínimo de 0,5 hasta un máximo de 20,0 mg de equivalente de carbono orgánico respectivamente.

### **Determinación del contenido de carbonatos.**

Se obtuvieron por titulación con solución de NaOH estandarizado (Vogel, 1989). Para ello, se pesaron 0,150 g de sedimentos previamente calcinados, se añadieron 12,5 ml de solución de HCl  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Se agitó durante 6 horas en un agitador mecánico y se separó el extracto mediante centrifugación, para eliminar restos de sedimentos y turbidez. Finalmente, los extractos fueron titulados con solución de NaOH  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  previamente valorado con ácido oxálico. Para determinar el punto final se utilizó fenolftaleína como indicador. Se verificó la eficiencia del método, titulando paralelamente cantidades similares de  $\text{CaCO}_3$  de calidad analítica de pureza 99,9%.

### **Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.**

El fósforo total y fraccionado se determinó por el método de Sedex (Ruttemberg, 1992; Anderson y Delaney, 2000) con algunas adaptaciones de Berner y Rao (1994). Estas modificaciones permitieron extraer las diferentes fracciones de P en sedimentos marinos

de una forma más sencilla y efectiva. A continuación se presentan detalles de las extracciones:

#### **Fósforo total (FT).**

El fósforo total se determinó mediante calcinación de las muestras. Cierta cantidad de sedimento (200 mg aproximadamente) se colocó en crisoles de porcelana y colocado en la mufla a 550°C durante 12 horas. Transcurrido este tiempo, el fósforo se extrajo del residuo con una disolución de ácido clorhídrico 1 mol·l<sup>-1</sup>, bajo agitación mecánica por 24 horas. Se eliminó el residuo por filtración, utilizando papel filtro Whatman 42, y el filtrado fue colocado en un balón aforado de 50 ml llevándose hasta el aforo con agua desionizada.

#### **Fósforo total inorgánico (FTinorg) y fósforo orgánico (F4)**

El fósforo inorgánico se determinó de la misma forma que P<sub>T</sub>, pero sin el paso de la calcinación. A 200 mg de sedimento se le añadió 20 ml de HCl 1 mol·l<sup>-1</sup>, luego las muestras fueron mantenidas con agitación constante por 24 horas, se filtraron y el líquido se llevó hasta 50 ml con agua desionizada. Esta fracción se le denominó fósforo total inorgánico. La fracción de fósforo orgánico (F4) fue indirectamente obtenida de la diferencia entre el fósforo total (PT) y el fósforo total inorgánico (PTinorg) (Aspilaet al., 1976).

#### **Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (F1)**

Esta fracción representa el fósforo fácilmente intercambiable más el P enlazado a óxidos e hidróxidos de hierro, en adelante a esta fracción se denominará P<sub>ABAS</sub>. A una porción de sedimento seco (1 g aproximadamente) se le añadió 30 ml de una mezcla, conformada por soluciones de C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub> 0,3 mol·l<sup>-1</sup>; NaHCO<sub>3</sub> 1 mol·l<sup>-1</sup> y Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0,06 mol·l<sup>-1</sup>, a pH 7,6; y posteriormente se colocaron en un baño de agua a 85°C por 30 min. Luego se mantuvieron bajo agitación durante 24 horas a temperatura ambiente, se filtraron y el residuo se lavó 4 o 5 veces con pequeñas porciones de agua desionizada (milli-Q) para remover todo el fósforo. Las aguas del lavado fueron mezcladas con el filtrado, en un balón aforado de 50 ml, y llevadas hasta el aforo con agua desionizada.

### **Fósforo autogénico (F2)**

A una porción de sedimento seco (1 g aproximadamente) se le añadió 30 ml de una solución amortiguadora de ácido acético/acetato de sodio (1M CH<sub>3</sub>COONa a pH 4 con ácido acético). Luego las muestras fueron mantenidas bajo agitación constante por 24 horas, se filtraron y el líquido se llevó hasta 50 ml con agua desionizada.

### **Fósforo Detrítico (F3)**

Esta fracción se determinó por diferencia es decir que:

$$F3=FT_{inorg} - (F1 - F2)$$

### **Nitrógeno total (N<sub>T</sub>) y fósforo total (P<sub>T</sub>)**

Las determinaciones de N<sub>T</sub> y P<sub>T</sub> se realizaron por el método de Valderrama (1981). El método consistió en la oxidación simultánea de las especies reducidas de nitrógeno y de fósforo en los sedimentos con peroxidisulfato de potasio. Para la oxidación de compuestos nitrogenados se utilizó un medio alcalino, mientras que la oxidación de los compuestos de fósforo se realizó en medio ácido. En la oxidación simultánea, la reacción se inició a pH 9,7 y finalizó a pH 5-6. Estas condiciones se obtuvieron utilizando el sistema ácido bórico-hidróxido de sodio. Se colocaron aproximadamente 50 mg de sedimento seco en botellas de vidrio de 250 ml de capacidad, 100 ml de agua desionizada y 6 ml de agente oxidante (60 g de peroxidisulfato de potasio, 40 g de ácido bórico disueltos en 300 ml de hidróxido de sodio 1 mol.l<sup>-1</sup>, y enrasado a un litro con agua desionizada). Se sellaron herméticamente y luego se procedió a la digestión en autoclave durante 30 min a 15 psi (Valderrama, 1981).

La cuantificación de fósforo en cada una de los extractos de las muestras se realizó por colorimetría utilizando la técnica azul molibdofosfórico-ácido ascórbico desarrollada por Murphy y Riley (1962); el cual genera un complejo de color azul con el fósforo. Las concentraciones de fósforo se determinaron de forma automatizada utilizando un espectrofotómetro Genesys 8 marca Scientific Instruments, AC-100 a una longitud de onda de 885nm.

### **Reproducibilidad de los métodos utilizados**

La confiabilidad de los métodos fue chequeada usando tres (3) muestras de los sedimentos en estudio (estaciones 1,7 y 12). Cada muestra fue analizada por triplicado, determinándose la desviación estándar de las medidas para cada muestra.

### **Análisis Estadísticos**

Se utilizó el programa Microsoft office Excel 2007 para los cálculos de las concentraciones, diseño de Tablas y gráficos de barra para los parámetros geoquímicos evaluados en el mar Caribe. Se aplicó análisis de componentes principales mediante el empleo del paquete estadístico XLSTAT Versión 7,5 pro para elaborar la matriz de correlación de Pearson. Para la determinación de la textura de los sedimentos mediante el triangulo de Shepard, se utilizó el programa TRIDRAW 4.5.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Textura de los sedimentos

El análisis textural se realizó para conocer las distribuciones de tamaños de granos que existen en los sedimentos del Mar Caribe. Este estudio genera información importante acerca de las propiedades geoquímicas de los sedimentos, tales como la adsorción y acumulación de materia orgánica y metales pesados, así como la capacidad de absorción y retención del agua por las partículas de arena, limo y arcilla.

Se encontró que la mayoría de las muestras eran de origen arenoso, seguida por estaciones con considerable porcentaje de arcilla y algunos con moderadas proporciones de limo (Figura 4). Las primeras 6 estaciones pertenecen a la zona centroamericana del Caribe-Golfo de México, específicamente en el Banco de Campeche, donde el sedimento presentó textura areno-arcillosa y areno-limosa, siendo más predominante las arenas, representando: un máximo de 87,00% (Est. 2), y un valor mínimo de 8,20% en Isla Blanquilla (Est. 7) con un promedio de 51,60%. Los valores arrojados para las arcillas fueron: entre un máximo y un mínimo de 64,30% (Est. 8, en San George) y 12,44 % (Est. 2, Banco de Campeche), respectivamente, con un promedio de 28,58%, mientras los limos presentaron valores máximo y mínimo entre 53,37% (Est. 7, Isla Blanquilla) y 0,56 % (Est. 2), respectivamente, con un promedio de 19,82%. La cantidad de arena en los sedimentos indica que en la zona de Banco de Campeche las corrientes marinas son fuertes y por ende es una zona donde prevalece altas energías las cuales arrastran los sedimentos de tipo más finos y permite la sedimentación de los granos más gruesos como la arena; por otro lado, las sub-siguientes 6 estaciones (7 a la 12) zona suramericana, presentaron mayores porcentajes de granos finos. Las estaciones que contienen mayores proporciones de limos y arcillas son hidrodinámicamente más estables y con menor energía, por el contrario, en las estaciones con mayores proporciones de arena se sugiere una mayor intensidad en la circulación del agua (Valdés y Sifeddine ,2009).

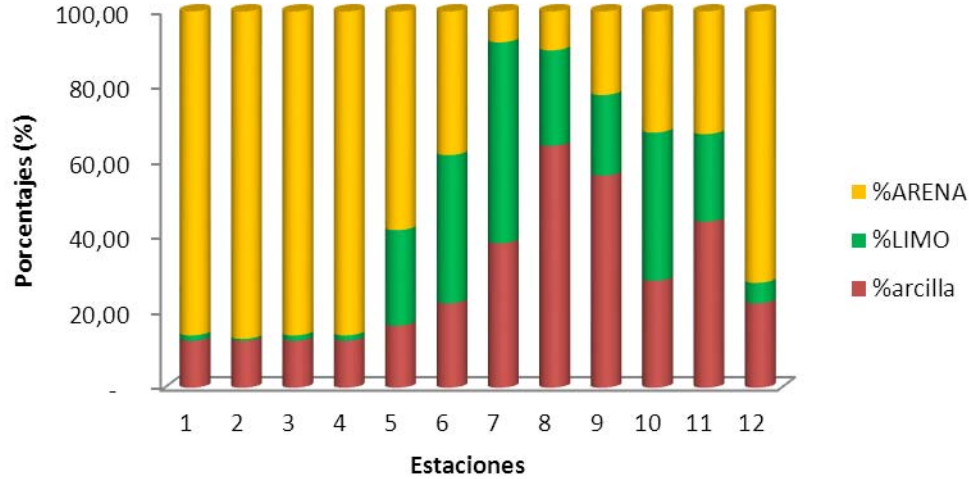


Figura 4. Distribución y Composición textural de los sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche, Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

En la zona Sur del Caribe, específicamente en Isla Blanquilla (Est.7) y San George (Est.8), se presentó una mayor proporción de limo y arcilla respectivamente, posiblemente son zonas de aguas más tranquilas o de menor energía que permite una mayor deposición de las partículas finas.

De acuerdo al Triangulo de Sheppard (1954), la Figura 5 muestra la clasificación textural de los sedimentos evaluados en el mar Caribe. La textura areno-arcillosa son mezclas de sedimentos en las que predominan la arena con arcilla en menor porcentaje. Esta clase textural se encontró en la mayoría de las estaciones(desde la Est. 1 a la 5) (Tabla A1) ubicadas en el banco de Campeche en la península de Yucatán, en la entrada al golfo de México, y en la estacion 12, ubicada frente al delta del río Orinoco, en Suramérica. La segunda textura predominante fue arcilla-limosa, que son mezclas de sedimentos con grandes cantidades de arcilla y limo en menor proporción, esta clase de textura se encontró en la Est. 8 ubicada en San George (Cuenca de Granada), mientras que las estaciones 9 y 11( presentaron textura, arcilla-arenosa, ubicadas según el orden en,Trinidad y Plataforma Deltana), la Est.7( Isla Blanquilla) se caracteriza con textura

limo-arcillosa y las estaciones 6 y 10 (banco de Campeche y Boca Grande Orinoco respectivamente) presentaron textura limo-arenosa. Cabe mencionar que la diversidad del tipo de textura en las muestras va de acuerdo a las características de cada estación estudiada en esta investigación.

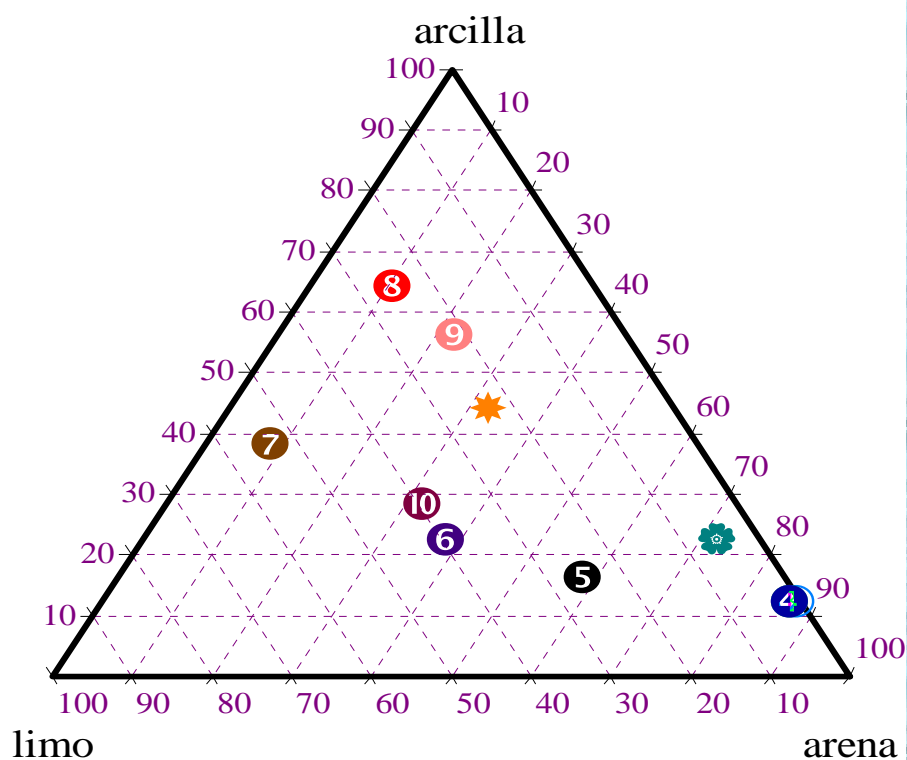


Figura 5. Clasificación textural, según el triángulo de Sheppard de los sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

### Pérdida a 450°C de los sedimentos

La distribución y contenido de materia orgánica en los sedimentos dependen tanto del origen, la textura, la tasa de sedimentación y descomposición orgánica presente en la fracción sedimentaria de los diferentes ecosistemas y también de las condiciones hidrográficas, hidroquímicas y biogeoquímicas del ambiente sedimentario (Han *et al.*, 2006). El contenido orgánico en los sedimentos está estrechamente relacionado con la composición granulométrica, siendo los sedimentos de mayor proporción de limo y arcilla los que retienen mayor cantidad de residuos orgánicos.

La cantidad de materia orgánica encontrada en los sedimentos de las áreas de estudio varió entre 2,01% (Centroamérica) y 15,10% (Suramérica) (figura 6), determinándose los valores más elevados en las estaciones 7 (Isla Blanquilla) y 8 (San George) con valores superiores a 14,75%. Seguidamente, los valores altos, se hallaron en las estaciones 9 (Trinidad) y 11 (Plataforma Deltana), con un valor máximo de 10,30%. Las estaciones 6 (Banco de Campeche) y 12 (Plataforma Deltana) presentaron valores inferiores a 5,42%. El resto de la zona bajo estudio obtuvo valores superiores a 2,01%, pero no mayor a 4,5%.

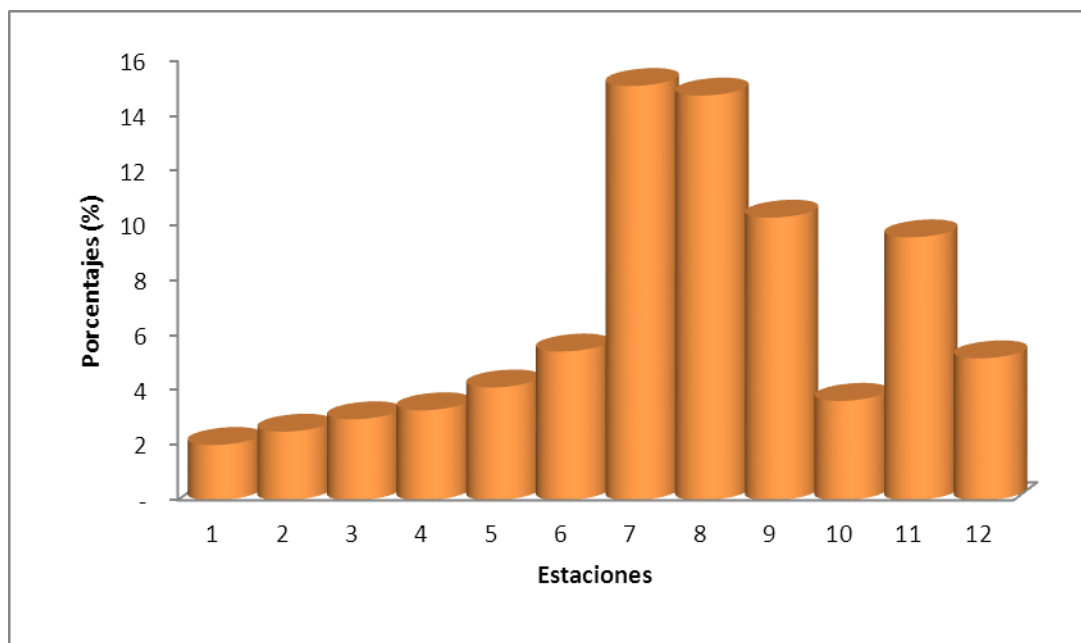


Figura 6. Distribución Porcentual de Perdida a 450°C (%) de sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

De acuerdo a la figura 6 los menores porcentajes de material volátil a 450°C coinciden en las zonas donde se encontraron altas proporciones de arena. Esto puede deberse a que en estas estaciones (1 a la 6, 10 y 12), las corrientes marinas son fuertes y evitan la deposición de materia orgánica. Por otro lado, se presenta una mayor difusión del oxígeno disuelto oxidando rápidamente la materia orgánica que pudiera depositarse en el fondo (Astorga y Silva, 2005). Los altos valores de materia orgánica se encontraron en

los sedimentos con mayor proporción de limo y arcilla (Tabla A1). Los procesos en estas regiones son contrarios a los expuestos anteriormente.

De acuerdo a la figura 6, las estaciones 7 y 8 (Isla Blanquilla y San George) poseen altas proporciones de limos y arcilla, al igual que en las estaciones 9 y 11 (Trinidad y Plataforma Deltana) quienes presentaron valores elevados de materia orgánica; Este aumento de la materia orgánica puede ser aportada principalmente por algas o del material particulado producto de excreción del plancton y de niveles tróficos superiores, como peces y aves, que, una vez degradada, sedimenta desde la columna de agua (Salazar *et al.*, 2003).

A su vez los altos valores de materia orgánica obtenidos pueden ser debido a que en estas zonas por no poseer un aporte antrópico directo, la entrada de material orgánico a los sedimentos es debido principalmente a procesos naturales que ocurren durante el período de surgencia (Hernández *et al.*, 2008) y a los aportes provenientes de las descargas de los ríos Orinoco y Amazonas a través de la corriente de Guyana.

Si observamos la Tabla A2 (apéndices), las estaciones 7 y 8 presentan sedimentos con contenido de materia orgánica elevados, las estaciones 9 y 11 como sedimentos de alto contenido de materia orgánica y el resto de las estaciones como sedimentos con bajos contenidos de materia orgánica, característico de sedimentos arenosos de ambientes hidrodinámicamente abiertos (Gómez *et al.*, 2006), a excepción de las estaciones 6 y 10 que poseen textura limo arenosa con porcentajes bajos de materia orgánica, y de acuerdo a investigaciones realizada, no es lo esperado por presentar textura fina, esto puede deberse a que en estas zonas hayan un menor flujo de corriente pero con una actividad bioquímica significativamente baja, que pudiera generar una mayor cantidad de materia orgánica en el sedimento. Estos valores son superiores a lo reportado por Salazar, (1989) en la Cuenca del río Orinoco, el cual obtuvo un porcentaje de materia orgánica que va desde 0,39 a 1,80%. Por otra parte, Hedges (1992), indica que el 80% de la materia orgánica en zonas costeras y deltaicas esta preservada en los sedimentos limosos y arcillosos, indicando que es fácilmente adsorbida en el material fino de origen terrestre.

De igual manera, Pérez *et al.* (2000) encontró un 80% de materia orgánica en la parte norte de Laguna Escondida, México-Veracruz, en sedimentos de partículas finas de limo y un 10-15% asociadas con las arenas, encontrándose ausencia de materia orgánica. De manera similar, García (2006) obtuvo un mayor porcentaje de materia orgánica en los sedimentos de la laguna de San Andrés Tamaulipas-México, el cual concuerda con una textura limosa. Todas estas investigaciones coinciden con los resultados obtenidos en esta investigación, donde el mayor porcentaje de materia orgánica se encuentra en los sedimentos de textura fina.

### Carbono orgánico

El carbono orgánico forma la mayor parte de la materia orgánica y es un parámetro indicador de la fertilidad de un ecosistema. Su contenido se encuentra en una relación directa de menor a mayor cantidad de acuerdo al tipo de grano que forma el sedimento. En los sedimentos de constitución limosa o arcillosa, pueden acumular las mayores concentraciones de carbono orgánico (Dássele *et al.*, 2004).

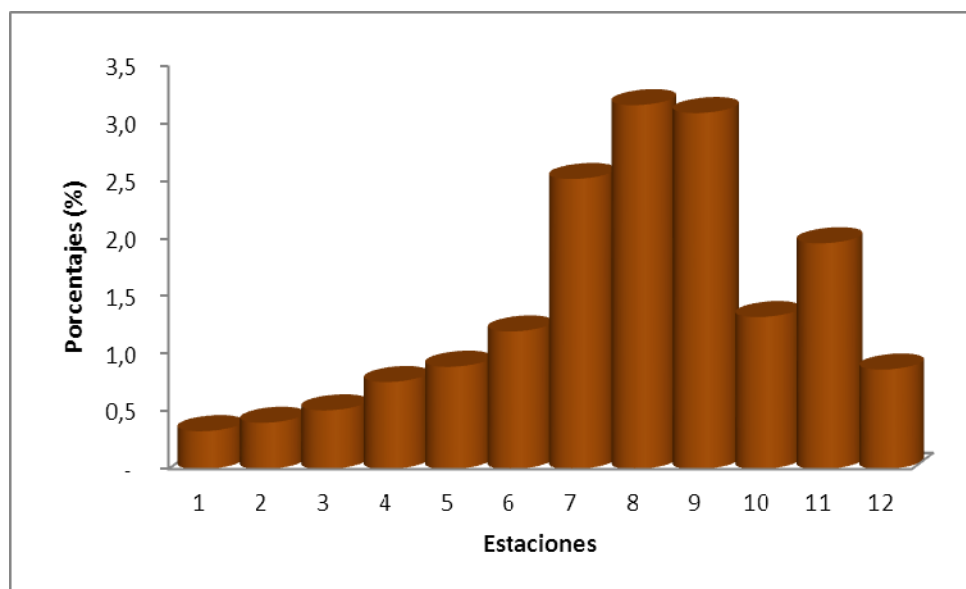


Figura 7. Distribución Porcentual de Carbono Orgánico (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

Las concentraciones de carbono orgánico oscilaron entre un mínimo de (0,33-0,89)% en las estaciones 1, 2, 3, 4, 5 (zona centroamericana del Caribe) y 12 (zona suramericana del Caribe), y un máximo de (1,20-3,16)% en las estaciones 7, 8, 9 y 11 (zona suramericana del Caribe), con un promedio de 1,42%, observe figura 7 y tabla A2, donde la mayor proporción se ubicó en áreas que poseen texturas de limos y arcillas, lo que favorece la retención de residuos orgánicos en estas zonas (Tabla A1).

Lo contrario ocurre donde se encontró concentraciones menores de CO, donde existen condiciones más oxidantes que no favorecen la preservación y acumulación del material orgánico. Si observamos la Tabla A1, se nota que en estas zonas se presentó una alta cantidad de sedimentos del tipo arena-arcillosa.

Estos resultados son mayores a los reportados por Calva *et al.* (2011) en los sedimentos de áreas de pastos marinos en dos ambientes costeros diferentes del golfo de México, el cual obtuvo un mayor contenido de carbono orgánico en los ambientes estuarinos de textura limo arcillosa (2,96%), mientras que en los arrecifales de textura arenosa encontró valores inferiores de carbono orgánico (1,14%). Por otra parte, Rodríguez *et al.* (2009) encontró un porcentaje mayor al 2% de carbono orgánico en la parte central más profunda de la bahía concepción, México, ocupada por sedimentos más finos, los cuales se asemejan a los obtenidos en esta investigación, encontrándose los mayores porcentajes de carbono orgánico en los sedimentos de partículas finas.

### **Determinación del contenido de carbonato de calcio**

El carbonato de calcio (calcita y aragonita) es el compuesto de calcio más abundante en la naturaleza. La calcita es la forma de carbonato de calcio más estable. La aragonita formada en el agua o en los sedimentos por actividad biológica es transformada gradualmente a calcita. La distribución de la calcita está controlada, tanto en los sedimentos como en el agua de mar, por la velocidad de formación del carbonato de calcio y su fijación en el agua, adhesión con otros compuestos no cálcicos, grado de saturación, cambios diagénicos y la vecindad de la capa béntica (Bonilla *et al.*, 2003). Los carbonatos llegan a los sedimentos marinos por acción de la meteorización de

las rocas carbónicas, y con ellos pueden arrastrar trazas de metales que estarían potencialmente disponibles, otra fuente de carbonatos en los sedimentos es la acumulación de carbonatos, proveniente de las conchas de muchos organismos que viven en ellos así como de los arrecifes coralinos.

En los sedimentos, el carbonato de calcio en la mayoría de los casos es precipitado por el plancton superficial, en formas de concha microscópicas. Una fracción significativa, pero mucho menor, también es depositada por protozoarios que viven por debajo de la capa fótica. Las conchas marinas constituyen una parte significativa de la cantidad total de sedimentos carbonatados. Así, donde la productividad biológica es mayor son más concentrados los depósitos de carbonatos sedimentarios (Loring y Asmund, 1995).

Los mayores contenidos de carbonato de calcio en las zonas de estudio (Tabla A2), se ubicaron en las estaciones 1 al 6 y 12 (ubicadas en el Banco Campeche) y (Plataforma Deltana) respectivamente. Estos resultados están relacionados con los altos porcentajes de arena, a excepción de la estación 6 que presentó textura limo-arenosa.

Los porcentajes altos de carbonato (Figura 8) variaron entre 23 y 95% en las estaciones antes mencionadas. Los valores más bajos de carbonato de calcio se ubicaron en las estaciones 7 al 10 y 11 (ubicadas en isla La Blanquilla, San George, Trinidad, Boca Grande del Orinoco y Plataforma Deltana), encontrándose valores inferiores a 35%.



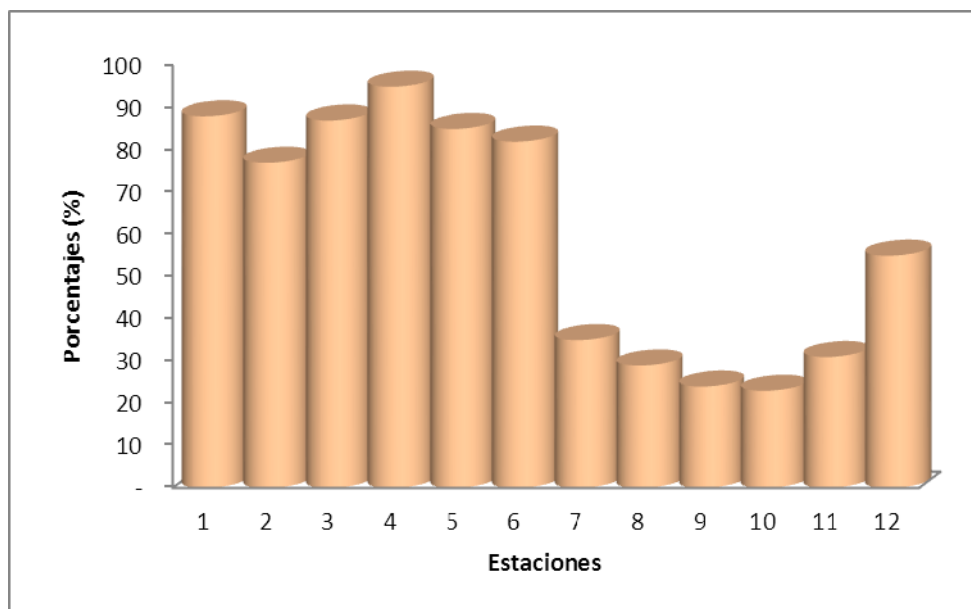


Figura 8. Distribución Porcentual de Equivalentes de carbonatos de calcio (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

El alto contenido de carbonatos en las estaciones con sedimentos de textura arenosa tiene su explicación en la abundancia de material calcáreo esquelético, lo que indica que hay actividad biológica en la zona. Estos altos valores de carbonato de calcio confirman que estos sedimentos son típicamente biogénicos calcáreos con una deposición de tendencia bioclástica, favorecida por la contribución biogénica y por la presencia de gran cantidad de organismos con conchas calcáreas y corales hermatípicos, responsables del aporte de este compuesto. La mayor concentración de materia orgánica está asociada a los sedimentos más finos, con mínima concentración de carbonato de calcio (Espinoza, 2001), tal como se obtuvo en el presente estudio a excepción de la estación 6 que a pesar de presentar un alto porcentaje de carbonato, es de textura limosa, con un contenido de materia orgánica de 5,42%.

El bajo contenido de carbonato puede estar relacionado con la presencia de un alto porcentaje de materia orgánica en los sedimentos. Las variaciones en el contenido de carbonato de calcio de los sedimentos marinos son, parcialmente, el resultado de la desintegración de fragmentos de corales y conchas marinas y de cambios temporales del

ambiente bajo el cual las conchas o esqueletos de organismos planctónicos fueron depositadas. La preservación del carbonato de calcio, en los sedimentos marinos, está altamente controlada por procesos termodinámicos y por la rapidez de transformación del carbonato de calcio (Libes, 2009).

Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Delgado (1997) el cual obtuvo un porcentaje alto de carbonatos con valores que oscilan entre 63-95% en la bahía de falucho, Trinidad, atribuyendo dicho resultado al producto de la desintegración de fragmentos de corales y restos de organismos calcáreos. Sin embargo, estos resultados son superiores a los reportado por Durga *et al.* (2009) quienes reportaron un promedio de 41% en los sedimentos de textura arenosa en la parte occidental somera de la bahía de Concepción-México.

#### **Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.**

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas terrestres y acuáticas. Está presente en los sistemas acuáticos como fosfatos orgánicos y ortofosfatos. El fósforo participa en una gran variedad de procesos químicos y biológicos en aguas naturales, así como en aguas residuales y potables (Casanova, 1991). Es parte de los productos de las excretas de los seres vivos y se encuentra contenido principalmente en fertilizantes, pesticidas y detergentes (Duursma y Dawson, 1981).

El fósforo procede de la disgregación y lavado de las rocas que lo contienen. A su vez, parte del fósforo que interviene en el ciclo orgánico queda inmovilizado en los sedimentos en parte como fosfato de calcio o como fosfato férrico. La importancia de los compuestos de fósforo reside en el papel muy relevante en casi todas las fases del metabolismo, particularmente en la transformación energética asociada con la fosforilación en la fotosíntesis. Se utiliza en la síntesis de nucleótidos, fosfátidos, fosfoglicéridos y otros productos fosforilados intermedios (Dyers, 1979; Attrill y Thomes, 1995).

El método fue chequeado utilizando tres muestras de sedimentos (observe Tabla 2. estaciones 1, 7 y 12), pertenecientes al Banco de Campeche, Isla La Blanquilla y

Plataforma Deltana. Las muestras fueron analizadas por triplicado, determinándose los máximos, mínimos, promedio y la desviación estándar para cada una de las fracciones obtenidas. Se observa una reproducibilidad y precisión muy significativa del método aplicado, como lo demuestran las bajas desviaciones estándar obtenidas para cada una de las fracciones en las diferentes muestras y tratamientos aplicados, que lo hace muy confiable para el fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos marinos.

Tabla 2. Reproducibilidad del método Sedex (Berner y Rao 1994), utilizado en el fraccionamiento de fósforo (mg/kg), en los sedimentos estudiados del Mar Caribe.

Replica (Est.1)	F1	F2	F3	F4	PT
1	-	51,90	103,89	62,38	218,17
2	-	51,33	101,79	60,89	215,39
3	-	52,01	102,97	61,09	216,07
Promedio	-	51,75	102,88	61,45	216,54
Máximo	-	52,01	103,89	62,38	218,17
Mínimo	-	51,33	101,79	60,89	215,39
DS	-	0,37	1,05	0,81	1,45

Replica(Est.7)	F1	F2	F3	F4	PT
1	-	44,14	2,11	270,45	316,70
2	-	45,09	0,56	272,63	318,27
3	-	44,28	1,5	271,57	317,35
Promedio	-	44,50	1,39	271,55	317,44
Máximo	-	45,09	2,11	272,63	318,27
Mínimo	-	44,14	0,56	270,45	316,70
DS	-	0,51	0,78	1,09	0,79

Replica(Est. 12)	F1	F2	F3	F4	PT
1	4,93	43,39	19,88	151,23	219,43
2	5,50	49,78	12,9	146,02	214,20
3	5,03	47,37	15,82	149,1	217,32
Promedio	5,15	46,85	16,2	148,78	216,98
Máximo	5,5	49,78	19,88	151,23	219,43
Mínimo	4,93	43,39	12,9	146,02	214,20
DS	0,30	3,23	3,51	2,62	2,63

DS: Desviación Estándar.

### Fósforo total (FT).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 8), la estación 10 fue donde se detectó la menor concentración de FT (ubicada en Boca Grande, al Suroeste del Delta del Orinoco) obteniéndose un valor de 145,09 mg/kg, y la concentración máxima en la estación 5 (ubicada en Banco de Campeche) obteniéndose un valor de 456,35 mg/kg, con un promedio de 240,24 mg/kg. Se presume que las concentraciones de FT determinadas en esta investigación, puede ser debido en gran parte a las condiciones geoquímicas del sedimento y las actividades biológicas que permiten adsorber o intercambiar el fósforo desde la columna de agua al sedimento y viceversa.

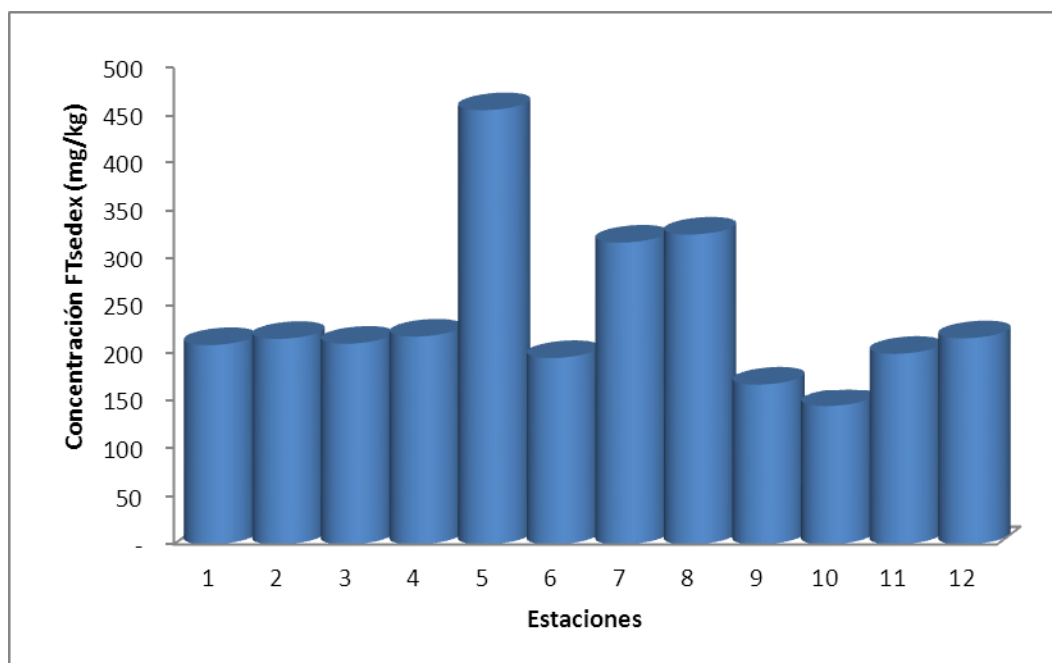


Figura 9. Distribución de fósforo total (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

En general, la zona de estudio arroja valores considerables de FT, que de acuerdo a la matriz de correlación de Pearson, indica dependencia con la fracción 4 (fósforo orgánico, siendo esta fracción la que predomina en el fraccionamiento del mismo.

Por otra parte, la Figura 9 que muestra el fraccionamiento geoquímico del FT certifica que el fósforo que más predomina es el fósforo orgánico (F4), que es el aportado por la materia orgánica como principal fuente de especies químicas fosfatadas presente en las estaciones de estudio; seguido en orden secuencial por el fósforo inorgánico (fósforo autogénico (F2) > fósforo detrítico (F3) > fosforo adsorbido más asociados a óxidos de hierro (F1))

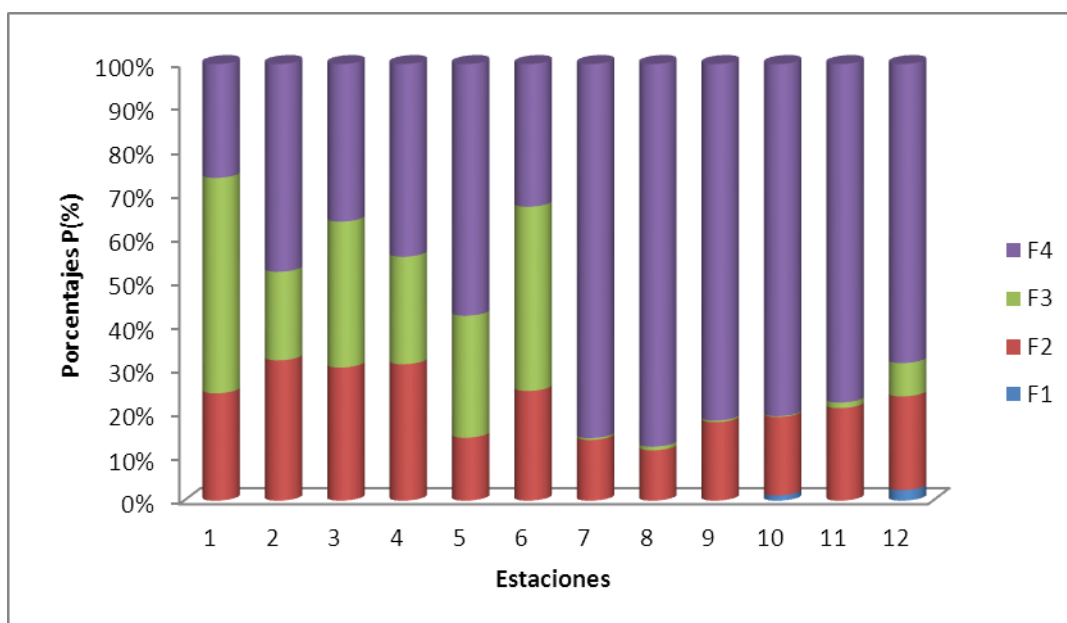


Figura 10. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total (%) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

Golterman (2001) determinó concentraciones de FT en los sedimentos provenientes del Golfo de Ancud (Chile); cuyos valores oscilaron entre 180 mg/kg y 240 mg/kg, el autor indica que estas concentraciones están asociadas a los aportes antropogénicos. López (2002) reportó concentraciones entre 70,63 mg/kg y 310,45 mg/kg, en sedimentos de la Laguna de Píritu, valores que están asociados a aportes antrópicos y la alta productividad biológica. González (2010) reportó valores que oscilaron entre 129,97 y 982,52 mg/kg, en la periferia de la cuenca de Cariaco, atribuyéndolo a la existencia de un gran aporte de materia orgánica en dicha zona. Guillot (2008), por su parte, reportó

valores comprendidos entre un mínimo de 70 mg/kg, un máximo de 220 mg/kg y un promedio de 145 mg/kg respectivamente para el Golfo de Paria y la Costa Atlántica Venezolana. López (2012) reportó valores de FT similares a los reportados en este estudio con un mínimo de 98,67 mg/kg y un máximo de 1025,57 mg/kg con un promedio de 638,71 mg/kg en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Indica el autor, que estas concentraciones son debidas a un gran aporte de materia orgánica fresca que contribuye como fuente principal de grandes cantidades de especies químicas fosfatadas.

Una manera muy sencilla de verificar los resultados de fósforo total obtenido por este medio, fue haciendo uso del método de Valderrama (1981), si observamos la figura 10 nos damos cuenta que se obtuvieron valores muy cercanos a los obtenidos por el método Sedex (Berner y Rao, 1994), concluyéndose que para realizar determinaciones de fósforo total ambos métodos son aceptables.

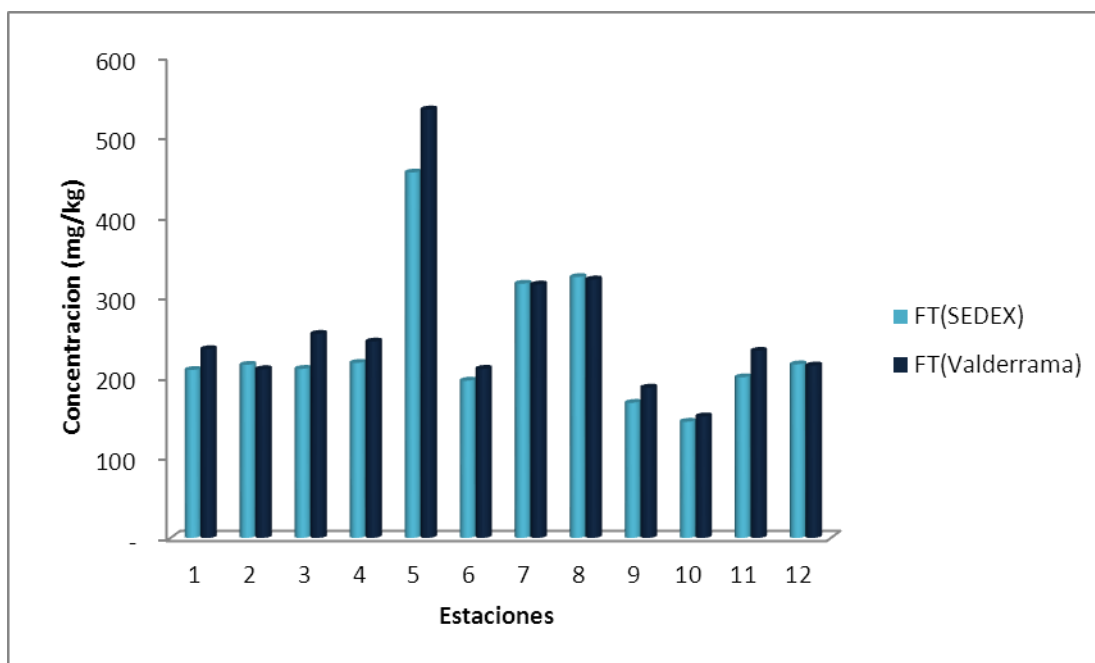


Figura 11. Distribución de fósforo total (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe, obtenidos por los métodos SEDEX y de Valderrama.

### Fósforo total inorgánico (FTinorg)

De acuerdo a la Figura 12 observamos que el mínimo de FTinorg se ubica en la estación 10 (Boca Grande Orinoco, Fachada Atlántica Venezolana) con una concentración de 28,19 mg/kg, mientras que el valor máximo de 193,78 mg/kg corresponde a la estación 5 (Banco de Campeche, parte Centroamérica), con un promedio de 92,61 mg/kg. Lo que se considera, según la figura 12, que en la zona de Centroamérica (banco de Campeche) hay mayor concentración del FTinorg que la zona suramericana del caribe.

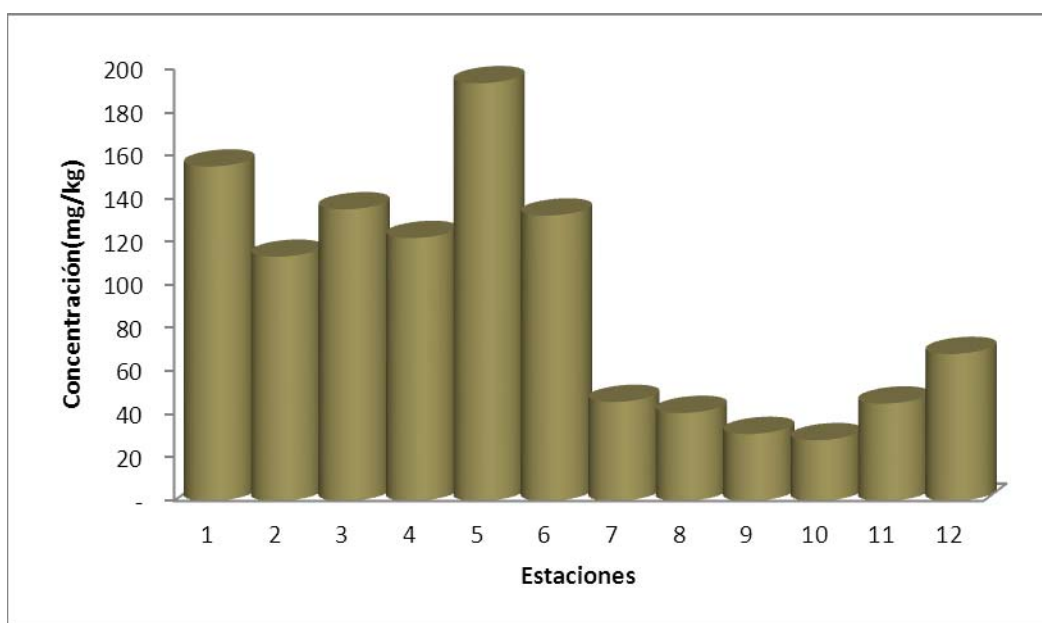


Figura 12. Distribución de fósforo total inorgánico (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

López (2012), quien usó la misma metodología reportó valores de fósforo total inorgánico entre un mínimo de 34,41 mg/kg y un máximo de 355,32 mg/kg, en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, indicando que estas proporciones se derivan de fuentes tanto naturales como antrópicas.

En la figura 13 se muestran las tres fracciones del FTinorg con el fin de destacar cual fue la fracción del mismo que se generó con mayor proporción en este estudio y observamos que el fósforo autogénico (F2), que es el que se encuentra asociado a carbonatos es el predominante en esta fracción, seguido por el fósforo detrítico (F3) y el adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (F1) que se encontró únicamente en las estaciones 10 ( Boca Grande del Orinoco) y 12 (Plataforma Deltana), respectivamente. Estas Fracciones serán discutidas a continuación.

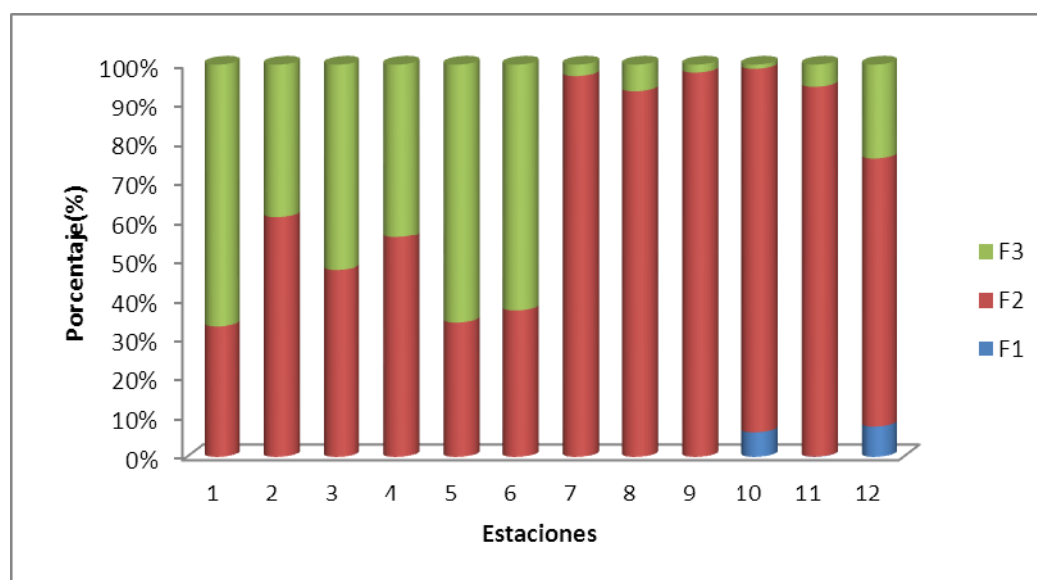


Figura 13. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total inorgánico (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe

### **Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (F1).**

El fósforo adsorbido es aquel que se encuentra unido débilmente a la matriz sedimentaria y, por lo general, su presencia en los sedimentos marinos se debe a fertilizantes fosfatados que son utilizados en la agricultura. El fósforo asociado a óxidos, como su nombre lo indica, es el que se encuentra ligado a los oxihidróxidos de hierro y manganeso y pueden ser movilizados por procesos dependientes del potencial redox presente en el medio.



La fracción de fósforo adsorbida, llamada también intercambiable o ligeramente unida al sedimento, es la fracción más lábil o disponible para cederse o intercambiarse desde el sedimento hacia la columna de agua. La fracción de fósforo asociada a óxidos, o asociada al hierro y al manganeso, se puede clasificar como una fracción lábil o disponible en el sedimento. Por lo general, en los sedimentos superficiales oxidados, el fósforo se encuentra ligado al hierro (III) en forma estable. Cuando las condiciones se tornan reductoras, el hierro (III) se transforma en hierro (II) y el fósforo ligado al mismo es liberado hacia la columna de agua (Ruttenberg, 1992).

En la figura 14 podemos apreciar que esta F1, no se encuentra en la mayoría de las estaciones de este estudio, y se puede considerar que estas zonas no son directamente afectadas por aportes antrópicos, ni se ven afectadas por descargas de cualquier otra fuente. Esto hace suponer que el fósforo en los sedimentos fue liberado rápidamente hacia la columna de agua o inmediatamente transformado en otros tipos de fósforo; sin embargo, observamos que en las estaciones 10 (Boca Grande del Orinoco) y 12 (Plataforma Deltana) hubo un pequeño aporte de la F1, probablemente por las características y ubicación de las zonas, ya que se encuentran más cercas de la desembocadura del río Orinoco. Por lo general, una alta proporción de fósforo asociado a los óxidos en el sedimento, está relacionado a las precipitaciones de compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran disueltas en el agua como producto del cambio de temperatura, pH, o simplemente por saturación de sales. Rubio *et al.* (1995) y Schenau *et al.* (2001) indican que el fósforo ligado a hierro y manganeso en los sedimentos de fondo marino se encuentra regulado por los cambios del pH del agua, el cual, en condiciones alcalinas, determina que el fósforo sea liberado hacia la columna de agua. Por otro lado Mckelvie (2005), indica que generalmente, los ecosistemas tienen propiedades homeostáticas, es decir, de autorregulación, que les permite asimilar el aumento de concentración de fósforo adsorbido, impidiendo alteraciones considerables.

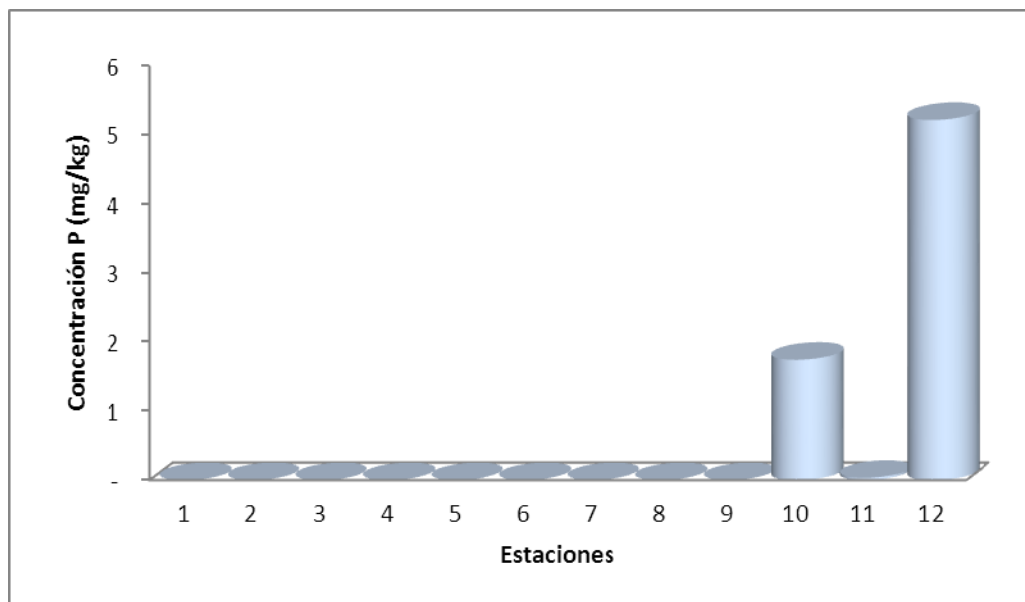


Figura 14. Distribución de fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos hierro (mg/kg) en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe

Güillot, (2008), reportó valores comprendidos entre 0,68 y 16,79 mg/kg de Fósforo adsorbido en los sedimentos superficiales de la Costa Atlántica Venezolana y Golfo de Paria, atribuyéndolos a las descargas del río Orinoco que aportan nutrientes a las aguas que luego son incorporados a los sedimentos. Sutula, *et al*, (2004), reportaron valores promedios de 108,5 y 37,2 mg/kg, para el bajo Mississippi y la Plataforma Continental del Golfo de México, respectivamente. Los autores señalan que las concentraciones elevadas de fósforo adsorbido son debidas a descargas terrígenas continentales de desechos y a los fenómenos de surgencia y hundimientos de aguas ricas en nutrientes, en este caso de fosfatos y a un posterior contacto e intercambio con la matriz sedimentaria. González, (2010) reportó valores de fósforo asociado a óxido con un mínimo de 1,24 hasta un máximo de 9,10 mg/kg, para sedimentos superficiales de la Periferia de la Cuenca de Cariaco, señalando en forma general que la mayoría del fósforo asociados a óxidos en el sedimento son generados por precipitaciones de ciertas sustancias, orgánicas o inorgánicas y que esto puede deberse a diversas circunstancias como el cambio de temperatura, pH, o simplemente por saturación.

## **Fósforo autogénico (F2)**

El fósforo autogénico (F2), se caracteriza por ser propio de la zona en estudio, es decir, no proviene de ningún tipo de fuente externa. Es la especie de fósforo formado por minerales del fósforo denominados hidroxiapatitabiogénica, clorofluoroápatita, y fósforo ligado al carbonato o carbonatoapatita. Comúnmente esta fracción se le conoce también como fósforo unido al calcio o P-Ca. Se le clasifica como refractaria debido a que solo bajo condiciones extremas de pH puede liberar P hacia la columna de agua, situación que difícilmente se puede dar en el lecho marino por causas naturales. Es importante entender los pasos que ocurren en precipitación o liberación del P en sedimentos. Este proceso se puede establecer en cinco pasos principales: El primer paso es la entrada de los sedimentos al medio marino; el segundo es el establecimiento de la relación liberación/precipitación. Generalmente, el P es precipitado en una mayor proporción a la cual es liberado a la columna de agua; en el tercer paso, ha de considerarse las propiedades de los gránulos de sedimentos (composición, tamaño o talla y área de superficie activa de ellos). En un cuarto paso, en cuanto tiempo los sedimentos son removidos a través de fuerzas de tipo física o biológica. Finalmente un quinto paso, la diagénesis, un paso de un estado más lábil a uno más refractario (Ruttemberg y Berner, 1993; Vink et al. 1997). Se entiende la diagénesis como un proceso de formación de una roca sedimentaria a partir de sedimentos sueltos que sufren un proceso de compactación y cementación. Golterman (2001) señala que la diagénesis puede estar asociada con procesos fisicoquímicos que tienen lugar dentro del sedimento, después de su depositación y antes de su metamorfosis como producto del paso del tiempo, pudiendo precipitar el fósforo debido a la actividad primaria en la región, posiblemente fosforita.

En el presente estudio, la fracción de fósforo autogénico (F2) es la segunda más abundante y su comportamiento se presenta en la Figura 15. Notamos que el valor mínimo de 26,15 mg/kg se ubicó en la estación 10 (Boca Grande de Orinoco) y el máximo de 69,33 mg/kg en la estación 2 (Banco de Campeche), obteniéndose un promedio de 49,81 mg/kg. Estos altos valores se corresponden con altos valores de arenas con altos porcentajes de carbonatos. Los valores máximos detectados podrían

estar asociados a la diagénesis que ocurre en la zona de estudio, como producto de la influencia de los factores fisicoquímicos (oxido-reducción, deshidratación y recristalización). Los menores rangos de concentración hallados en el resto de las áreas estudiadas, se deben posiblemente a los procesos normales de intercambio agua-sedimento, hundimiento de P y diagénesis temprana incipiente, como se mencionó anteriormente. Si observamos las dos zonas estudiadas (Centroamérica y Suramérica), a través de esta fracción se puede puntualizar que la zona centroamericana del Caribe es más rica en la fracción F2, posiblemente debido a que la región del Caribe Centroamericano y Golfo de México son zonas con una amplia plataforma de arrecifes coralinos ricos en carbonatos de calcio.

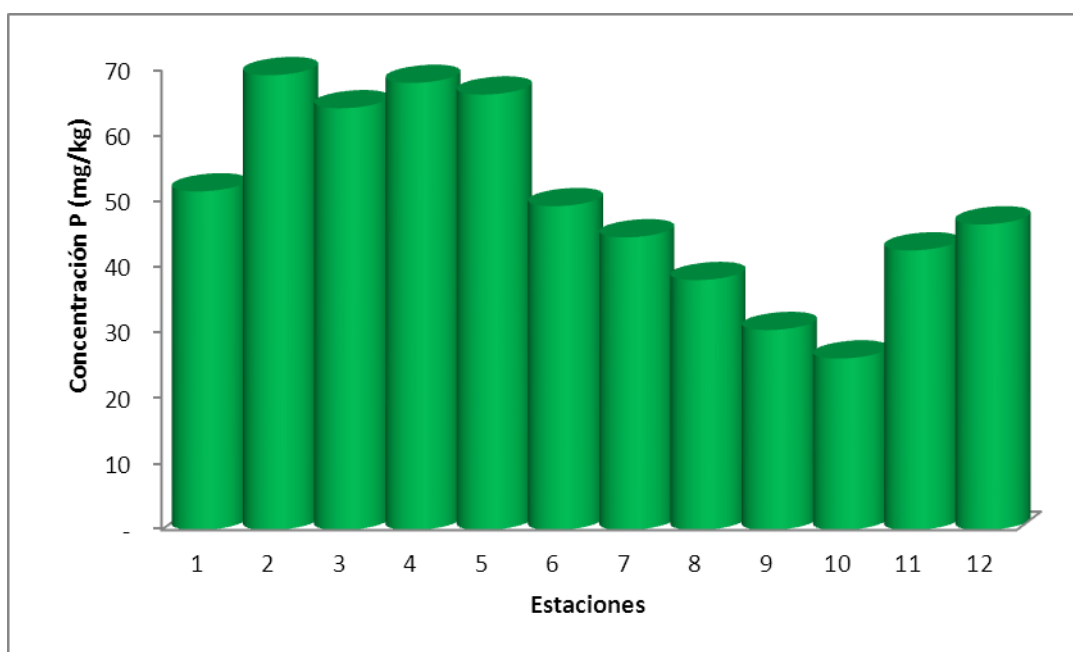


Figura 15. Distribución de fósforo autogénico (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

Guillot (2008) registró valores comprendidos entre 1,20 y 10,00 mg/kg, en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la Costa Atlántica Venezolana, las cuales fueron asociadas a la diagénesis y a la influencia de los factores fisicoquímicos. González (2010) realizó un estudio en la periferia de la cuenca de Cariaco, encontrando

valores entre 1,46 y 36,46 mg/kg, debido a la precipitación del fósforo (posiblemente fosforita) producto de la elevada productividad primaria en la región. López (2012) reportó valores similares a los del presente estudio, entre 23,79 y 63,19 mg/kg, en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, acotando que podrían estar asociados a la diagénesis, como producto de la influencia de los factores fisicoquímicos (oxido-reducción, deshidratación, recristalización y cementación).

### **Fósforo detrítico (F3)**

El fósforo detrítico (F3) constituye el material inerte derivado de la erosión de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias y de la separación de la forma apatita autigénica (Berner y Rao, 1994). Está formada por minerales del fósforo que representan las apatitas de origen ígneo, metamórficas y otras formas de minerales de P de difícil disolución (Zheng, 2004). Se le califica igual que la F2, como refractaria debido a que solo bajo condiciones de pH muy bajos, puede ser extraída. Esta fracción correspondería a la última fase del proceso de diagénesis. La diagénesis o consolidación del sedimento es una forma sólida más estable, donde el P pasa definitivamente de un estado lábil a uno más refractario. (Ruttemberg y Berner, 1993; Vink *et al.*, 1997). Según este proceso, la fracción F3 correspondería a la última parte del proceso en una etapa de diagénesis consolidada.

En la figura 16 apreciamos el comportamiento de la fracción F3, y la Tabla (A3) presenta las concentraciones de dicha fracción, observándose el valor mínimo de 0,29 mg/kg en la estación 10 (Boca Grande del Orinoco) y el valor máximo 127,40 mg/kg en la estación 5 (Banco de Campeche) con un promedio de 42,22 mg/kg. Los altos valores, podrían estar asociado a la alta proporción de estructuras carbonatadas y carbonáceas como conchas, esqueletos, corales, y/o minerales, originados por la precipitación química, lo que trae como consecuencia las altas concentraciones de este tipo de fósforo. De acuerdo a este estudio, cabe mencionar que esta fracción F3 es directamente proporcional a la F2, puesto que guardan una correlación significativa.

López (2012), en su estudio de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela, reportó valores entre 7,94 y 297,35 mg/kg, indicando que los altos valores están asociados a restos de animales y vegetales, además de: restos de esqueletos de peces, corales y conchas. González (2010) reportó valores que oscilaron entre 57,52 y 840,20 mg/kg en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, atribuyéndolos a las características granulométricas que presentaron los sedimentos de la región, con un 99,26 % de arena, que a su vez, está compuesta por una alta proporción de estructuras carbonatadas y carbonaceas.

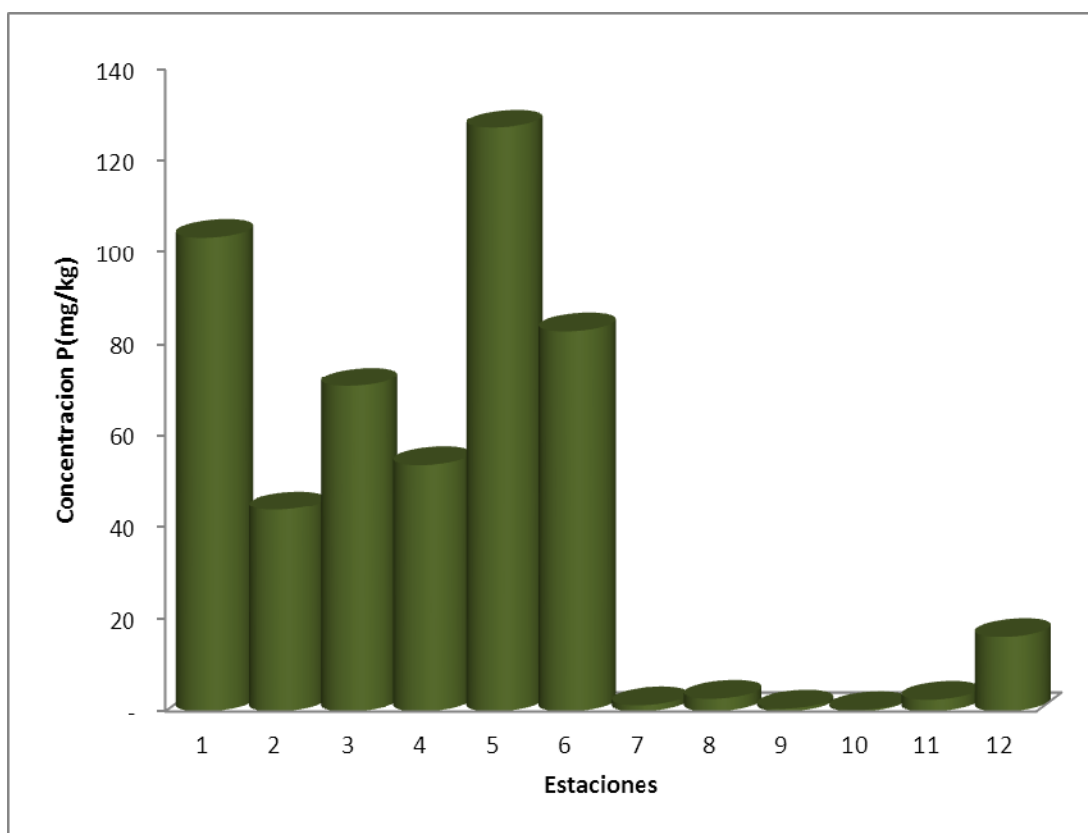


Figura 16. Distribución de fósforo detrítico (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

#### **Fósforo orgánico (F4)**

Como se mencionó anteriormente, el fósforo orgánico (F4) es el aportado por la materia orgánica como principal fuente de especies fosfatadas. De acuerdo a este estudio, podemos observar en la figura 17 que las concentraciones de fósforo orgánico presentó un valor mínimo de 54,64 mg/kg en la estación 1 (ubicada en Banco de Campeche) y un máximo de 284,89 mg/kg en la estación 8 (San George, Caribe Oriental), con un promedio de 147,63 mg/kg. Si comparamos las dos regiones vemos que esta fracción esta mas disponible en la parte Suramericana y podemos presumir que estos valores guardan mucha relación con la textura del sedimento y sus proporciones se atribuyen a las grandes concentraciones de materia orgánica reportadas y determinadas en este estudio.

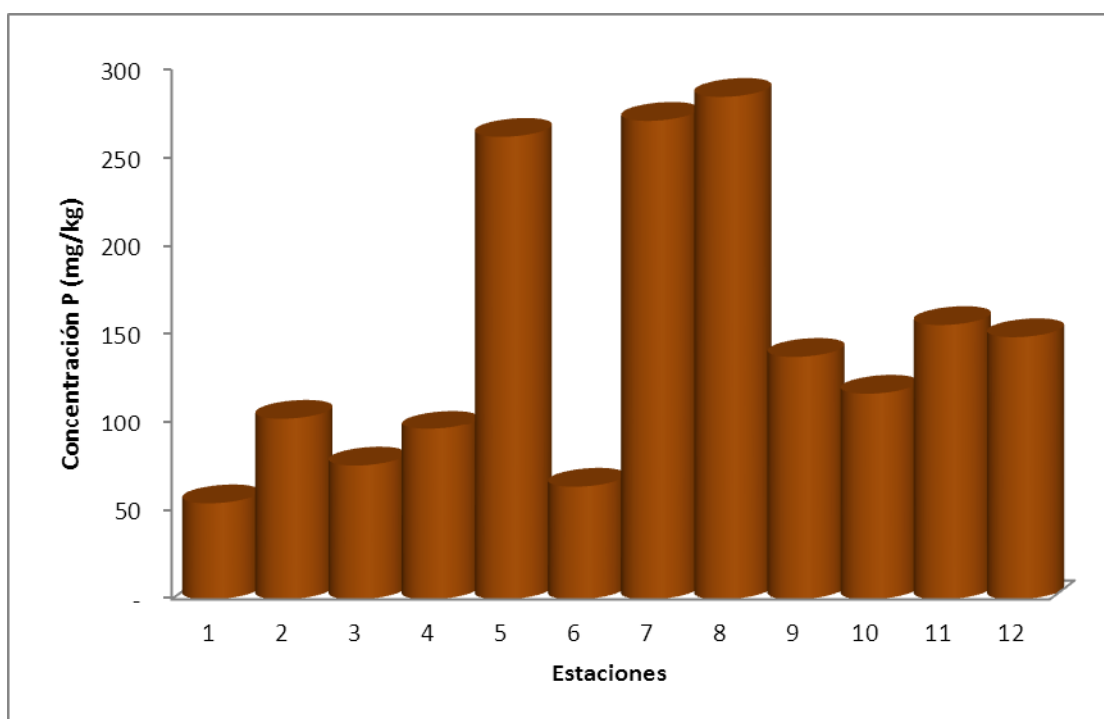


Figura 17. Distribución de fósforo orgánico (F4) (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

Guillot (2008) registró valores de fósforo orgánico comprendidos entre 10 y 100 mg/kg en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana, asociada a los aportes de las aguas del río Orinoco. González (2010) reportó valores que oscilaron entre 32,69 y 86,34 mg/kg en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, asociados con el fenómeno de surgencia que afecta a toda la costa nororiental de Venezuela. López (2012) reportó en su investigación que las concentraciones de fosforo orgánico, variaron entre 30,60 mg/kg y 670,2 mg/kg, atribuyéndolas a las grandes concentraciones de materia orgánica reportadas en el estudio del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

### **Nitrógeno total (NT)**

El nitrógeno, al igual que el fósforo, es un elemento indispensable para los seres vivos. Este elemento sufre una serie de transformaciones en el sedimento marino, entre las que se encuentran: mineralización (paso de compuestos nitrogenados orgánicos a forma mineral inorgánica), inmovilización (cuando existe una elevada relación C/N, los microorganismos utilizan todo el nitrógeno mineral existente), nitrificación (conversión de sales amoniacales en nitritos y nitratos) y desnitrificación (reducción de los nitratos a nitrógeno libre, gaseoso) (Seoánez *et. al.*, 2000). Dicho elemento aparece en el mar, básicamente en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ), aunque generalmente los que más abundan son los nitratos, además de diferentes formas de nitrógeno orgánico.

En la figura 16 vemos como se encuentra distribuido el NT y en la Tabla (A2) las concentraciones en cada una de las estaciones evaluadas, encontrándose el valor mínimo 228,11 mg/kg en la estación 2 (Banco de Campeche) y el valor máximo 971,02 mg/kg en la estación 7 (Isla Blanquilla), obteniéndose un promedio de 458,40 mg/kg de NT. La alta concentración de NT, confirma la existencia de una mayor actividad biótica. De acuerdo a los altos valores presente en este estudio se puntualiza que guardan mucha relación con la materia orgánica, la fracción F2, y con los sedimentos de grano tipo fino.



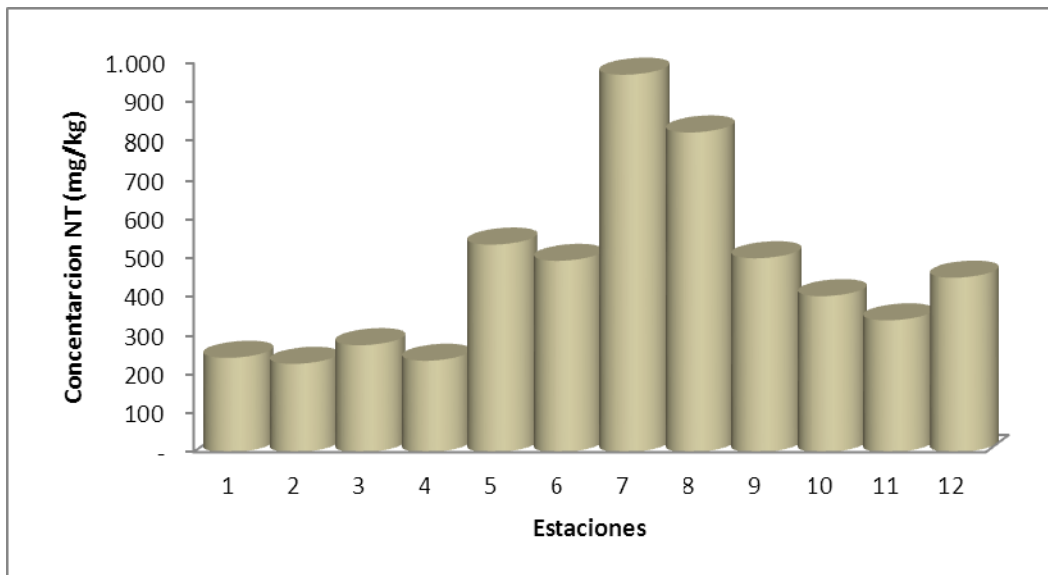


Figura 18. Distribución de Nitrógeno Total (mg/kg), en sedimentos superficiales de Centroamérica (Banco de Campeche- Golfo de México) y Suramérica (Fachada Atlántica) del Mar Caribe.

Martínez (2009) obtuvo en el sector Norte de la Península de Paria un aumento paulatino de la concentración de NT hacia la zona occidental, coincidiendo con la distribución de C.O. en limos y PT para granos limosos y arcillosos. González (2010) en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco reportó valores entre 129,34 y 982,11 mg/kg, atribuyéndolo a los porcentajes de limo en la zona, indicando que el nitrógeno tiene mayor afinidad con esta fracción textural.

### **Análisis Estadísticos**

#### ***Análisis de correlación de Pearson***

Usando el paquete estadístico de análisis multivariante XLSTAT Versión 7,5 pro, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson ( $R^2$ ) para establecer los grados de asociación existentes entre el fraccionamiento del fósforo y las diferentes variables analizadas en los sedimentos de la zona Centroamérica y Suramérica del Caribe.

Estadísticamente, el análisis de Correlación de Pearson es una forma de determinar la fluctuación, oscilación o covarianza existente entre dos parámetros determinando la semejanza en el comportamiento, causa y consecuencias de uno sobre otro. En general, una alta correlación entre elementos indica que éstos tienen orígenes similares y poseen una conducta química análoga. (Aguado, 2012).

El análisis de correlación (Tabla 3) refleja una clara dependencia de la textura, el fraccionamiento de Fósforo, y nutrientes estudiados en esta investigación. La arcilla está fuertemente ligada con los parámetros orgánicos, ya que presenta una correlación positiva y significativa, con dichos parámetros (Perd. 450°C, NT, y CO) así como con la fracción F4 asociada con la materia orgánica. Sin embargo, posee significancia negativa con la arena, CaCO<sub>3</sub>, la fracción F2 y F3, pero son inversamente proporcionales, es decir mientras aumenta la arcilla, disminuyen dichos parámetros y viceversa.

También podemos observar la fuerte dependencia que tiene la arena con los CaCO<sub>3</sub>, la fracción F2 y F3, es indicio que estos parámetros están ligados entre sí; ya que indican un mismo origen y acumulación preferencial en los sedimentos más gruesos (arenosos).

Se puede apreciar que la fracción F4 es la que más predomina entre las demás fracciones del FT, ya que posee una correlación positiva y muy significativa con el FT. Esto indica que esta fracción de fosforo tiene correlación significativa con los demás nutrientes analizados (NT, CO, Perd. a 450°C) y las texturas finas del sedimento marino de la zona de Centroamérica y el Sur del Caribe.

El NT posee una correlación positiva y significativa con el FT, lo que indica y confirma la intensidad de los procesos bióticos y abióticos, en especial la mineralización, es decir, la rápida descomposición de la materia orgánica nitrogenada a la forma inorgánica.

Tabla 3. Análisis de correlación de Pearson que expresa la asociación entre el fraccionamiento del fósforo y los diferentes parámetros en los sedimentos estudiados (12 estaciones) en el Mar Caribe.

	Arcilla	Limo	Arena	Perd 450°C	C.O	CaCO <sub>3</sub>	FTinorg	F1	F2	F3	F4	FT	NT
Arcilla	1,000												
Limo	0,478	1,000											
Arena	-0,862	-0,858	1,000										
Perd 450°C	0,876	0,607	-0,863	1,000									
C.O	0,970	0,585	-0,906	0,924	1,000								
CaCO <sub>3</sub>	-0,849	-0,563	0,822	-0,715	-0,812	1,000							
FTinorg	-0,764	-0,411	0,684	-0,653	-0,732	0,927	1,000						
F1	-0,103	-0,134	0,137	-0,155	-0,174	-0,176	-0,254	1,000					
F2	-0,737	-0,565	0,758	-0,529	-0,693	0,879	0,810	-0,235	1,000				
F3	-0,701	-0,320	0,595	-0,629	-0,673	0,867	0,982	-0,272	0,685	1,000			
F4	0,565	0,503	-0,621	0,734	0,617	-0,465	-0,271	-0,035	-0,187	-0,273	1,000		
FT	0,042	0,212	-0,147	0,275	0,112	0,161	0,393	-0,199	0,350	0,379	0,778	1,000	
NT	0,639	0,752	-0,809	0,861	0,740	-0,536	-0,411	-0,036	-0,420	-0,370	0,826	0,521	1,000

En negrita, valores significativos  $\leq 0,050$

## CONCLUSIONES

Los sedimentos superficiales del Mar Caribe presentaron una alta proporción de arenas (8,20 - 87%), seguido por las arcillas (12,44 - 64,30%) y limos (0,56 - 53,37 %), predominando en los sedimentos la textura areno-arcillosa, arcilla- limosa, arcilla-arenosa, limo-arcillosa y limo-arenosa.

El porcentaje de pérdida a 450°C (equivalente a la materia orgánica) presente en las dos zonas del mar Caribe varió entre 2,01 y 15,10 %, con un máximo valor en la estación 7 (Isla Blanquilla) y el mínimo en la estación 1 (Banco de Campeche). El porcentaje en la estación 7 (15,10%), posiblemente podría estar influenciado por factores que aportan al ecosistema grandes cantidades de materia orgánica de origen biogénico debido a la alta productividad orgánica de esta región marina.

Los carbonatos resultaron ser favorables significativamente con las fracciones 2 y 3 de fósforo, hallándose en las zonas más arenosas de este estudio, lo que confirma que puede estar asociado por la acción de meteorización de las rocas carbónicas, material calcáreo esquelético o arrecifes coralinos, presentes en la zona.

Las concentraciones de fósforo total (FT) en los sedimentos superficiales del Mar Caribe (zona de Centroamérica y Suramérica) variaron entre un máximo de 456,35 mg/kg en la estación 5 (ubicada en Banco de Campeche, parte de Centroamérica) y un mínimo de 145,09 mg/kg en la estación 10 (ubicada en Boca Grande, parte de Suramérica). El orden decreciente en las concentraciones de las diferentes fracciones fueron: fósforo orgánico (F4) > fósforo autogénico (F2) > fósforo detrítico (F3) > fósforo absorbido más asociado a óxidos de hierro (F1).

La alta concentración de NT, confirma la existencia de una mayor actividad biótica en los sedimentos superficiales de la región oriental del Mar Caribe, influenciada por los mecanismos de mineralización. No existen diferencias estadísticamente significativas

entre el método de Valderrama y el método Sedex (Berner y Rao 1994), para la determinación de FT.

La matriz de correlación de Pearson determinó que el tipo de textura de los sedimentos fue el factor fundamental en la distribución de la mayoría de los parámetros estudiados.

## BIBLIOGRAFIA

Aguado, B. 2012. Especiación de metales pesados en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Amuerman, J. 1991. Role of ecto-phosphohydrolases in phosphorous regeneration in estuarine and coastal ecosystems. En: "*Microbial enzymes in aquatilenvironments*". Chrost, R.J. (Ed). Springer Verlag, New York. pp :164-185

Andrieux-Loyer y Aminot, A. 2001. Phosphorus forms related to sediment grain size and geochemical characteristics in french coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52:617-629.

Aspila, K., Agemian, H, y Chau, A., 1976. A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments. *Analyst*, 101: 187-197.

Astorga, I. y Silva, N. 2005. Textura, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total en sedimentos marinos superficiales de la X Región. Informe preliminar de crucero CIMAR 10 Fiordos. pp: 203-216.

Attrill, M. y Thomes, M. 1995. Heavy metals concentration in sediment from the thames estuary, UK. *Marine Pollution Bulletin*, 30(11): 742-744.

Bartels, J. 1996. Methods of soil Analysis. *Chemical Methods*, 27(3): 31-36.

Berner, E. y Berner, R. 1987. *The Global Water Cycle, Geochemistry and Environment*. Prentice-Hall.

Berner, R.A. y Rao, J.L. 1994. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 58: 2333-2339.

Berner, R., Ruttenger, K., Ingall, E. y Rao, J. 1993. The nature of phosphorus burial in modern marine sediments. En: *interactions of C, N, P and S. Biogeochemical cycles and global change*. Bolin, B. y Cook, R.B. (Eds.). Nato Asi Series 14: 365-378

Bonilla, J. 1977. Condiciones hidroquímicas del agua y características de los sedimentos del Golfo de Paria durante la expedición LS-7302. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 16 (1-2): 99-114.

Bonilla, J. y Lin, C. 1979. Materia orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 31(1 y 2): 12-23.

- Bonilla, J.; Fermin, J.; Gamboa, B y Cabrera, M. 1995. Aspectos geoquímicos de los sedimentos superficiales del ecosistema marino costero de Jose, estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 32 (1 y 2):5-23.
- Bonilla, J.; Aranda, S.; Ramírez, C.; Moya, J. y Espinosa, L. 2003. Calidad de los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 42 (1 y 2): 3-27.
- Calva, L. y Torres, R . 2011. Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia Testudinum*, en ecosistemas costeros del sureste del golfo de México. *Hidrobiología*. 27(2): 133-144.
- Cano, M. y Valderrama, J. (1996). *Archipiélagos del Caribe colombiano*. IM Editores, Cali. ISBN958-95504-7-9.
- Carman, R.; Edlund, G. y Damberg, C. 2000. Distribution of organic and inorganic phosphorus compounds in marine and lacustrine sediments: a <sup>31</sup>P NMR study. *Chemical Geology*, 163:101-114.
- Casanova, E. 1991. Introducción a la ciencia del suelo. UCV. Facultad de Agronomía. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela, 132-146.
- Chang, S. y Jackson, M. (1957). Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, 84: 133-144.
- Dássele, L; Camacho, J.; Carriquiry, M. y Ortiz, M. 2004. The geochemistry and sources of metals and phosphorus in the recent sediments from the Northern gulf of California. *Continental Shelf Research*, 21: 1310-1345.
- Delgado, R . 1997, Caracterización de los sedimentos recientes de la Isla Blanquilla. Trabajo de Pregrado. Instituto de Zoología Tropical. Universidad Central de Venezuela.
- Dillon, P. y Rigler, F. 1974. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 28: 792-795.
- Durga, G; Shumilin, E; Sapozhnikov, D; Mendez, L y Acosta, B. 2009. Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de la Bahía de Concepción México. *Boletín de la sociedad geológica, México*, 61(1):pp. 57-72
- Duursma, E. y R. Dawson. 1981. Marine organic chemistry. Evolution, composition and chemistry of organic matter in seawater. Elsevier Oceanography Series, 31. Amsterdam, Holanda. 521 pp.
- Dyers, K. 1979. Estuarine Hydrography and Sedimentation. Estuarine and Brackish Water Science Association. Handbook. Cambridge University Press, Cambridge. *Marine Pollution Bulletin*, 12 (7): 232-243.

- Espinoza, L. 2001. Aspectos químicos de los sedimentos superficiales de los litorales norte y sur del Golfo de Cariaco. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Fang, T., Chen, J., y Huh Ch. 2007. Sedimentary phosphorus species and sedimentation flux in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 27: 1465-1746.
- Froelich, P. 1988. Kinetic control of dissolved phosphate in natural rivers and estuaries: A primer on the phosphate buffer mechanism. *Limnology and Oceanography*, 33: 649-688.
- Froelich, P., Bender, M., Luedtke, N., Heath, G. y Devries, T. 1982. The marine phosphorus cycle. *American Journal Science*, 282: 474-511.
- García, J., 2006. Metales pesados en sedimentos de tres lagunas costera del sur de Tamaulipas y norte de Veracruz. Trabajo de posgrado. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada, Instituto politécnico nacional, Altamira.
- Gibbs, R. 1981. Sites of river-derived sedimentation in the ocean. *Geology*, 9: 77-80.
- Golterman, H. 2001. Phosphate release from anoxic sediment or what did Mortimer really write. *Hidrobiología*, 450: 99-106.
- Gómez, J.; Fuentes M.; Leone, O. y Vega, C. 2006. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Bahía de Panamá. *Tecnociencia*, 8: 113-132
- González, A. 2010. Fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Guillot, L. 2008. Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del Golfo de Paria y Costa Atlántica Venezolana. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Graca, B. y Bolalek, J. 2000. Temporal variations in phosphorus species in the surface layer of bottom sediments from the gulf of Gdansk-preliminary research. *Oceanological Studies*, 29: 55-66.
- Han, S.; Gill, G.; Lehman, R. y Choe, K. 2006. Complexation of mercury by dissolved organic matter in surface waters of Galveston Bay, Texas. *Marine Chemistry*, 98: 156-166.
- Hanrahan, G.; Salmassi, T.; Khachikian, C. y Foster, K. 2005. Reduced inorganic phosphorus in the natural environment: significance, speciation and determination. *Talanta*, 66: 435 – 444.



- Hart, B., McGregor, R. y Perriman, W. 1976. Nutrient status of the sediments in lake Mulwala I. Total phosphorus. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 27: 129-35
- Hedges, J. 1992. Global biogeochemical cycles: progress and problems. *Marine Chemistry*, 39:67-93.
- Helal, H. 1990. Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates. *Plant and Soil*, 123: 161-163.
- Hieltjes, A. y Lijklema, L. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *Journal Environmental Quality*, 9: 405-407.
- Jansson, M. 1987. Anaerobic dissolution of iron-phosphorus complexes in sediment due to the activity of nitrate-reducing bacteria. *Microbial Ecology*, 14: 81-89.
- Koch, M., Benz, R. y Rudnick, D. 2001. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of northeastern Florida Bay. *Estuarine Coastal and shelf Science*, 52, 279-291.
- Libes, S. 2009. *A introduction to marine biogeochemistry*. Elsevier Inc. San Diego.
- Liebezeit, G. 1991. Analysis phosphorus fractionation of sediment trap material. *Marine chemistry*, 43: 61-69.
- López, F. 2002. Determinación del contenido de nutrientes en los sedimentos superficiales de la Laguna de Pirítu. Edo. Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de postgrado. M.Sc. en Ciencias Marinas. *Instituto Oceanográfico de Venezuela*. Universidad de Oriente. Cumaná.
- López, R. 2012. Fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos superficiales del sector central del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Loring, D. y Asmund, G. 1995. Geochemical factors controlling accumulation. *Environmental Geology*, 28 (1): 1-11.
- Martínez, M. 2009. Geoquímica de C, N y P en sedimentos superficiales de la región marino – costera al norte y sur de la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Grado de Maestría Ciencias Marinas. *Instituto Oceanográfico de Venezuela*. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Mckelvie, I. 2005. Separation, Preconcentration and Speciation of Organic Phosphorus in Environmental Samples. *Analyst*, 114: 1459-1463.
- Meadows, P. y Campbell, J. 1978. *Introducción a la ciencia del Mar*. Editorial Acribia, Zaragoza-España.

- Meybeck, M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by World Rivers. *American Journal of Science*, 282: 401-450.
- Meybeck, M., Chapman, D. y Helmer, C. 1989. *Global freshwater quality. A first assessment*. Who-UNEP/Blackwell, Oxford.
- Murphy, J. y Riley, J. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27: 31-36.
- Ocando, L. 1992. Distribución espacial y temporal de parámetros fisicoquímicos y materia orgánica en la laguna de Unare, Venezuela. Trabajo de Ascenso. Departamento de Oceanografía, Universidad de Oriente. Cumaná.
- Pérez, A.; Torres, R.; Morales, E. y Pérez, E. 2000. Textura, composición y contenido de materia orgánica de los sedimentos recientes de un lago tropical de México. *Hidrobiología*, 10 (1): 41-50.
- Primo, E. y Carrasco, J. 1993. Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes. Editorial Alhambra, S. A. España.
- Rodríguez, G. ; Shumilin, E. ; Sapozhnikov, D. ; Méndez, L. y Acosta, B. 2009. Evaluación geoquímica de elementos mayoritarios y oligoelementos en los sedimentos de la Bahía Concepción (B.C.S ; México). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1) : 57-72.
- Rubio, B.; Nombela, M. y Vilas, F. 1995. Geochemistry of majors and trace elements in sediment of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Poll. Bull.* 40 (11): 968-980.
- Ruttenberg, K. 1990. Diagenesis and burial of phosphorus in marine sediments: Implications for the marine phosphorus budget. PhD. *Thesis, Yale University*. pp: 375
- Ruttenberg, K. 1992. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 37: 1460–1482
- Ruttenberg, K. y Berner, R. 1993. Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 57: 991–1007.
- Salazar, J. 1989. Condiciones hidrogeoquímicas de la región estuarina-deltaica del río Orinoco durante el mes de noviembre de 1985. Trabajo de postgrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Salazar, J.; Rosas, J. y Rodríguez, J. 2003. Condiciones sedimentológicas de la laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia*, 28 (1): 44-50.
- Schenau, S. y De Lange, G. 2001. Phosphorus regeneration vs. burial in sediments of the Arabian Sea. *Marine Chemistry*, 75: 201–217

- Sedex, 2000. Sequential extraction and analysis of phosphorus in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 45(2): 509-515.
- Seoáñez, M.; Bellas, E.; Ladaria, P y Seoáñez, P. 2000. Tratado de reciclado y recuperación de los productos de los residuos. Editorial Mundi-Prensa libros, México.
- Sokal, R. y Rohlf, F. 1967. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. W. H. Freeman. New York.
- Spivakov, B.; Maryutina, T. y Muntau, H. 1999. Phosphorus speciation in water and sediments. *Pure Appl. Chem.*, 71(11): 2161-2176.
- Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorous in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- Valdés, J. y Sifeddine, A. 2009. Composición elemental y contenido de metales en sedimentos marinos de la bahía Mejillones del Sur, Chile: Evaluación ambiental de la zona costera. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37 (2): 131-141.
- Vink, S.; Chambers, R., and Smilth S. 1997. Distribution of phosphorus in sediments from Tomales Bay, California. *Marine Geology*, 139: 157-179.
- Vollenweider, R.; Munawar, M. y Standelmann, P. 1974. A comparative review of phytoplankton and primary production in the Laurentians Great Lakes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canadá*, 31: 379-762.
- Wageman, R. y Muir, D. C. G (1994) Concentrations of heavy metals and organochlorides in marine mammals of nortéeme Waters: Overview and evaluation. Canadian Technical Report. *Fisheries Aquatic Science*, 1279:97.
- Zheng, L.; Ye, Y. y Zhou, H. 2004. Phosphorus form in sediments of the East China Sea and its environmental significance. *J.l. Geograph. Sci.*, 14: 113-120.

## APÉNDICE

Tabla A1. Composición granulométrica (%) y textura de los sedimentos estudiados en el Mar Caribe

Estaciones	Composición porcentual (%)			
	Arena	Limo	Arcilla	Textura
1	86,1	1,44	12,46	Areno-arcillosa
2	87,0	0,56	12,44	Areno-arcillosa
3	86,09	1,44	12,47	Areno-arcillosa
4	86,08	1,44	12,48	Areno-arcillosa
5	58,1	25,43	16,47	Areno-limo-arcillosa
6	38,17	39,38	22,45	Limo-areno-arcillosa
7	8,20	53,37	38,43	Limo-arcilla-arenosa
8	10,33	25,37	64,3	Arcillo-limo-arenosa
9	22,2	21,41	56,39	Arcillo-areno-limosa
10	32,18	39,38	28,44	Limo-areno-arcillosa
11	32,61	23,26	44,13	Arcillo-areno-limosa
12	72,11	5,43	22,45	Areno-arcillo-limosa
<b>Promedio</b>	51,60	19,82	28,58	-
<b>Mínimo</b>	8,20	0,56	12,44	-
<b>Máximo</b>	87,0	53,37	64,30	-
<b>DS</b>	31,12	17,99	18,21	-

DS: Desviación estándar

Tabla A2. Composición porcentual (%) de Pérdida a 450°C, carbonatos, carbono orgánico y nitrógeno total (mg/kg) en los sedimentos del Mar Caribe.

Estaciones	Porcentajes (%)			Nitrógeno total mg/kg
	Pérd.450°C	Carbonatos	Carbono orgánico	
1	2,01	88,00	0,33	243,67
2	2,50	77,00	0,40	228,11
3	2,95	87,00	0,51	276,28
4	3,28	95,00	0,76	236,05
5	4,11	85,00	0,89	535,85
6	5,42	82,00	1,20	493,83
7	15,09	35,00	2,52	971,02
8	14,74	29,00	3,16	821,85
9	10,30	24,00	3,10	500,62
10	3,62	23,00	1,32	402,65
11	9,58	31,00	1,96	340,43
12	5,17	55,00	0,87	450,39
<b>Promedio</b>	6,56	59,25	1,42	458,40
<b>Mínimo</b>	2,01	23,00	0,33	228,11
<b>Máximo</b>	15,09	95,00	3,16	971,02
<b>DS</b>	4,69	28,99	1,02	234,08

DS: Desviación estándar

Tabla A3. Contenido de fósforo (mg/kg) en los sedimentos estudiados del Mar Caribe.

<b>Estaciones</b>	<b>FTinorg</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>FT</b>
1	155,14	-	51,62	103,52	54,64	209,78
2	113,31	-	69,33	43,98	102,85	216,16
3	135,29	-	64,29	71,00	75,84	211,13
4	121,98	-	68,15	53,83	96,56	218,54
5	193,78	-	66,38	127,40	262,57	456,35
6	132,39	-	49,37	83,02	63,96	196,35
7	45,95	-	44,62	1,33	271,54	317,48
8	40,85	-	38,10	2,75	284,99	325,84
9	31,11	-	30,49	0,62	137,58	168,69
10	28,19	1,75	26,15	0,29	116,90	145,09
11	45,19	0,03	42,63	2,52	155,45	200,64
12	68,19	5,22	46,59	16,38	148,63	216,81
<b>Promedio</b>	92,61	147,63	0,58	49,81	42,22	240,24
<b>Mínimo</b>	28,19	54,64	-	26,15	0,29	145,09
<b>Máximo</b>	193,78	284,99	5,22	69,33	127,40	456,35
<b>DS</b>	55,98	81,99	1,54	14,66	45,33	85,83

DS: Desviación estándar

Tabla A4. Contenido de fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Mar Caribe por el método de Valderrama y por el método de Berner y Rao(1994).

<b>Estaciones</b>	<b>Valderrama(1981)</b>	<b>Sedex(Berner y Rao 1994)</b>
1	235,75	209,78
2	210,77	216,16
3	254,88	211,13
4	245,26	218,54
5	535,02	456,35
6	211,22	196,35
7	316,44	317,48
8	322,78	325,84
9	187,71	168,69
10	151,78	145,09
11	233,68	200,64
12	215,30	216,81
<b>Promedio</b>	260,05	240,24
<b>Mínimo</b>	151,78	145,09
<b>Máximo</b>	535,02	456,35
<b>DS</b>	99,10	85,83

DS: Desviación estándar

## HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

<b>Título</b>	Fraccionamiento de Fósforo en Sedimentos Superficiales del Mar Caribe.
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Martínez E. Ana K.	<b>CVLA C</b>	<b>16.996.681</b>
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:Jeankari24@hotmail.com">Jeankari24@hotmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLA C</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

<b>Fósforo, sedimento marino, materia orgánica, Mar Caribe (parte de Centroamérica y Suramérica).</b>



**Líneas y sublíneas de investigación:**

Área	Subárea
Ciencias	Química

**Resumen (abstract):**

Se evaluaron sedimentos en doce estaciones ubicadas en el Mar Caribe (Centroamérica y Suramérica) distribuyéndose estas entre el canal y plataforma de Yucatán (banco de Campeche), isla La Blanquilla, cercanías de San Jorge, cercanías de Trinidad, boca grande Orinoco y plataforma Deltana. A través del análisis textural se encuentra que la mayoría de las muestras son de tipo areno-arcillosa con considerable porción de limo, los cuales poseen relaciones significativas con la mayoría de los parámetros estudiados. También se cuantificó el contenido en porcentajes (%) de materia volátil (%Pérd 450°C), carbono orgánico (CO) y carbonatos (CaCO<sub>3</sub>), hallándose valores entre 2,01 a 15,09; 0,33 a 3,16; y 23,00 a 95,00. Se determinó la cantidad de fósforo haciendo fracciones geoquímicas (orgánico, inorgánico (autogénico, detrítico, adsorbido más asociados a óxidos de hierro) y total) por el método de Sedex con adaptaciones de Berner y Rao (1994), siendo esta más sencilla y efectiva para extraer las diferentes fracciones de fósforo. La cuantificación del fósforo extraído en cada una de las fracciones se realizó con la técnica de espectrofotometría en la región visible a 885 nm. Los resultados obtenidos arrojaron niveles considerables de fósforo orgánico, variando entre 54,64 y 284,99 mg/kg, coincidiendo estos con el aporte de materia orgánica, como principal fuente de especies químicas fosfatadas existente en la zona de estudio. Y en orden decreciente del fósforo inorgánico (fósforo autogénico (24,10 a 60,77 mg/kg)> fósforo detrítico (2,17 a 135,97 mg/kg)>fósforo adsorbido más asociados a óxidos de hierro (1,75 a 3,18 mg/kg), este solo se encontró en las muestras pertenecientes a boca grande Orinoco y este del Delta Orinoco). En el caso del fósforo total y nitrógeno total, las concentraciones oscilaron entre 145,09 mg/kg en Boca grande de Orinoco (zona Suramérica) a 456,35mg/kg en Banco de Campeche (zona Centroamérica) y 228,11mg/kg en Banco de Campeche (zona Centroamérica) a 971,02mg/kg en Isla Blanquilla(zona Suramérica), respectivamente. La concentración de compuestos nitrogenados y fosforados en los sedimentos superficiales del ecosistema en estudio, confirman la intensidad de los procesos bióticos y abióticos que ocurre en las zonas estudiadas.

**Contribuidores:**

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Martínez C, Gregorio M.Sc.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	8.439.342
	e-mail	<a href="mailto:goyomartinez@gmail.com">goyomartinez@gmail.com</a>
Marcano, Ángel M.Sc.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	<a href="mailto:marcanoang@gmail.com">marcanoang@gmail.com</a>
Sanchez, Wilmer	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	7.170.473
	e-mail	<a href="mailto:Wsanchez@udo.edu.ve">Wsanchez@udo.edu.ve</a>

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año Mes Día

2013	10	23
------	----	----

Lenguaje: SPA

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo</b>	<b>Tipo MIME</b>
<b>TESIS-AKME.DOC</b>	<b>Aplication/word</b>

**Alcance:**

**Espacial:**           **NACIONAL**          

**Temporal:**           **TEMPORAL**          

**Título o Grado asociado con el trabajo:** **Licenciada en Química**

**Nivel Asociado con el Trabajo:** **LICENCIADA**

**Área de Estudio:** **Química**

**Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*[Firma]*  
**JUAN A. BOLAÑOS CUNDELO**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.


JABC/YGC/maruja

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) :** “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.



---

**Martínez E, Ana K.**  
**Autor**



---

**Martínez C, Gregorio M.Sc.**  
**Asesor**