



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

FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS
SUPERFICIALES DEL SECTOR CENTRAL DEL GOLFO DE CARIACO,
ESTADO SUCRE, VENEZUELA.
(Modalidad: Tesis de grado)

ROSANNY LUCIA LÓPEZ ESPARRAGOZA

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

CUMANÁ, 2012

FRACCIONAMIENTO GEOQUÍMICO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS
SUPERFICIALES DEL SECTOR CENTRAL DEL GOLFO DE CARIACO,
ESTADO SUCRE, VENEZUELA.

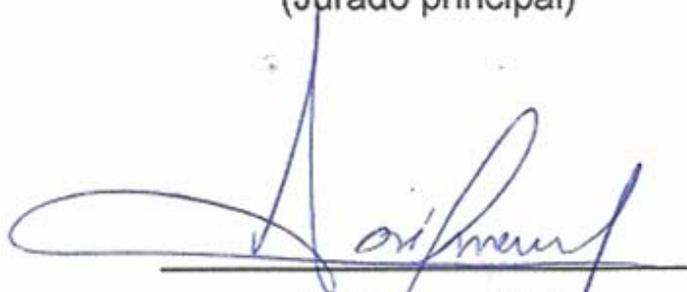
APROBADO POR:



Gregorio Martínez Campos (M.Sc.).
(Asesor)



Luisa Rojas de Astudillo (Dra.)
(Jurado principal)



José Imery (Dr.)
(Jurado principal)

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	II
LISTA DE TABLAS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA.....	7
Área de muestreo.....	7
Recolección de las muestras.....	8
Almacenamiento de los sedimentos.....	10
Análisis textural de los sedimentos.....	10
Materia volátil a 450°C en los sedimentos.....	12
Determinación del carbono orgánico total.....	12
Determinación del contenido de carbonatos.....	13
Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.....	13
Fósforo total (P _T).....	13
Fósforo inorgánico (P1) y fósforo orgánico (P2).....	14
Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (P3).....	14
Fósforo autogénico (P4).....	14
Nitrógeno total (N _T) Y fósforo total (P _T).....	15
Reproducibilidad de los métodos utilizados.....	15
Análisis Estadísticos.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
Análisis textural del sedimento.....	17
Materia volátil a 450°C en los sedimentos.....	20
Carbono orgánico (CO).....	23
Carbonatos.....	26
Determinación de las fracciones de fósforo en el sedimento.....	28
Reproducibilidad y precisión de los métodos utilizados.....	29
Fósforo total (PT).....	30
Fósforo inorgánico (P1).....	34
Fósforo orgánico (P2).....	35
Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (P3).....	38
Fósforo autogénico (P4).....	40

Fósforo detrítico (P5).....	42
Nitrógeno total (NT).....	44
Análisis estadísticos	46
Análisis de correlación de Pearson	48
CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
APÉNDICE	60
HOJA DE METADATOS	64

DEDICATORIA

A:

El ser más grandioso, glorioso y omnipotente de todo el universo, DIOS, por ser mi guiador y compañero más fiel en todo el camino recorrido para culminar esta etapa de mi vida.

Mi hijo, Cesar Antonio, por ser mi vida, mi alegría, y mi razón de ser, todo esto es para y por ti mi bebe hermoso.

Mi padre, Hipólito Antonio López, mi único y gran amor, por darme la educación y enseñanza necesaria, por orientarme y ser mi amigo, porque estoy totalmente segura que aunque no estuviste físicamente presente, si sentí tu presencia en los momentos en que más te necesitaba papi. Te amo.

Mi madre, Ligia Esparragoza, por estar siempre ahí para mi, por darme todas las fuerzas y consejos necesarios, por ser lo más valioso de mi vida, esos momentos en que fuiste estricta conmigo, ahora te los agradezco enormemente, por ti soy lo que soy, mami eres mi gran ejemplo a seguir, gracias. Te amo.

Mis hermanas, Annily y Roseliannys, “Rosel”, por ser más que mis hermanas mis amigas, y estar ahí apoyándome y ayudándome en todo, y para que esto sea como un ejemplo a seguir en su futuro. Las amo.

Mi abuela, Carmen Lucia Betancourt, aunque nuestra comunicación no es la más fluida, las pocas veces que me veías me distes sabios consejos, y gracias por hacerme sentir que estas muy orgullosa de mi.

Mis primas Jesmir y Milagros por ser más que eso “mis hermanas” y por siempre confiar en mí, Las amo.

Mis tías y tíos por apoyarme, aconsejarme y guiarme, esperando que esto sea de gran orgullo para ustedes.

Mi esposo, Cesar Argenis Mujica, “Mi coso”, por estar a mi lado y soportarme en mis momentos de angustia. Gracias por toda tu ayuda y tu gran amor hacia mí. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

A:

Mi Dios, todopoderoso, por brindarme mucha salud e iluminar siempre mí vida sobre todo la inteligencia para que hoy en día yo culmine con mucho éxito mi carrera.

La casa superior, por brindarme la oportunidad de fortalecer todos mis conocimientos a nivel profesional y como persona en sus aulas y laboratorios y a todos los profesores que participaron en dicha labor.

Prof. Gregorio Martínez Campos (M. Sc.) por su valiosa colaboración y apoyo en todos los momentos cruciales de mi trabajo de grado.

Al personal del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Al T.S.U. Antonio Benítez por la ayuda en la elaboración de los gráficos.

A los T.S.U. Deudedit Hernández y Edymir Parra, por su valiosa colaboración, dedicación y disposición para los distintos análisis realizados. Son ellos a los que siempre les estaré muy agradecida de todo corazón, gracias por enseñarme todos los conocimientos necesarios de un buen laboratorio.

A mis amigas Yolimar Marcano, Berenice Aguado y Ana Karina Martínez, gracias por su amistad, les estaré siempre agradecida por todo lo que hicieron en ayudarme a lograr este sueño tan maravilloso. Las quiero mucho.

A mis compañeros y amigos con los que compartí momentos agradables en todo el transcurso de mi carrera: Salomé, Asyuri, María Jesús, Mónica, Irmina, Iarenys, Marinés, Anyelis, José Augusto, Jesli, Jesusmarit, Rafael, Alexis, Marilyn. Gracias por brindarme su amistad y cariño.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento para la extracción selectiva del P y mecanismos de reacción propuesto por Berner y Rao (1994).	5
Tabla 2. Coordenadas de las estaciones del muestreo realizados en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.....	9
Tabla 3 Reproducibilidad del método Sedex (Berner y Rao 1994), utilizado en el fraccionamiento de fósforo (mg/kg), en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	29
Tabla 4. Análisis de correlación de Pearson que expresa la asociación entre el fraccionamiento del fósforo y los diferentes parámetros en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las estaciones de muestreo para los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	7
Figura 2. Draga tipo Petersen para el muestreo de sedimentos superficiales. ...	9
Figura 3. Triángulo de Shepard para la clasificación textural de los sedimentos marinos.	11
Figura 4. Composición granulométrica, (%), de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	18
Figura 5. Clasificación textural de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, según el triángulo de Sheppard.	19
Figura 6. Distribución textural de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	20
Figura 7. Materia volátil a 450°C, expresada como materia orgánica total, en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	21
Figura 8. Distribución espacial de materia volátil a 450°C (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.	23
Figura 9. Porcentaje de Carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	24
Figura 10. Distribución espacial de Carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	25
Figura 11. Porcentaje de Carbonatos en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	27
Figura 12. Distribución espacial de Carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	28

Figura 12. Concentraciones de fósforo total (mg/kg) en cada una de las estaciones establecidas en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela	31
Figura 13. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total (%) en el sector central del Golfo de Cariaco.	31
Figura 14. Distribución espacial de fósforo total (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela	32
Figura 15. Concentraciones de fósforo total (mg/kg) presente en cada una de las estaciones situadas en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela, obtenidos por el método de Valderrama.	33
Figura 16. Distribución espacial del fósforo inorgánico (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.	35
Figura 17. Distribución espacial de fósforo orgánico (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.....	37
Figura 18. Distribución espacial de fósforo adsorbido más fósforo asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.....	39
Figura 19. Distribución espacial del fósforo autogénico (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.	41
Figura 20. Distribución espacial del fósforo detrítico (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela	43
Figura 21. Distribución espacial de Nitrógeno total (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.	45
Figura 22. Representación gráfica de cajas y bigotes para la comparación entre los métodos para la determinación de fósforo en sedimentos por Sedex (Berner y Rao 1994) (método 1) y el de Valderrama (1981) (método 2).....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

PT= Fósforo total
P1= Fósforo inorgánico
P2= Fósforo orgánica
P3= Fósforo absorbido más asociado a óxidos de hierro
P4= Fósforo autogénico
P5= Fósforo detrítico
MOT= Materia orgánica total
CO= Carbono orgánico
NT= Nitrógeno total.

RESUMEN

Se determinó el contenido de fósforo en fracciones geoquímicas (orgánico, inorgánico, autogénico, detrítico, adsorbido más asociados a óxidos, y total) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, representando los primeros estudios de fraccionamiento de fósforo en el sedimento de este importante ecosistema. 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. La textura sedimentaria predominante en la mayor parte de esta zona es de tipo limo-arenosa con una pequeña proporción de arcilla. Los resultados obtenidos mostraron niveles altos de fósforo orgánico, los cuales variaron entre 30,60 a 670,25 mg/kg, atribuyéndose estos valores al hecho que existe un gran aporte de materia orgánica fresca que contribuye como fuente principal de grandes cantidades de especies químicas fosfatadas. Seguidamente: fósforo detrítico (7,94 a 297,35 mg/kg); fósforo autogénico (26,79 a 63,19 mg/kg) y, por último, el fósforo adsorbido más asociado a óxidos de hierro (0,24 a 1,30 mg/kg). Para el caso del fósforo total y nitrógeno total las concentraciones se encontraron entre 98,67 y 1025,57mg/kg y 22,45 y 178,57mg/kg, respectivamente. Cabe destacar, que principalmente los procesos naturales y algunas actividades antrópicas que afectan toda la zona se consideran como uno de los principales factores que condicionan las elevadas concentraciones de materia orgánica, carbono, carbonatos y las diferentes fracciones de fosforo, estudiados en estos sedimentos.

INTRODUCCIÓN

Los sedimentos marinos se definen como un conjunto de materiales sólidos no consolidados de diferentes tamaños de partículas que se van depositando en el fondo de los mares y océanos por diferentes agentes de transporte. Ellos contienen acumulaciones de minerales detríticos, minerales precipitados químicamente y sustancias de origen orgánico (Che *et al.*, 2003). En épocas de vientos alisios se generan persistentes eventos de afloramiento, donde se aportan grandes cantidades de material detrítico orgánico e inorgánico al sedimento. En estos se encuentra una gran cantidad de elementos químicos, entre los cuales se destaca el fósforo, el cual es de gran interés debido a sus implicaciones en la productividad biológica de los ecosistemas marinos.

El fósforo es un nutriente esencial para los organismos vivos; en las aguas dulces y sistemas marinos está sujeto a procesos de transformación continua que incluyen consumo o pérdida del elemento en sus diferentes formas o especies. Es considerado como un parámetro crítico en la calidad de las aguas debido a su influencia en el proceso de eutrofización (Fuentes, 2001). La cantidad de fósforo que llega a los mares proviene de dos fuentes principales; natural y antrópica. Entre las fuentes de fósforo de origen natural cabe mencionar los depósitos minerales de rocas fosfóricas, las cuales desprenden este elemento mediante la meteorización y erosión, principalmente en forma de ortofosfatos. Las fuentes antrópicas puntuales incluyen las aguas servidas, domésticas e industriales, mientras que las no puntuales están asociadas con la escorrentía de áreas agrícolas y domésticas. Una fracción del fósforo de los fertilizantes agrícolas, orgánicos e inorgánicos, es removida parcialmente por las plantas, otra es arrastrada por el agua y el resto se acumula en los suelos trayendo como consecuencia la presencia de este elemento en ríos, lagos y mares.

En los sedimentos, el fósforo presenta una gran variedad de formas, incluyendo el orgánico, enlazado o adsorbido a compuestos de hierro, adsorbido a las arcillas, y en los minerales detríticos. Una vez en los sedimentos, una variedad de procesos diagenéticos comienzan a afectar la distribución de estas formas de fósforo. Estos resultan, generalmente, en un aumento de la concentración de fosfato disuelto en las agua intersticiales, en su mayoría por la descomposición de la materia orgánica y la liberación de fósforo de los minerales de hierro ya que estos compuestos se reducen en sedimentos anóxicos (Krom y Berner, 1980; Froelich *et al.*, 1982).

La especiación o fraccionamiento geoquímico del fósforo consiste en hacer extracciones secuenciales con diferentes soluciones, cuyo objetivo principal es separar y cuantificar las distintas formas de asociación de este elemento en el sedimento marino (Hupfer *et al.*, 1998; Jensen y Thamdrup, 1998). El fósforo desempeña un papel importante y decisivo en la regulación de la producción primaria de los océanos. Redfield (1958) propone que el fósforo es el elemento que limita la producción primaria en los ambientes oceánicos lejanos de las costas. El fósforo fue el factor principal en el control de la producción primaria oceánica en la escala geológica de tiempo (Howarth *et al.*, 2005). Las regiones costeras tienen la mayor productividad primaria de los océanos abiertos, y representan el mayor aporte para las pesquerías.

Actualmente, el estudio de las distintas fracciones de fósforo es uno de los tópicos de gran interés en las investigaciones oceanográficas y biogeoquímicas. Liebezeit (1991) realizó un fraccionamiento de fósforo del material obtenido de trampas de sedimentos del Mar de Marmara, al sur del mar de China y la Meseta submarina Voring, hallando que el fósforo inorgánico se puede originar del carbonato biogénico y el fósforo detrítico de minerales de arcilla, resto de peces y deposición atmosférica. Golterman (1996) realizó un fraccionamiento de fósforo en sedimentos marinos con compuestos quelatantes (NTA/EDTA) y

procedió, simultáneamente, a comparar el mismo con los métodos de extracción de Sedex 2000 (Ruttenberg, 1992) y Hieltes y Lijiklema (1980), encontrando que las extracciones con EDTA presentan muchas ventajas sobre estos otros métodos.

Para conocer la distribución de fósforo, se ha implementado una gran variedad de métodos entre los cuales se pueden mencionar, el método de Chang y Jackson (1957), el cual consiste en separar las 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, los de Amerman (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 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 (Sediment Extraction), en el cual se caracterizan 5 formas principales de fósforo (P) en los sedimentos marinos (Anderson y Delaney, 2000):

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 autogénica (formado *in situ*) + calcita + biogénicos apatita (acetato de sodio/ ácido acético (buffer 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, por atracción electrostática, 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.

Existen diversas modificaciones al método SEDEX propuesto inicialmente por Ruttenberg (1992), (Berner y Rao (1994), Schenau y De Lange (2000)) que intentan hacer más efectiva la extracción selectiva de las fracciones de fósforo en los sedimentos marinos. Fang *et 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_{DETR} . El $P_{\text{orgánico}}$ corresponde a la diferencia entre el PT y el $P_{\text{Inorgánico}}$. (Tabla 1)

Los procedimientos de extracción secuencial selectivas tienen muchas ventajas ya que permiten obtener, de forma individual, cada una de las fracciones de P presentes en los sedimentos. Además, ofrecen información sobre el origen, biodisponibilidad y movilización de este elemento en los sistemas marinos. Son casi inexistentes los antecedentes sobre el fraccionamiento del fósforo en Venezuela. Los diferentes trabajos tratan sólo el contenido de fósforo total en los sedimentos marinos (Jensen y Tramdrup, 1998)

Tabla 1. Procedimiento para la extracción selectiva del P y mecanismos de reacción propuesto por Berner y Rao (1994).

Paso	Tratamiento químico	Reacción	Fase extraída	SD (%)
I	$C_6H_5Na_3O_7$ 0,3 mol·l ⁻¹ + $NaHCO_3$ 1 mol·l ⁻¹ + 0,06 mol·l ⁻¹	Reducción del Fe ³⁺ y posterior formación de complejo con el Citrato	P ₃ P ligeramente absorbido P enlazado a óxidos e hidróxidos de Fe	3.2
II	Solución amortiguada de CH_3COOH/CH_3COONa 1mol·l ⁻¹	Disolución ácida a pH moderadamente bajo y formación de complejo del Ca con el acetato	Fluoroapatita Autogénica (Carbonato) e Hidroxiapatita biogénica P enlazado a $CaCO_3$, P ₄	3.5
III	HCl 1mol/l, 24 h de agitación	Disolución ácida	P Inorgánico total, P ₁	2.6
IV	Calcínación a 550 °C, 12 h HCl 1mol/l, 24 h	Oxidación en seco a 550 °C. extracción con HCl del residuo calcinado	Fósforo total, P _T	2.9

Se han estudiado otros parámetros de gran importancia desde el punto de vista ambiental, tales como el nitrógeno y la materia orgánica, los cuales se encuentran relacionados entre sí, ya que en aquellos sedimentos de tipo muy finos (arcillas y limos) se suelen encontrar grandes cantidades de materia orgánica y, por ende concentraciones elevadas de nitrógeno y fósforo, 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 y remoción orgánica de los ambientes sedimentarios (Bonilla y Lin, 1979). La materia orgánica es la principal fuente del sistema sedimentario, donde los mecanismos bióticos y abióticos juegan un papel prevaeciente. La materia orgánica puede ser formada, directamente del dióxido de carbono (CO₂) atmosférico y disuelto en las aguas, por las plantas terrestres y marinas a través de la fotosíntesis. Esta materia orgánica es destruida por oxidación. De este modo, el dióxido de

carbono (CO₂) es devuelto al sistema para completar el ciclo (Tissot y Welte, 1984).

La falta de estudios referidos al tema de fraccionamiento geoquímico del fósforo, en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, el cual se encuentra afectado por actividades agrícolas, industriales y pesqueras, hace necesario que se lleven a cabo investigaciones de este tipo. Para alcanzar tal fin, se plantearon los siguientes objetivos: Determinar el contenido de fósforo total y fraccionado en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, así como determinar el contenido de materia orgánica total en dicha área; para de esta manera establecer una correlación entre los contenidos de fósforo total y fraccionado que se obtengan con el de la materia orgánica total, la textura y otros parámetros geoquímicos evaluados en este estudio.

METODOLOGÍA

Área de muestreo

El Golfo de Cariaco se encuentra situado en la región nororiental de Venezuela, al este de la Fosa de Cariaco entre 10° 25' - 10° 35' de latitud Norte y 63° 13' 40'' - 63° 39' 50'' de longitud Oeste. El mismo tiene aproximadamente 62 km, de longitud en sentido Este-Oeste y un máximo de 15 km en su parte más ancha. Cubre un área de 642 km², su volumen se estima en 3,15 x 10⁷ km³, aproximadamente, y está separado de la depresión oriental por un umbral submarino entre 60 y 70 m de profundidad. Su entrada se encuentra ubicada por el oeste, con un ancho aproximado de 5,5 km y su característica topográfica principal es la presencia de una cuenca sedimentaria eventualmente anóxica ubicada en la parte sur de la región central, con una profundidad cercana a los 93 m, (Okuda *et al.*, 1978, Martínez, 2002).

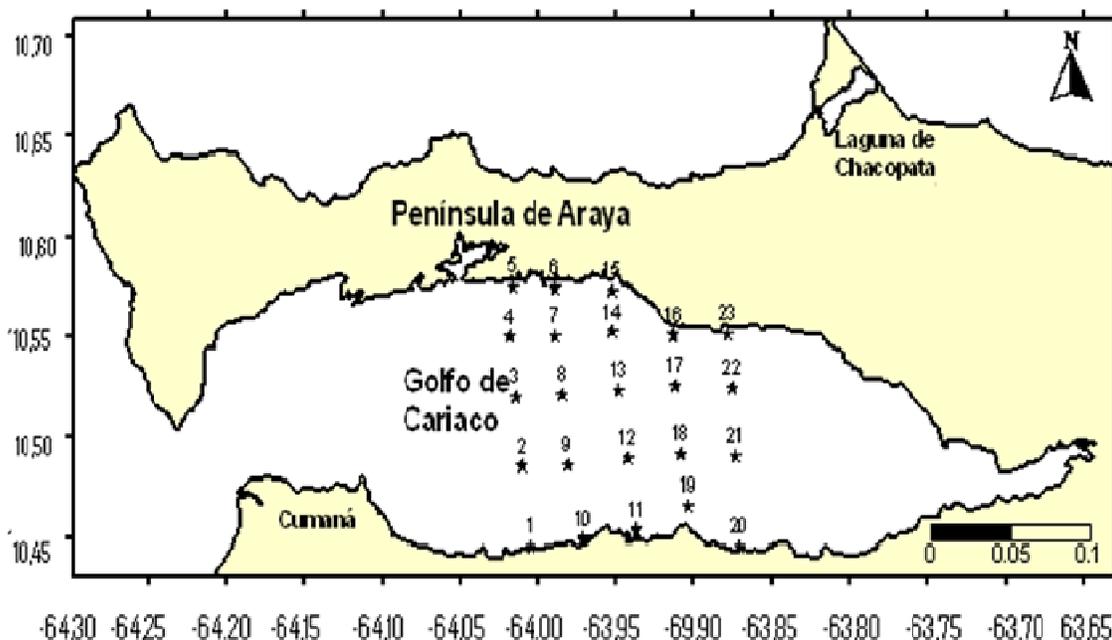


Figura 1. Distribución de las estaciones de muestreo para los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

El área de estudio se ubica en el sector central del golfo (Figura 1), el cual se encuentra afectado por las descargas de los ríos Manzanares y Carinicua, así como por las demás escorrentías límnicas continentales y por los efluentes domésticos de las poblaciones de Cumaná, Manicua, Marigüitar, San Antonio y otros centros poblados establecidos en sus márgenes.

Recolección de las muestras

Se recolectaron muestras de sedimentos superficiales en 23 estaciones ubicadas en el sector central del Golfo de Cariaco (Tabla 1), usando una draga Pertesen (Figura 2) a bordo del buque oceanográfico Guaiquerí II. Cada muestra fue almacenada en bolsas de polietileno previamente rotuladas y refrigeradas a -20°C , hasta el momento de su procesamiento y análisis en los laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente.

Tabla 2. Coordenadas de las estaciones del muestreo realizados en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

Estación (N°)	Latitud (°)	Longitud (°)
1	10,446	-64,005
2	10,486	-64,011
3	10,521	-64,015
4	10,550	-64,019
5	10,575	-64,016
6	10,575	-63,989
7	10,551	-63,989
8	10,521	-63,984
9	10,487	-63,981
10	10,450	-63,972
11	10,455	-63,938
12	10,490	-63,943
13	10,524	-63,949
14	10,553	-63,953
15	10,573	-63,953
16	10,551	-63,913
17	10,526	-63,912
18	10,492	-63,909
19	10,467	-63,904
20	10,446	-63,871
21	10,491	-63,874
22	10,525	-63,876
23	10,551	-63,879



Figura 2. Draga tipo Petersen para el muestreo de sedimentos superficiales.

Almacenamiento de los sedimentos

Una vez en el laboratorio, cada una de las muestras de sedimentos se descongelaron y se separaron en dos porciones, de las cuales, unas se secaron en la estufa a 60°C para luego pulverizarse en un mortero de porcelana y se conservaron en envases limpios para las respectivas determinaciones analíticas. La otra porción se secó a temperatura ambiente para los análisis de textura.

Análisis textural de los sedimentos

Para determinar las diferentes fracciones (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 temperatura de la suspensión. Al cabo de dos horas se volvió a tomar la densidad y temperatura de la 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

m = masa del sedimento

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

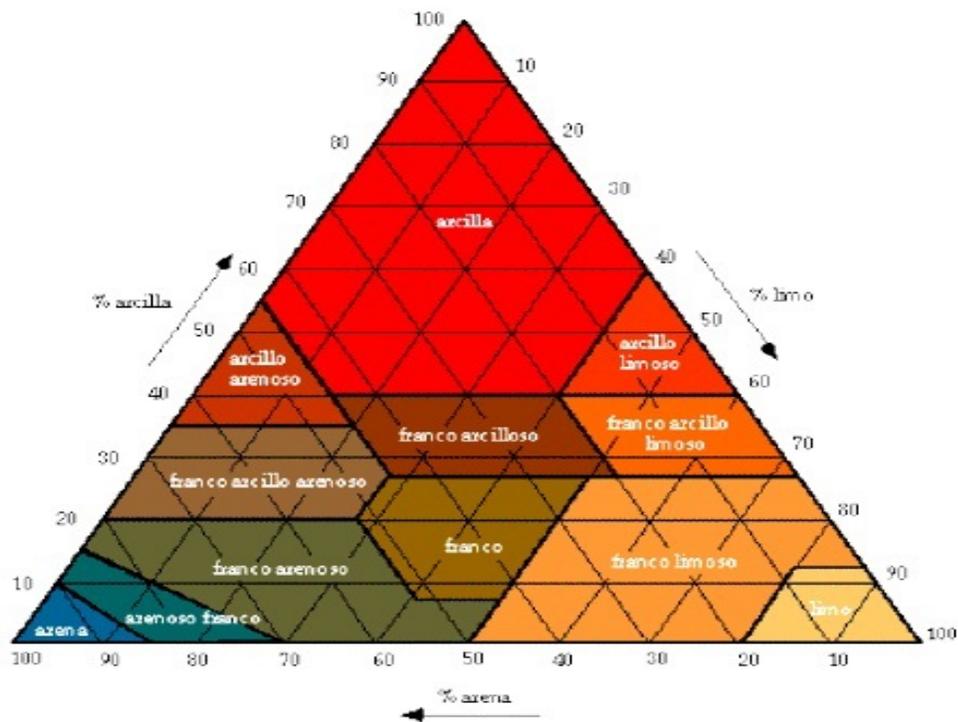


Figura 3. Triángulo de Shepard para la clasificación textural de los sedimentos marinos.

Materia volátil a 450°C en los sedimentos

Se logró 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, por último, fueron pesados estimándose 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; Okuda, 1964; Schumacher, 2002; Miyazawa *et al.*, 2000); modificado por Heanes (1984). Este método se fundamenta en la medición espectrofotométrica del color verde de los iones del Cr^{3+} , formados por la oxidación del carbono orgánico a 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 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.

El carbonato se determinó según el método de Rauret et al. (1988), descrito por Soto et al. (2003), titulando el exceso de ácido de una muestra de sedimento. En un vaso de precipitado de 250 ml de capacidad, previamente pesado y rotulado, se agregó 2 g de sedimento seco y HCl 1 mol/l hasta que se cubrió totalmente la muestra. Se dejó reaccionar hasta que ocurriese el desprendimiento de todo el carbonato como CO₂, el cual se indicó por la ausencia de efervescencia en la mezcla. Cesado la reacción se cuantificó el exceso de ácido en la muestra realizando una titulación por retroceso con NaOH 0,5 mol/l utilizando fenolftaleína como indicador.

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 (P_T).

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⁻¹, 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 inorgánico (P1) y fósforo orgánico (P2)

El fósforo inorgánico se determinó de la misma forma que P_T , pero sin el paso de la calcinación. A 200 mg de sedimento se le añadió 20 ml de HCl $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, 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 (P_O) fue indirectamente obtenida de la diferencia entre el fósforo total (P_T) y el fósforo total inorgánico (P_I) (Aspila *et al.*, 1976).

Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (P3)

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_{ABAS} . A una porción de sedimento seco (1 g aproximadamente) se le añadió 30 ml de una mezcla, conformada por soluciones de $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$ $0,3 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$; NaHCO_3 $1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ y $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ $0,06 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$, 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 (P4)

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_3COONa 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.

Nitrógeno total (N_T) Y fósforo total (P_T)

La determinación se realizó 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 persulfato 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^{-1} , 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 & 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 Tecnicon II marca Scientific Instruments, AC-100 a una longitud de onda de 840 nm.

Reproducibilidad de los métodos utilizados

La confiabilidad de los métodos fue chequeada usando tres (3) muestras de sedimentos (estaciones 2, 12 y 22). Cada muestra fue analizada por triplicado, determinándose la desviación estándar de las medidas para cada muestra.

Análisis Estadísticos

Los datos fueron procesados mediante un análisis estadístico multivariante a través de los paquetes estadísticos Statgraphics Plus 5.1. Para la prueba de correlación, se utilizó el programa Microsoft Office Excel 2007 para los cálculos de las concentraciones, diseño de tablas y los gráficos de barras.

A los resultados de fósforo total obtenidos por Sedex (Ruttenberg, 1992; Berner y Rao, 1994) y el método de Valderrama se le aplicó un análisis comparativo mediante el gráfico de cajas y bigotes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis textural del sedimento

La textura de un sedimento se refiere a la distribución porcentual de las partículas arenas, limos y arcillas en una muestra. La textura es un factor importante ya que define las propiedades geoquímicas de los sedimentos y la absorción de agua. El conjunto de partículas de un sedimento cuyo diámetro medio está comprendido entre 5,000 a 0,063 mm se llaman arenas; las de diámetro medio entre 0,063 y 0,002 mm se llaman limos, y aquellas cuyo diámetro medio es inferior a 0,002 mm forman las arcillas (Primo y Carrasco, 1973; Roa y Berthois, 1975). Según las fracciones que predominan en los sedimentos se dice que son arenosos, limosos o arcillosos o una mezcla de estos, y así se designa su textura.

La textura de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco (Figura 4), presentó un porcentaje de arena que varió entre un mínimo de 14,49% (estación 2) y un máximo de 94,24% (estación 23), encontrándose los mayores porcentajes en las estaciones 1 y 23 (Tabla A1). Estas estaciones se caracterizan por ser de alta energía, ocasionada por las fuertes corrientes que presenta esta región, provocando que las partículas de menor tamaño, como limo y arcillas, sean arrastrados con mayor facilidad dejando de cierta forma u otra, que sea el sedimento de mayor tamaño (arena) el que predomine en esta área.

Para el caso de los limos, se observa un máximo de 72,15% (estación 2) y las arcillas de 16,68% (estación 5), encontrándose estas altas proporciones en la parte central de la zona en estudio. Esto se puede deber a que estas áreas se caracterizan por ser de menor energía, lo que permite una mayor deposición de este tipo de partículas. Los valores más bajos fueron encontrados en la estación

23, con valores de 0,0% para los limos y 5,76 % para las arcillas, respectivamente.

Las estaciones que contienen mayores proporciones de partículas de limo y arcilla se sugiere que son hidrodinámicamente más estables, por el contrario en las estaciones con mayores proporciones de arena se sugiere una mayor intensidad en la circulación del agua (Valdés y Sifeddine *et al.*, 2009).

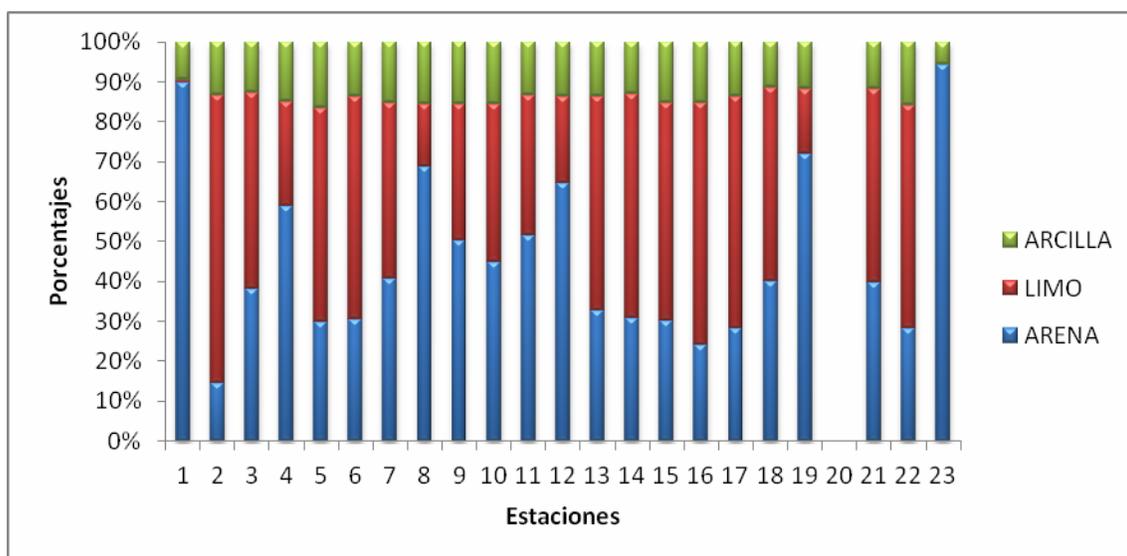


Figura 4. Composición granulométrica, (%), de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

A partir de la composición granulométrica y utilizando los fundamentos básicos del triángulo de Shepard (Figura 5), se observa que el área estudiada está conformada por altas proporciones de limo y arena, y menores proporciones de arcilla. La textura predominante fue la limo-arenosa. La textura limo arenosa son mezclas en las que predomina el limo de grano grueso con arena muy fina (Soledispa, 2007). También, se encontró textura areno-limosa y arenosa en los sedimentos de esta zona (Tabla A1).

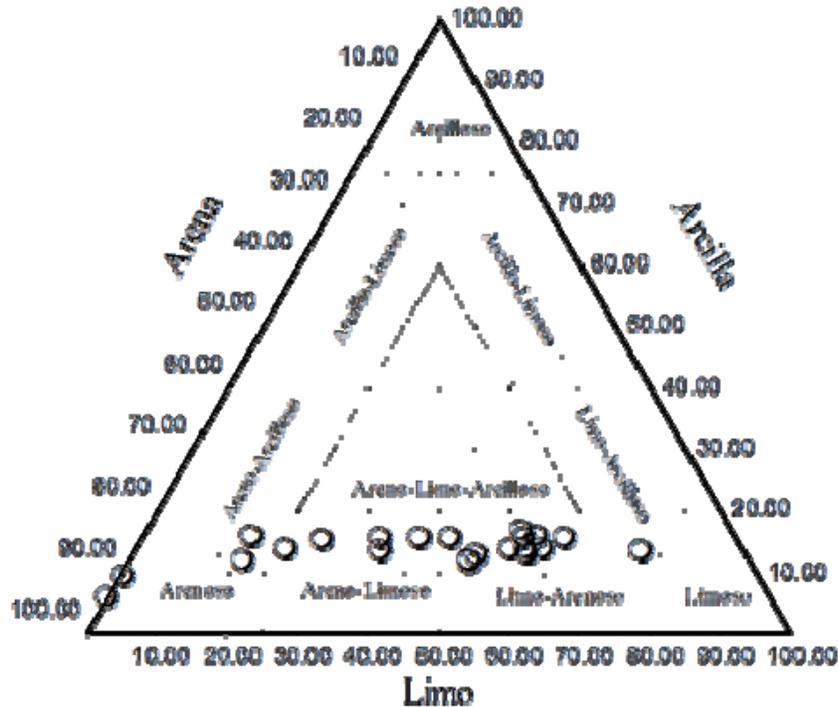


Figura 5. Clasificación textural de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, según el triángulo de Sheppard.

La Figura 6 muestra la distribución espacial de la textura de los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco. La región estudiada presenta una predominancia de sedimentos limo-arenosos en la mayoría de las estaciones (Tabla A1), localizándose en la costa norte y centro de la zona en estudio. La segunda textura predominante fue la areno-limosa la cual se localizó mayormente en la costa sur de la zona en estudio, mientras que las restantes estaciones presentaron textura arenosa.

La granulometría de las estaciones se ve también influenciada por las actividades antrópicas que se efectúan a sus alrededores. Bonilla *et al.* (1995), registraron para el ecosistema marino costero de Jose, un valor promedio de arenas de 40,82%, inferior a los encontrados en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, Venezuela, debiéndose a la abundancia de sedimentos gruesos (arenosos) transportados por las escorrentías límnicas

continentales de la costa Sur del Golfo, las cuales presentan recorridos muy cortos desde las vertientes montañosas cercanas. Wetter (2008) en un estudio realizado en los sedimentos superficiales del río Manzanares, Venezuela, encontró una alta proporción de arena (hasta 96,84%) en todo el recorrido del río, inferiores a los de esta investigación, lo que le permitió clasificar su sedimento en su mayoría como arenoso. Por otra parte, Landaeta (2002) determinó en los sedimentos superficiales en la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, un 99,41% de arena y un bajo contenido de limo y arcilla.

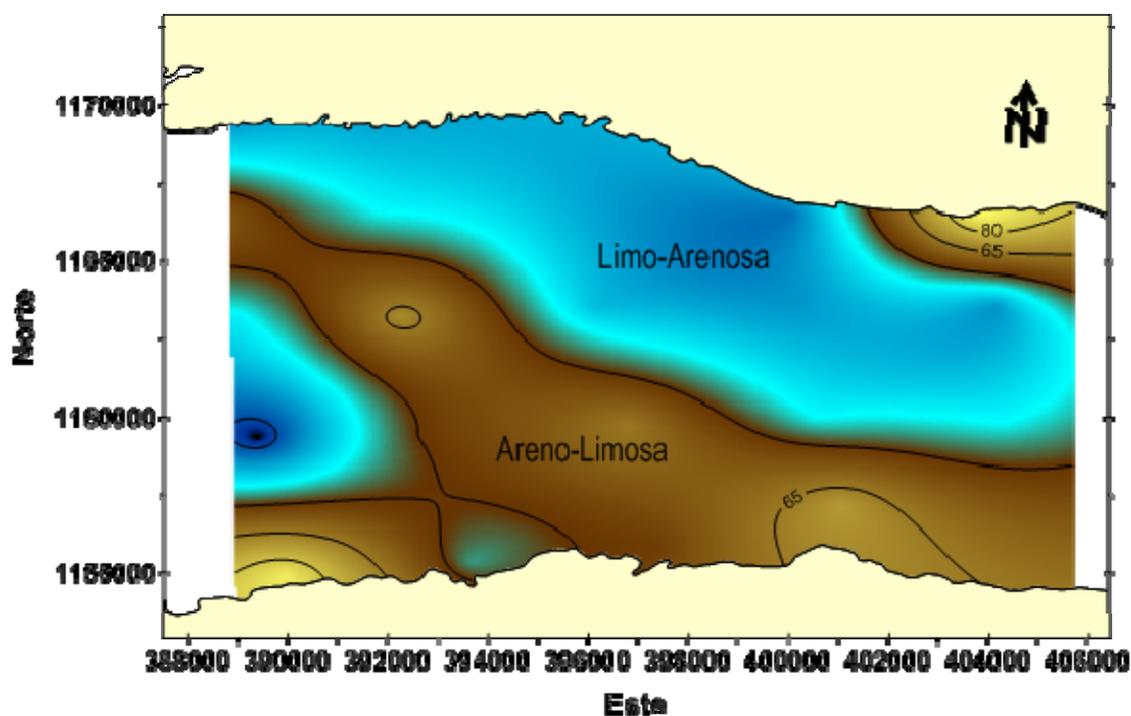


Figura 6. Distribución textural de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Materia volátil a 450°C en los sedimentos

La materia orgánica del suelo es la fracción que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición. La materia orgánica es muy amplia pues incluye tanto a los materiales poco alterados como a aquellos que

sí han experimentado cambios y transformación dentro del sedimento. Además se pueden incluir compuestos orgánicos tóxicos, provenientes de las actividades industriales del hombre (Etchevers, 1988).

El estudio del contenido de materia orgánica, estimada a partir de la pérdida por calcinación a 450°C, en los sedimentos marinos es de gran importancia, ya que por medio de este se puede determinar la tasa de recambio del material orgánico entre este compartimiento y el agua circundante, que es lo que mantiene la productividad y dinámica del sistema (Ocando, 1992).

La cantidad de material volátil a 450°C encontrada en los sedimentos del área de estudio, varió entre 1,51% en la estación 1 y 27,41% en la estación 5 (Tabla A2). En la Figura 7, se puede observar este comportamiento de forma detallada en las distintas estaciones.

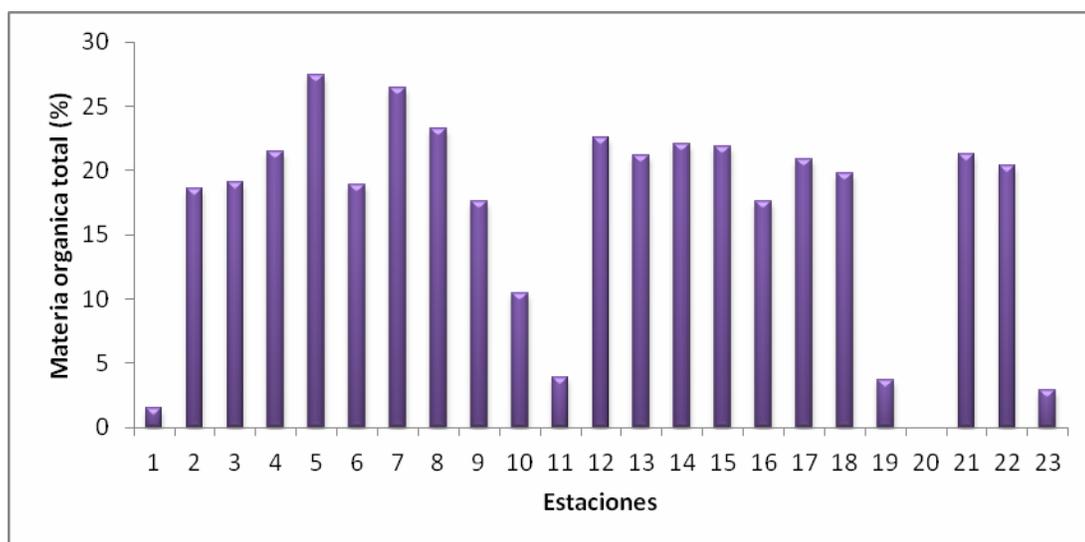


Figura 7. Materia volátil a 450°C, expresada como materia orgánica total, en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

El relativo alto contenido de materia volátil a 450°C se ubicó en la estación 5 con un valor de 27,41%, esto se debe al mayor aporte sedimentario de procesos naturales, durante los eventos de surgencia.

El contenido orgánico en los sedimentos está estrechamente relacionado con la composición granulométrica, siendo los sedimentos con mayores proporciones de limos y arcillas los que retuvieron mayor cantidad de materia orgánica. Esto pudo observarse en los valores elevados de materia volátil a 450°C de las estaciones con altas proporciones de limos (Tabla A1).

La Figura 8, muestra la distribución espacial de la materia orgánica total en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco. Los valores máximos (18,5 a 27,41%), se ubicaron en la zona noroeste y central del área en estudio. Las concentraciones más bajas de materia volátil a 450°C se localizaron en la costa sur y noreste de la zona, notando también que en dichos lugares se encontraron altos porcentajes de arena donde no ocurre la preservación del material orgánico que pueda sedimentarse en estas zonas, ya que facilita la difusión del oxígeno disuelto entre granos, provocando la oxidación rápida de la materia orgánica en deposición.

Valores comparables a los determinados en este estudio fueron reportados por López (2002) en sedimentos de la laguna de Píritu, con valores que variaron entre 1,35 y 17,69%, inferiores a los reportados en este estudio, indicando que la materia orgánica guarda una estrecha relación con el tipo de sedimento. Wetter (2008), en un estudio en los sedimentos superficiales del río Manzanares, reportó concentraciones inferiores a las encontradas en la zona de estudio, indicando que pudo deberse a las lluvias que arrastraron gran cantidad de material orgánico hasta depositarlo en el sedimento. González (2010) reportó para los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de

Cariaco, valores entre 4,04 y 12,22%, posiblemente producto de las condiciones granulométricas que presenta dicha zona.

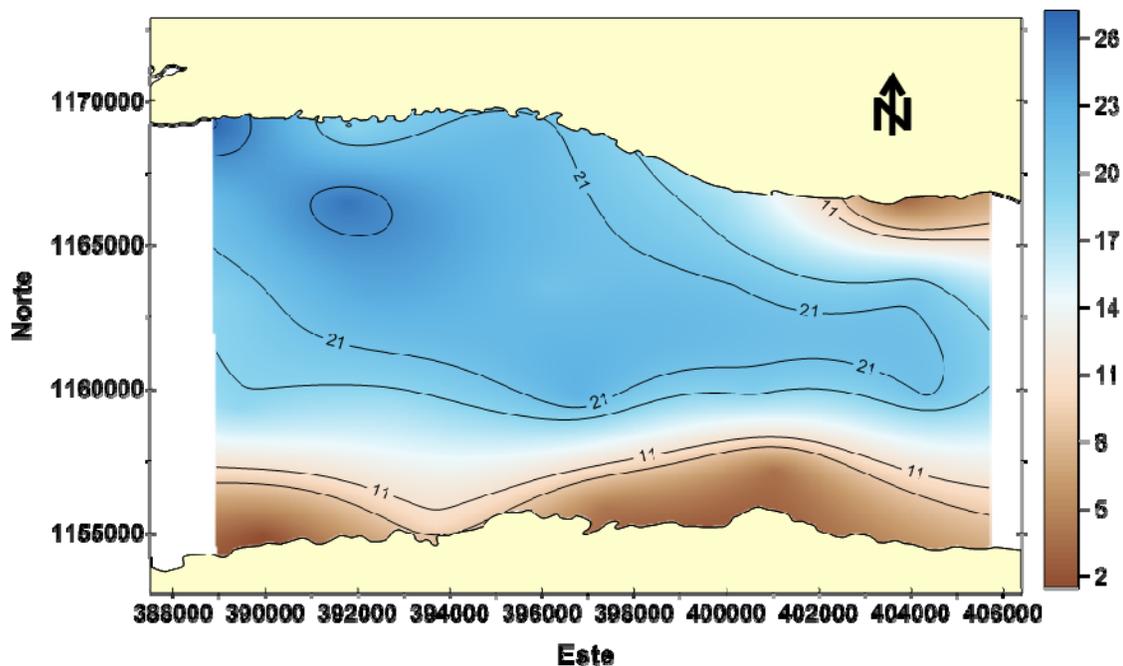


Figura 8. Distribución espacial de materia volátil a 450°C (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco.

Carbono orgánico (CO)

El carbono orgánico es uno de los principales componentes de los seres vivos: aproximadamente 50% del peso seco de la materia orgánica, es carbono. En el medio ambiente, su ciclo está estrechamente ligado al flujo de energía, debido a que las principales reservas de energía de los organismos son compuestos de carbono reducidos que han derivado de la fijación del CO_2 atmosférico, ya sea por medio de la fotosíntesis o, con menor frecuencia de la quimiosíntesis (Tiessen y Moir, 1993). Las plantas y los animales que mueren son desintegrados por los microorganismos (bacterias y hongos), los cuales regresan el carbono al medioambiente en forma de bióxido de carbono (Baker y Herson, 1994). La materia orgánica es una de las principales fuentes de este elemento, razón por la cual existe una gran acumulación de CO en esta zona,

también pudieron presentar aportes de MO generada *in situ* por la actividad orgánica de la zona.

Las concentraciones de CO oscilaron entre un mínimo de 1,15% en la estación 1 y un máximo de 15,58% en la estación 13 (Figura 9), con un promedio 9,94%, donde la mayor proporción se ubicó en un área con altos valores de limo, y una pequeña proporción de arcilla (Tabla A1).

Lo contrario ocurre donde se encontró concentraciones menores de CO, específicamente en la estación 1, donde existe condiciones más oxidantes que no favorecen la preservación y acumulación del material orgánico, ya que observando la Tabla A1, se nota que esta zona presentó una alta cantidad de sedimento de tipo arenoso.

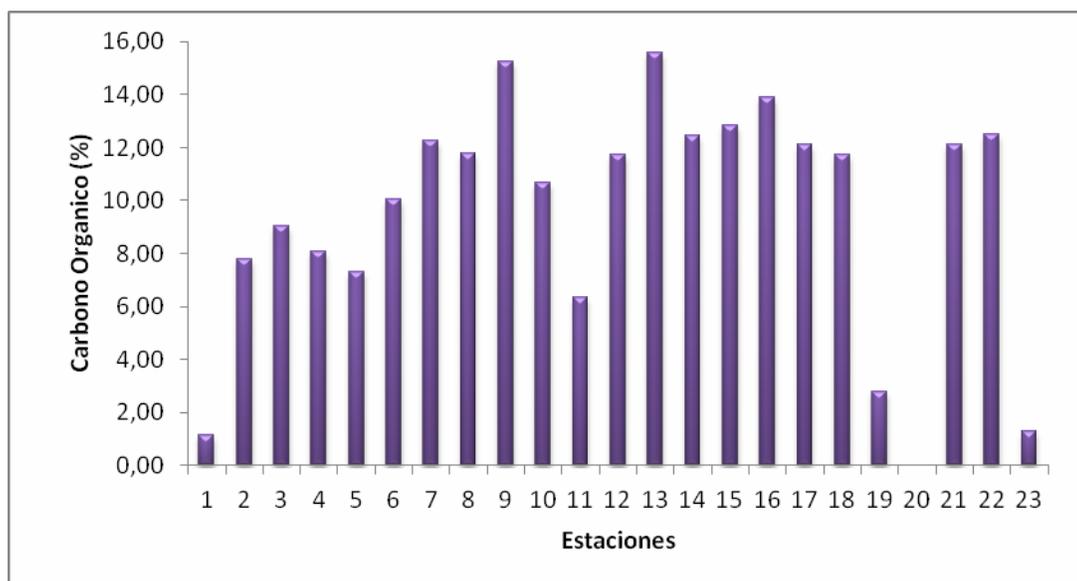


Figura 9. Porcentaje de Carbono orgánico en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

La Figura 10 muestra la distribución espacial del Carbono Orgánico (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco. Las mayores concentraciones se ubicaron en la costa nororiental, central y este del área de estudio, mientras que las bajas concentraciones se localizaron en la costa sur.

Se observa una relación significativa entre la MO, CO y la textura del sedimento, puesto que las altas concentraciones de MO y CO, se ubicaron en los sedimentos donde predominó la textura limosa y arcillosa. En cambio, las concentraciones menores se observaron en los sedimentos arenosos.

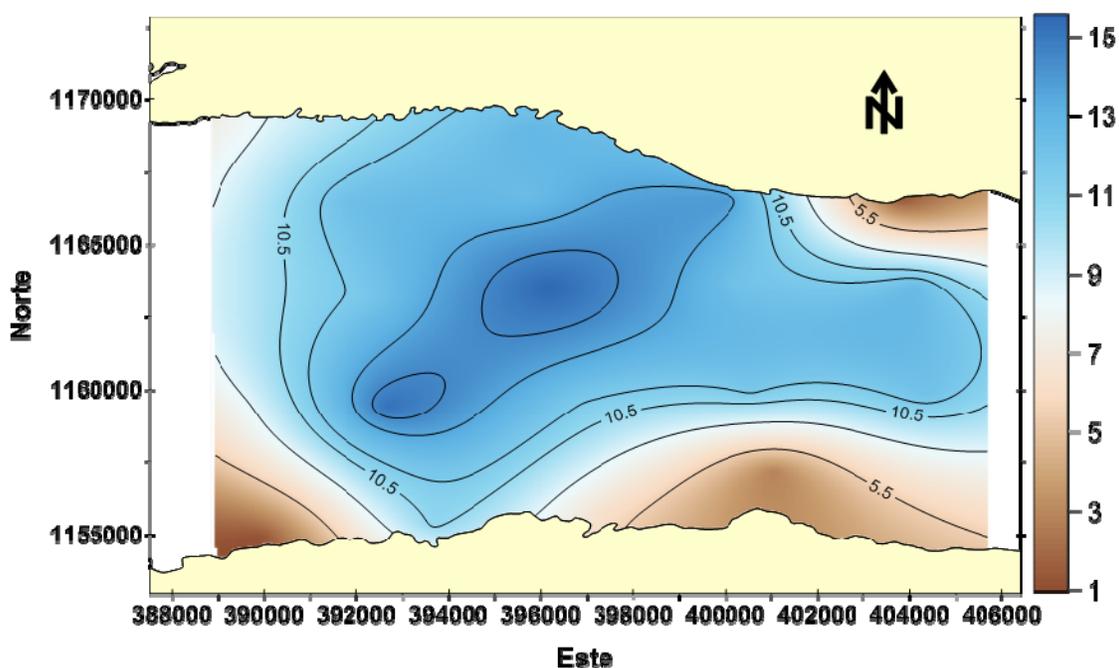


Figura 10. Distribución espacial de Carbono orgánico (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Los valores hallados en este estudio son mayores a los reportados por Moya (2010) en los sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco (1,52%); González (2010) realizó un estudio a los sedimentos de la periferia de la cuenca de Cariaco (0,55%), ambas reportaron en sus estudios que predominaron sedimentos de textura arenosa. Bonilla y Lin (1979) en los sedimentos del Golfo de Cariaco (4,18%); Bonilla (1982) para la Cuenca de Cariaco (5,56%); Aranda (1999) en la Ensenada Grande del Obispo (1,07%); Márquez *et al.* (2005) y Velásquez (2005), donde los valores oscilaron desde 0,06 a 2,30%, y de 0,21% a 6,46%, respectivamente.

Carbonatos

Los sedimentos marinos son un reservorio de iones calcio y carbonato, sobre todo en los sedimentos costeros de los trópicos y subtrópicos, donde las temperaturas cálidas favorecen su deposición, biogénica e inorgánica. La disolución y precipitación de minerales autigénicos, como los carbonatos, controlan las concentraciones de calcio en el agua de mar y en los sedimentos (Sadiq, 1992). Los carbonatos, son componentes geoquímicos que reflejan el balance orgánico e inorgánico del carbono de un determinado sistema sedimentario. Por lo tanto, su determinación y estudio, es de vital importancia para determinar la actividad biogénica prevaleciente (García, 2006).

Los contenidos de carbonatos obtenidos en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, se representan en la Figura 11 y en la Tabla A2 del apéndice. Las mayores concentraciones se determinaron en las estaciones 5 y 23 con 37,30 y 100% respectivamente. La estación 19 muestra el valor más bajo (7,46%). El alto contenido de carbonatos en la estación 23 (textura arenosa) indica que son arenas carbonáticas, sin embargo en las estaciones 1 y 8 que poseen un alto porcentaje de arena el porcentaje de carbonatos es bajo en comparación con la estación 23, lo que indica que estas arenas tienen un alto contenido de silicatos, además los altos valores de carbonato de calcio confirman que estos sedimentos son típicamente biogénicos calcáreas con una deposición de tendencia bioclástica, favorecido por la contribución biogénica y por la presencia de gran cantidad de conchas calizas de moluscos, responsables del aporte de carbonatos.

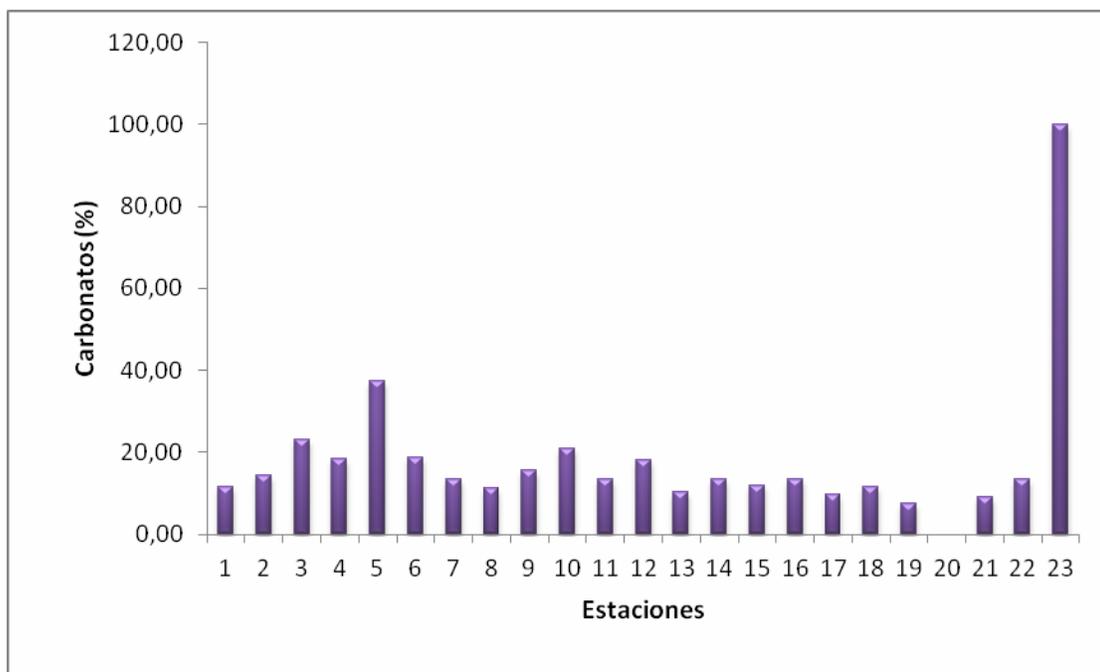


Figura 11. Porcentaje de Carbonatos en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

En la Figura 12 se observa que la mayor concentración de carbonatos se ubica en la costa noreste del sector central del Golfo de Cariaco, mientras que en el resto del área de estudio se observa una distribución del carbonato homogénea.

Bonilla *et al.* (1986) reportaron un promedio de 34,73% de carbonatos en la bahía de Bergantín y 37,18% en la bahía de Pozuelos. Velásquez (2005) en el Saco del Golfo de Cariaco reportó valores promedio de carbonato de 13,26 % para la temporada de sequía y de 19,33% para la temporada de lluvia. Mientras que, Caraballo (1982) reportó porcentajes de carbonatos entre 26 y 50% en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. Todos estos valores referenciales son superiores a los encontrados en la presente investigación.

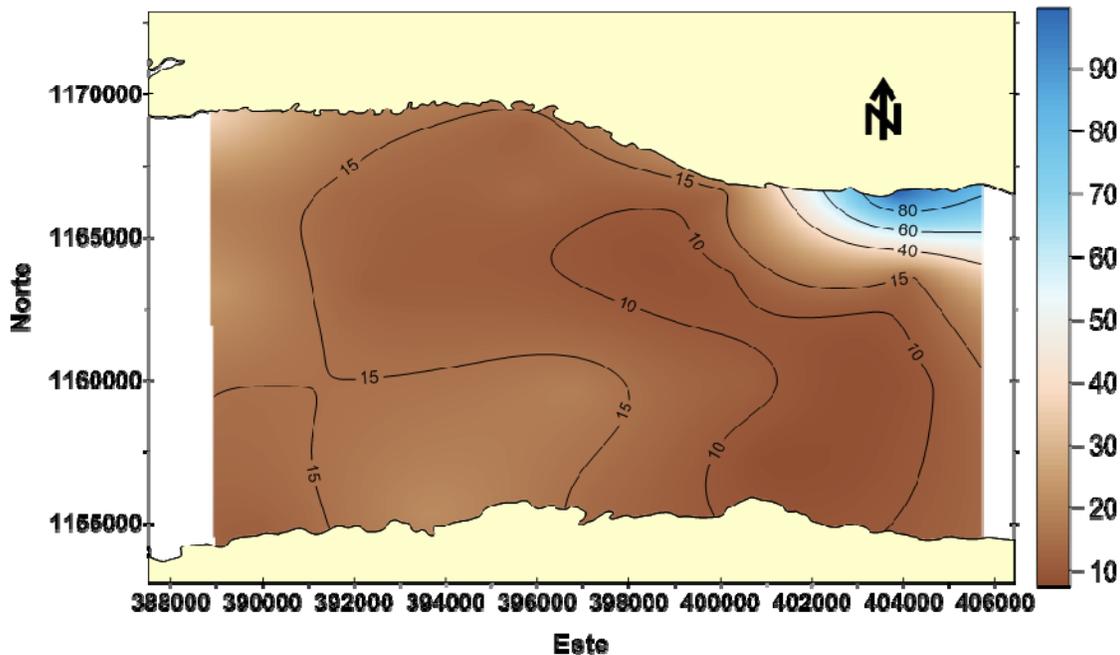


Figura 12. Distribución espacial de Carbonatos (%) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

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 de desechos y tratamientos de aguas (Casanova, 1991). Es parte de los productos de las excretas de los seres vivos y se encuentra contenido principalmente en fertilizantes, pesticidas, 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).

Reproducibilidad y precisión de los métodos utilizados

Tabla 3 Reproducibilidad del método Sedex (Berner y Rao 1994), utilizado en el fraccionamiento de fósforo (mg/kg), en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela.

Replica (Est.2)	P1	P2	P3	P4	P5	PT
1	197,75	609,21	0,99	53,12	143,64	806,96
2	198,56	607,43	1,20	52,98	144,38	805,99
3	196,96	610,02	1,30	51,72	143,94	806,98
Promedio	197,76	608,89	1,16	52,61	143,99	806,64
Máximo	198,56	610,02	1,30	53,12	144,38	806,98
Mínimo	196,96	607,43	0,99	51,72	143,64	805,99
DS	0,80	1,32	0,16	0,77	0,37	0,57
Replica (est.12)	P1	P2	P3	P4	P5	PT
1	225,53	519,44	0,74	44,01	180,78	744,97
2	226,01	519,98	0,75	44,98	180,28	745,99
3	225,99	520,13	0,75	45,12	180,12	746,12
Promedio	225,84	519,85	0,75	44,70	180,39	745,69
Máximo	226,01	520,13	0,75	45,12	180,78	746,12
Mínimo	225,53	519,44	0,74	44,01	180,12	744,97
DS	0,27	0,36	0,01	0,60	0,34	0,63
Replica (est.22)	P1	P2	P3	P4	P5	PT
1	261,98	639,00	0,70	55,98	205,30	900,98
2	262,01	639,00	0,71	55,89	205,41	901,01
3	261,89	639,02	0,69	56,10	205,10	900,91
Promedio	261,96	639,01	0,70	55,99	205,27	900,97
Máximo	262,01	639,02	0,71	56,10	205,41	901,01
Mínimo	261,89	639,00	0,69	55,89	205,10	900,91
DS	0,06	0,01	0,01	0,11	0,16	0,05

DS: Desviación Estándar.

El método fue chequeado utilizando tres muestras de sedimentos (estaciones 2, 12 y 22). Cada muestra fue analizada por triplicado, determinándose los

máximos, mínimos, promedio y la desviación estándar de las medidas para cada una de las fracciones geoquímicas 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, lo que hace a este método muy confiable para el fraccionamiento geoquímico de fósforo en sedimentos marino.

Fósforo total (PT).

Los valores obtenidos de PT en este estudio presentaron un mínimo de 98,67 mg/kg y un máximo de 1025,57 mg/kg en las estaciones 1 y 5 respectivamente (Figura 12), con un promedio de 638,71 mg/kg (Tabla A3). Este fenómeno podría atribuirse al hecho que existe un gran aporte de materia orgánica fresca que contribuye como fuente principal de grandes cantidades de especies químicas fosfatadas; la excreción directa de los peces y el zooplancton, al igual que la sedimentación de desechos orgánicos, hacen que se acumule sobre los sedimento grandes cantidades de fosforo (Bonilla *et al.*, 1995).

Por otra parte, se puede observar que el tipo de fósforo que predomina en la mayor parte de esta región es el fósforo orgánico (P2), atribuyéndose a las grandes concentraciones de materia orgánica reportadas en este estudio, seguido en orden secuencial por el fósforo detrítico (P5), fósforo autogénico (P4) y por último el fósforo absorbido y asociado a óxidos (P3), como se muestra en la figura 13.

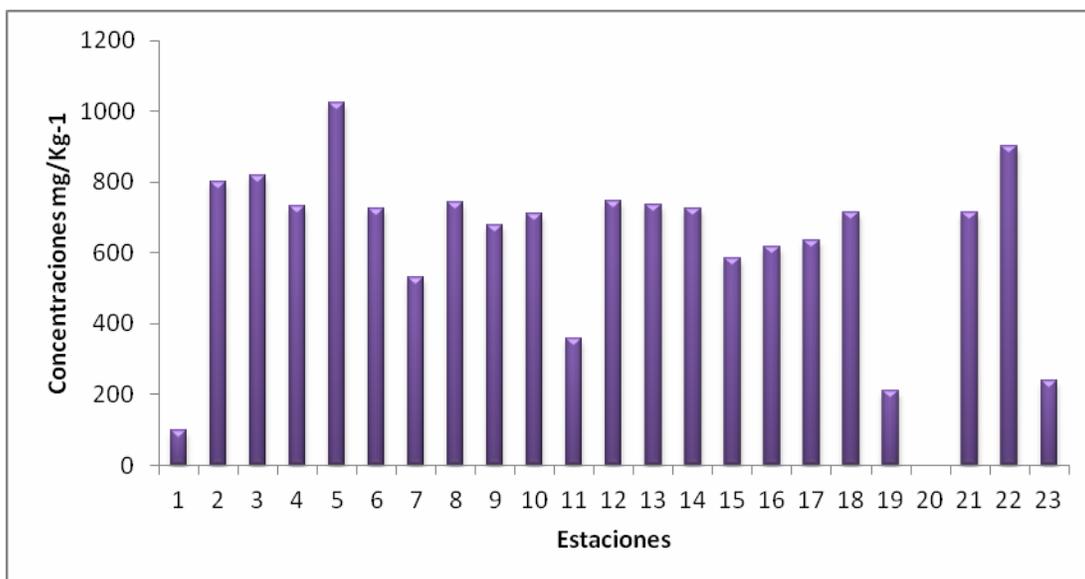


Figura 12. Concentraciones de fósforo total (mg/kg) en cada una de las estaciones establecidas en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

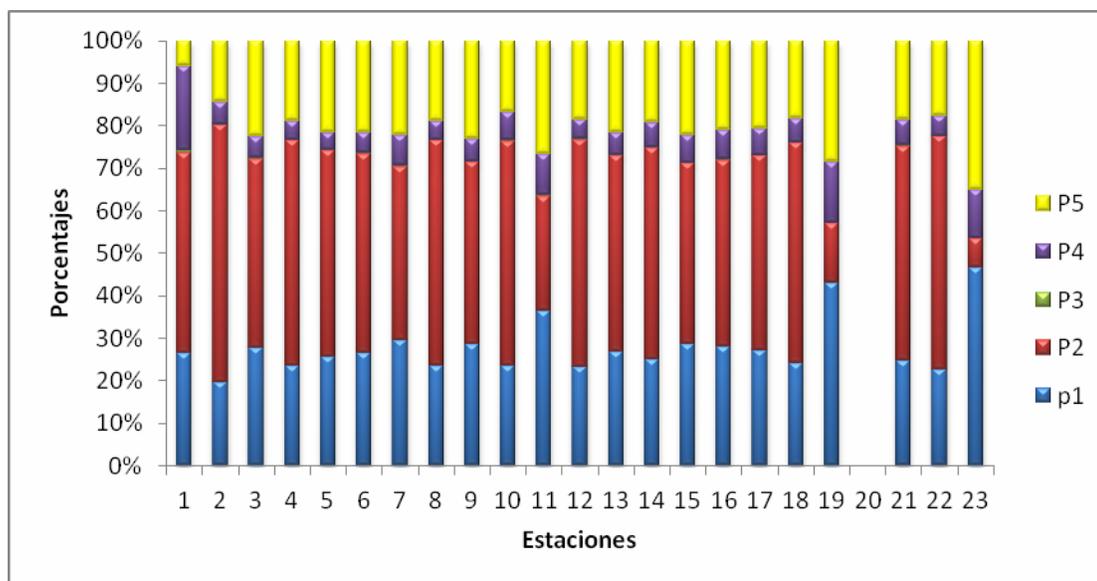


Figura 13. Fraccionamiento geoquímico del fósforo total (%) en el sector central del Golfo de Cariaco.

En la distribución espacial del fósforo total (Figura 14), se observa que las mayores concentraciones se ubican en el sector nororiental y central de la zona.

En cambio las más bajas están ubicadas en la parte sur y noreste. Las zona donde se hallaron elevadas concentraciones de fosforo se presenta una predominancia textural tipo limo-arenosa. Podría decirse, que existe una relación entre la textura del sedimento y el contenido de PT presente en ellos. Un contenido elevado de limos y arcillas coincide con contenidos elevados de fósforo.

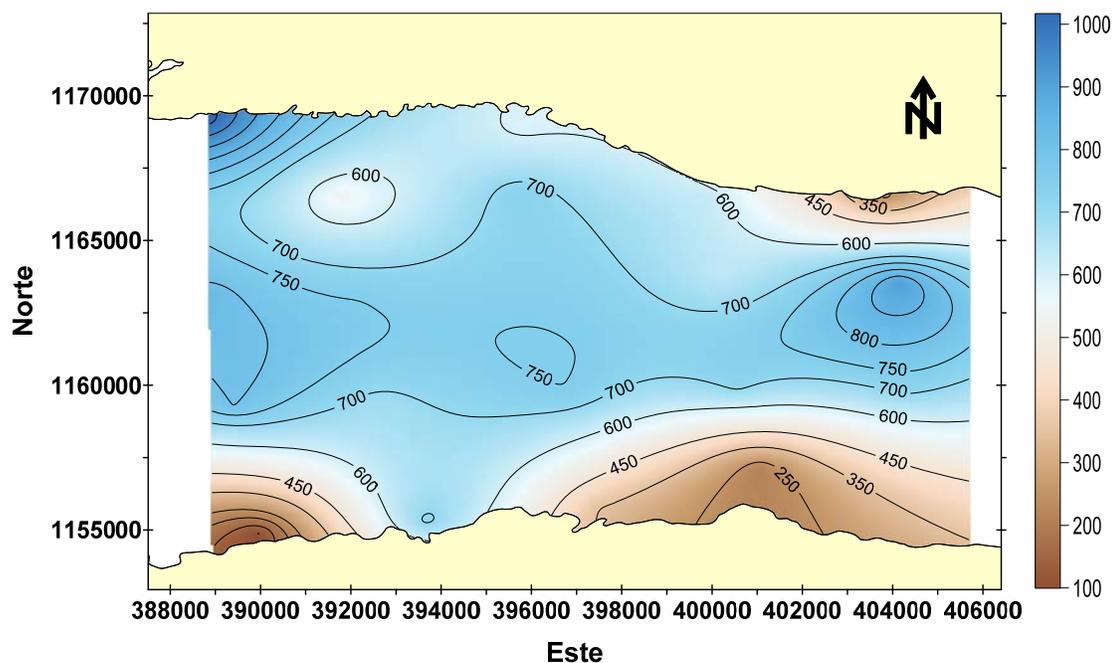


Figura 14. Distribución espacial de fósforo total (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

Ruttenberg (1992) reportó valores comprendidos entre 26,81 y 88,24 (mg/kg) de PT, señalando que estos valores se encuentran asociados a sedimentos arcillosos, los cuales adsorben cantidades altas de fósforo. López (2002) halló valores de PT comprendidos entre 70,63 y 310,45 mg/kg en los sedimentos de la laguna de Píritu, valores que están asociados a los aportes antrópicos y a una alta productividad biológica. Valores cercanos a los encontrados en esta investigación fueron los hallados por Márquez *et al.* (2007) en la laguna de los Patos ubicada, muy cercana a la ciudad de Cumaná, estado Sucre-Venezuela,

receptora de las aguas provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales, donde predominan los sedimentos areno-limoso y areno arcilloso de textura gelatinosa, reportando cantidades variables de PT con valores entre 29,89 mg/kg en el centro hasta 950,63 mg/kg en su extremo sur. 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.

Una manera muy sencilla de verificar los resultados de fósforo total obtenido por este medio, fue haciendo uso del método de Valderrama (1981), por el cual 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 (Tabla A4).

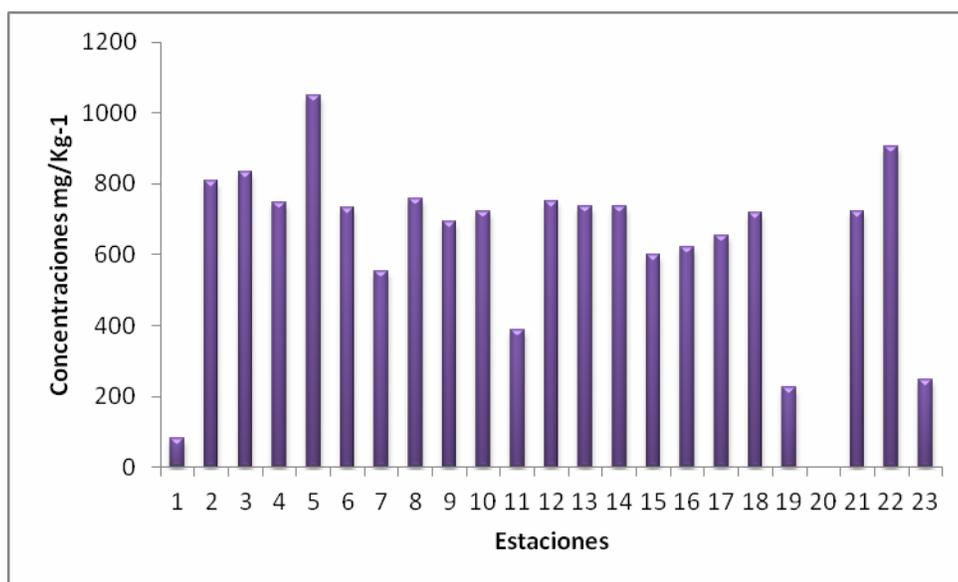


Figura 15. Concentraciones de fósforo total (mg/kg) presente en cada una de las estaciones situadas en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, obtenidos por el método de Valderrama.

Fósforo inorgánico (P1)

El fósforo se encuentra en los sedimentos marinos principalmente en forma inorgánica, asociado con el carbonato de calcio; también puede encontrarse en forma orgánica, relacionado con el contenido de materia orgánica, que mediante procesos abióticos por actividad microbiana, el fósforo orgánico puede transformarse a su forma inorgánica. Es por esto que el $\text{CaCO}_3\text{-P}$, es considerado la forma más importante que controla las concentraciones de fósforo en el agua de mar y en los sedimentos marinos; esto probablemente, es porque el fósforo antropogénico reacciona con el calcio del carbonato para formar fosfato cálcico en solución sólida biogénica de CaCO_3 (Sadiq, 1992).

Las concentraciones de fósforo inorgánico oscilaron entre un mínimo de 34,41 mg/kg y un máximo de 355,32 mg/kg en las estaciones 1 y 5, respectivamente (Tabla A3), representando el 39,76% del fósforo total (Figura 13). Estas proporciones se derivan de fuentes de origen tanto natural como antrópica. Cabe mencionar los depósitos y rocas fosfóricas, las cuales desprenden fósforo, principalmente en forma de ortofosfato, mediante erosión, además de incluir las aguas servidas domésticas e industriales y las escorrentías de áreas agrícolas y domésticas.

Observando la distribución espacial del fósforo inorgánico en el sector central del Golfo de Cariaco (Figura 16), se hallaron las más altas concentraciones en la costa nororiental, central y este de la zona; mientras que las bajas concentraciones se ubicaron en la costa sur.

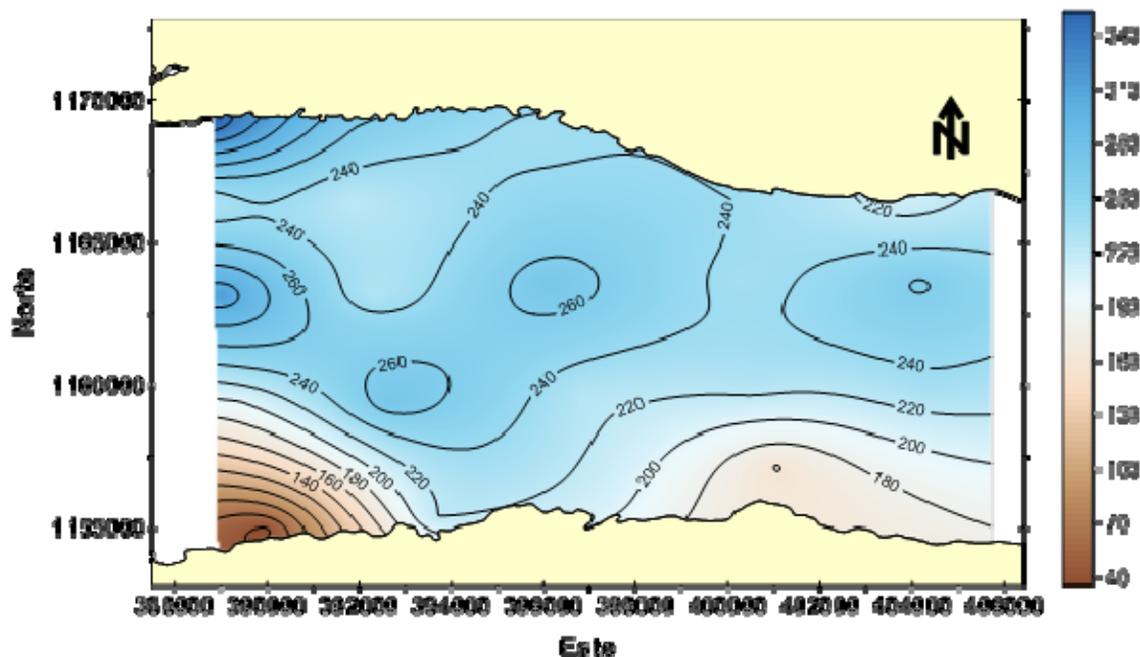


Figura 16. Distribución espacial del fósforo inorgánico (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Patiño (2005) reportó un promedio de 0,072% de fósforo inorgánico en los sedimentos del litoral costero norte de la isla de Cubagua-Venezuela. Hurtado (2008) registró valores de fósforo inorgánico que oscilaron entre 58,96 y 99,71% en los sedimentos superficiales de la región marino-costera de El Morro de Puerto Santo. González (2010) halló un 299,45 mg/kg de fósforo inorgánico en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, valor inferior a los encontrados en este estudio.

Fósforo orgánico (P2)

El estudio y evolución del fósforo orgánico presente en los sedimentos permite dilucidar los procesos metabólicos, además ayuda a entender los cambios diagénéticos, los mecanismos biogeoquímicos de biodegradación y remoción que ocurre en los sedimentos (Qiu y McComb, 2000). El fósforo orgánico se

asocia a la materia orgánica, la cual debido a la actividad bacteriana se transforma dando lugar a la forma de fósforo inorgánico.

McDowell *et al.* (2002) señalaron que los materiales orgánicos acumulados en los sedimentos pueden ser clasificados en dos tipos: constituyentes alóctonos y autóctonos. El principal problema es diferenciarlos en el medio ambiente. Estas se diferencian en su composición; el material autóctono se asemeja más a los productos biológicos primarios, mientras que la fracción alóctona está principalmente compuesta de productos de reacciones secundarias, como ácido húmico y kerógeno.

Las concentraciones de fósforo orgánico en esta investigación, varían entre 30,60 mg/kg y 670,2 mg/kg en las estaciones 23 y 5, respectivamente (Tabla A3). Estas proporciones se atribuyen a las grandes concentraciones de materia orgánica reportadas en este estudio. El fósforo orgánico está asociado fuertemente a la materia orgánica y carbono orgánico. Ambos tienen el mismo sistema de transporte y son geoquímicamente similares, como se evidencia en la correlación significativa entre ambos parámetros.

La Figura 16, muestra la distribución espacial del fósforo orgánico presente en el área de estudio, observándose en la parte nororiental, central y este, las más elevadas concentraciones de este tipo de fósforo y las bajas concentraciones ubicadas en la parte sur y noreste de la zona estudiada.

Fuentes *et al.* (1997) determinaron porcentajes de fósforo orgánico, los cuales variaron de 1,52% a 7,47%, en sedimentos de la Laguna de Chacopata, señalando que en la superficie de esos sedimentos se encuentra una gran cantidad de sustancias húmicas; las cuales son mezclas complejas de varios electrolitos orgánicos, formados por la actividad microbiana a partir de la biomasa muerta, principalmente de residuos de plantas. Aranda (1999) reportó

valores de fósforo orgánico entre 1,08% y 9,78% en sedimentos de la Ensenada Grande del Obispo, indicando que los valores de fósforo orgánico están asociados a los procesos de adsorción del fósforo. Anderson y Delaney (2000) determinó porcentajes de fósforo orgánico entre 11,23% y 38,45%, señalando que los valores de fósforo pudieran estar asociados con la degradación de la materia orgánica presente en el sedimento, prevaleciendo los mecanismos abióticos. Astudillo y Bellorín (2006) reportaron valores de fósforo orgánico entre 7,01% y 15,80% en sedimentos superficiales de la Laguna de Buena Vista (Cariaco, estado Sucre); los autores señalan que estos valores pueden ser explicados por la baja tasa de deposición de los desechos orgánicos e inorgánicos sobre las partículas de los sedimentos.

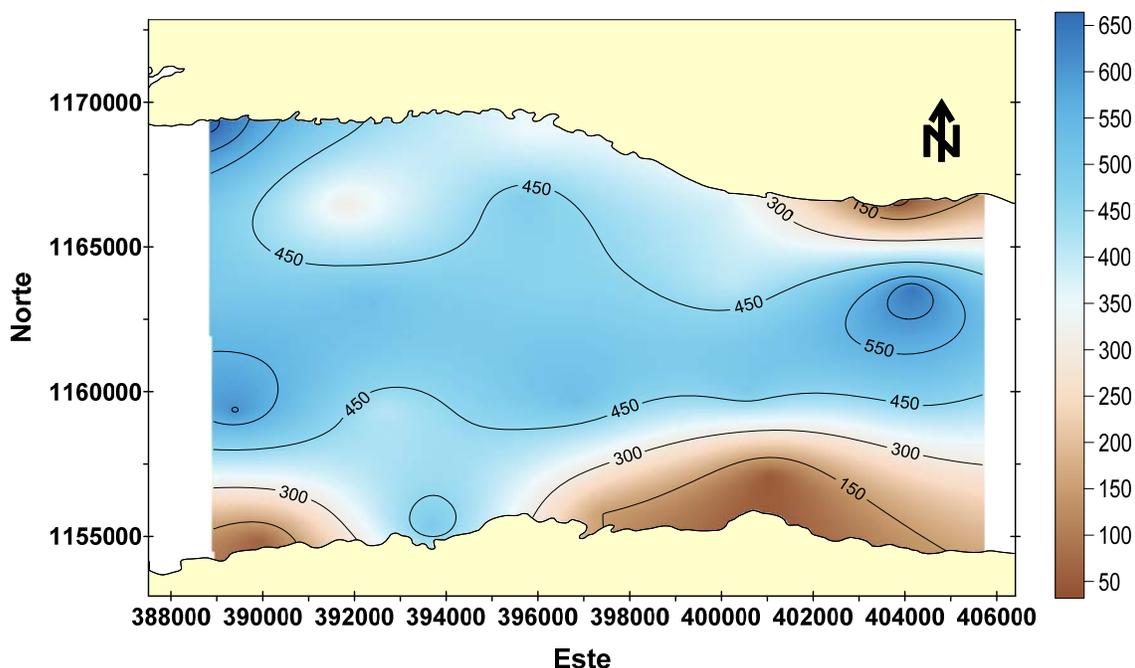


Figura 17. Distribución espacial de fósforo orgánico (mg/kg) en el sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

Guillot (2008) registró de fósforo orgánico valores 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 región nororiental del Golfo.

Fósforo adsorbido más asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (P3).

Esta representa la fracción fácilmente intercambiable en el equilibrio agua-sedimento. El fósforo ligado a los óxidos puede ser movilizado por procesos dependientes del potencial redox del medio. 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. Estos procesos tienen lugar en cuerpos de agua eutróficos o hipereutróficos durante el período de estratificación, en la cual la degradación microbiana de la materia orgánica depositada sobre los sedimentos, agota el oxígeno disuelto y produce condiciones anóxicas (Lasso *et al.*, 2004), mientras que el fósforo adsorbido en el sedimento está débilmente unido a la matriz sedimentaria. La presencia tanto en suelos agrícolas y especialmente en los sedimentos superficiales de fondo (mares, lagos, ríos y otros) está asociada a los fertilizantes fosforados que son utilizados para reforzar el déficit de fósforo asimilable en los cultivos. Esta situación genera incrementos en los niveles de fósforo en los sedimentos y el aumento del crecimiento de las algas, lo cual conduce a efectos adversos que reducen la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (Schenau *et al.*, 2001; Van der Zee *et al.*, 2002).

Los valores determinados de fósforo adsorbido más fósforo asociado a óxidos e hidróxidos de hierro en cada una de las estaciones situadas en el sector central del Golfo de Cariaco (Tabla A3), oscilaron entre 0,24 y 1,30 mg/kg en las estaciones 15 y 2, respectivamente, con un promedio de 0,70 mg/kg. Se pudo observar que la contribución de esta fracción fue relativamente la más baja

encontrada en las estaciones estudiadas. 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: la apatita autogénica.

En la distribución espacial del fósforo adsorbido más el asociado a óxidos de hierro (Figura 18), se presentó una proporción muy baja de este tipo de fósforo en la parte noreste y sureste, con mayores concentraciones hacia el suroeste. Las bajas concentraciones de fósforo en esta fracción están relacionadas con los altos contenidos de arena en dichas estaciones.

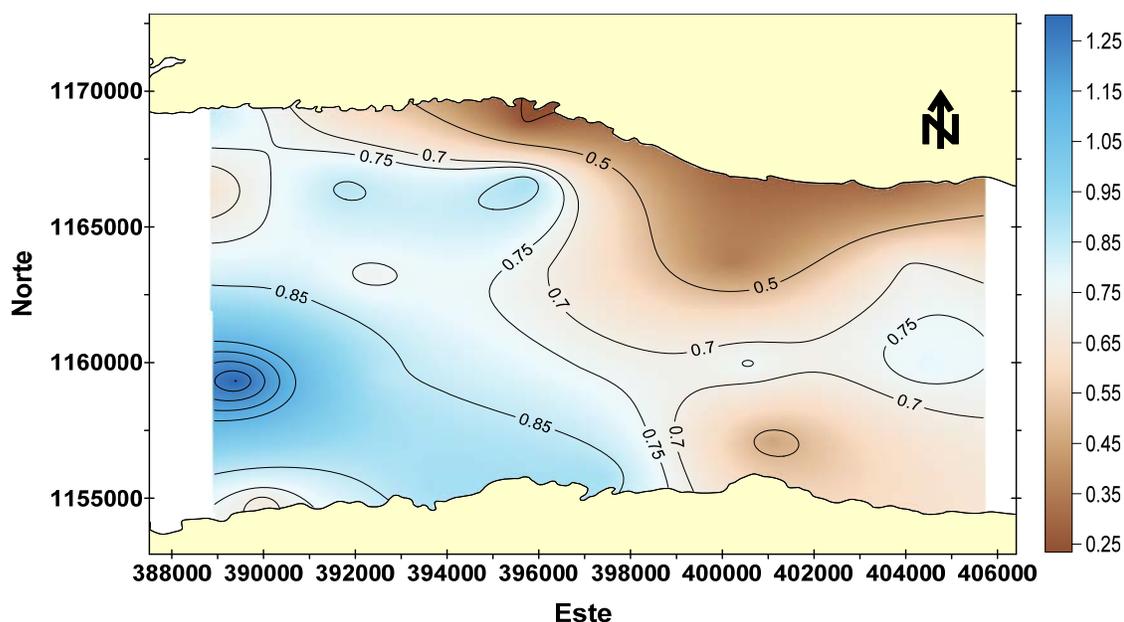


Figura 18. Distribución espacial de fósforo adsorbido más fósforo asociado a óxidos e hidróxidos de hierro (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela

Colonnello (2004) señaló que las partículas de desechos orgánicos e inorgánicos encontrados en el agua de cualquier ecosistema, es debido a las grandes descargas provenientes de la agricultura, ganadería, industrias, ríos, lagos, caños, caseríos, etc. Indica el autor que una vez sedimentada las partículas en el fondo, generan cambios en la textura de los sedimentos. Por lo general, las partículas que son adsorbidas sobre el sedimento proporcionan un

enriquecimiento de nutrientes en cualquier ecosistema. La presencia de este tipo de fósforo está asociada a los fertilizantes fosforados que son utilizados para reforzar el déficit de fósforo.

Valores comparables a los determinados en esta investigación, reportó Hurtado (2008) en sedimentos superficiales de la región marino-costera de El Morro de Puerto Santo, donde representó el 0,5% para la bahía oeste y 1,33% para la bahía este, con respecto al PT. Wetter (2008) obtuvo valores entre 1,42 y 11,46% durante el periodo de lluvia (octubre) disminuyendo para el periodo de sequía (Abril) con valores entre 0,7 y 7,13% con respecto al PT, siendo la actividad antrópica la causa principal de dichas concentraciones. Guillot (2008) reportó valores entre 0,78 y 19,19% en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana,, los cuales atribuye a los cambios en el potencial redox y a las aguas del río Orinoco que son ricas en compuestos fosfatados. González (2010) en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, indicó valores entre 1,29 y 10,48%.

Fósforo autogénico (P4)

El fósforo autogénico, se caracteriza por ser propio de la zona en estudio, es decir, no proviene de ningún tipo de fuente externa y representa el fósforo enlazado al carbonato de calcio (P-CaCO₃; fosfato autigénico de calcio, restos de peces y minerales apatitas). El CaCO₃-P es el compuesto químico más importante en los ambientes marinos y lacustres que controla el contenido de fósforo en el agua y sedimentos; esto es probablemente, porque el fósforo reacciona con el carbonato de calcio para formar fosfato cálcico en solución sólida biogénica de CaCO₃ (Aranda, 1999; Ramírez y Benítez, 2000). Delgado y Torrent (2000) señalan que el fósforo autogénico presente en los sedimentos están asociados a los minerales autigénicos; ya que estos se forman

química. Después de la depositación, son producto de la diagénesis y pueden formarse en las etapas tempranas o tardías del proceso de litificación.

Las concentraciones de esta fracción oscilaron entre 23,79 y 63,19 mg/kg en las estaciones 1 y 10 respectivamente (Tabla A3). Con respecto al PT, las concentraciones oscilaron entre 5,57 y 27,15%. 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, recristalización, cementación, litificación, mineralización). 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 de la región, posiblemente fosforita.

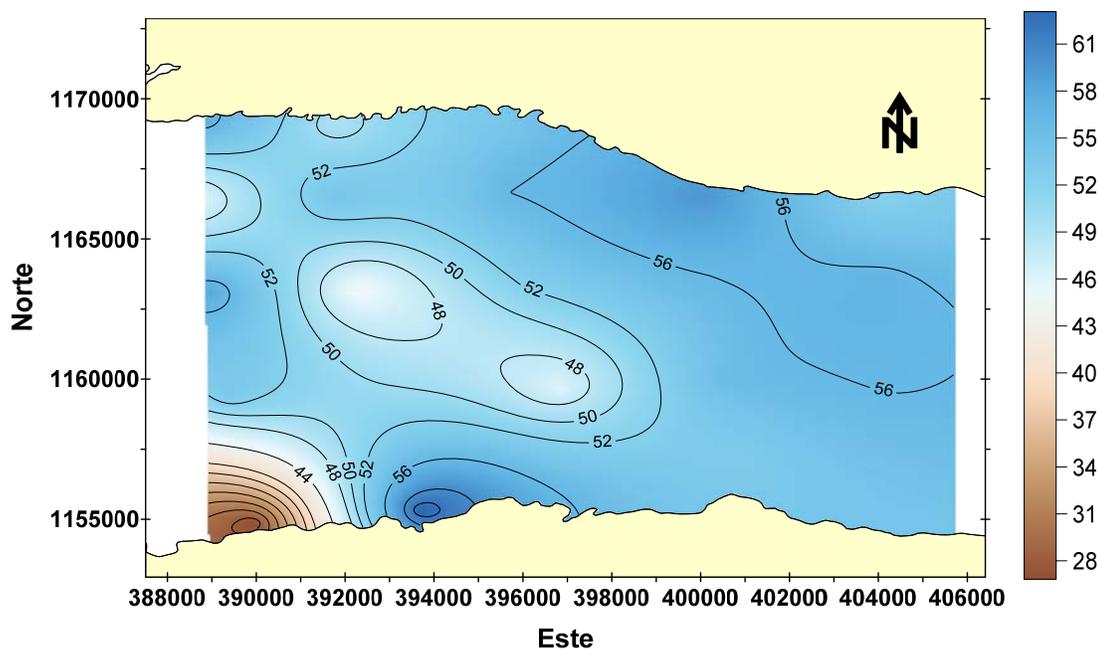


Figura 19. Distribución espacial del fósforo autogénico (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Anderson (2000) reportó valores comprendidos entre 0,24 y 5,20% respecto al fósforo total, debidos a los cambios diagenéticos que se desarrollan en la zona. 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 que ocurren en estos sedimentos como producto de 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. Estos valores son inferiores a los reportados en esta investigación.

Fósforo detrítico (P5)

El fósforo detrítico 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).

Las concentraciones de fósforo detríticos oscilaron entre 7,94 y 297,35 mg/kg en las estaciones 1 y 5, respectivamente (Tabla A3), representando entre de 8,05 y 65,44% respecto al fósforo total. Los altos valores, podrían estar asociado a restos de animales y vegetales además de: corales, conchas, esqueletos entre otras; y/o minerales, originados por la precipitación química, lo que trae como consecuencia las altas concentraciones de esta fracción de fósforo en esta área.

La distribución espacial del fósforo detrítico en el área de estudio (Figura 13), muestra elevadas concentraciones hacia la parte nororiental y central, mientras que las bajas concentraciones se ubicaron en la parte sur del sector central del

Golfo de Cariaco. Este comportamiento, podría igualmente deberse en parte, a procesos diagénético que posiblemente ocurren en el sector central del Golfo de Cariaco. Delgado y Torrent (2000) señalan que los procesos diagénético producen cambios en la textura del sedimento; entre ellos: cambios físicos y químicos. Karl y Bjorkman (2001) y Ahlgren (2005) indican que los procesos físicos producen cambios en la densidad del sedimento, por medio de la compactación a través del empaquetamiento de las rocas sedimentarias y por la variabilidad de minerales. Estos cambios producen pérdida de porosidad en bajos porcentajes; mientras que los cambios químicos, son más importantes que los cambios físicos; ya que, alteran en mayor proporción las características de los minerales y residuos de desechos orgánicos e inorgánicos que son adsorbidos sobre la superficie del sedimento. Los procesos químicos están asociados a fenómenos de cementación y litificación de los sedimentos, cual contribuye a la precipitación de los agentes químicos y de los minerales detríticos (Anderson y Delaney, 2000).

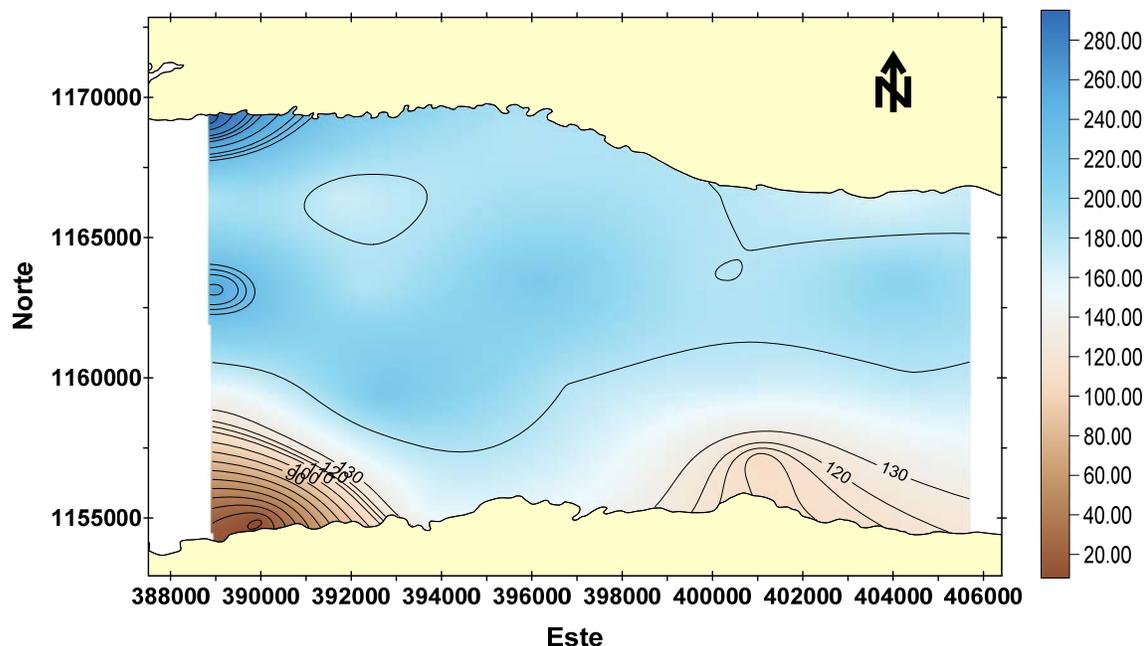


Figura 20. Distribución espacial del fósforo detrítico (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre. Venezuela

Anderson (2000) registró valores comprendidos entre 19,83 y 58,54% en los sedimentos costeros de California, indicando que son ricos en carbonato de calcio y formados por restos de foraminíferos, cocolitofóridos y pterópodos. Marcano (2008) encontró valores de este tipo de fósforo que oscilaron entre 1,69 y 3102 mg/kg, valores superiores a los determinados en esta investigación, indicando que son debidas a los elevados contenidos de CO_3^{2-} en el sedimento de esa región. Guillot (2008) registró valores comprendidos entre 25 y 75% en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la Costa Atlántica Venezolana, asociados a restos de animales, vegetales y/o minerales. González (2010) reportó valores que oscilaron entre 39,89 y 90,46% en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco, atribuyendo esto a las características granulométricas que presentaron los sedimentos de la región, con un 99,26 % de arena.

Nitrógeno total (NT)

El nitrógeno, al igual que el fósforo, es un elemento indispensable para los seres vivos. Es incorporado en la estructura de todas las proteínas y ácidos nucleicos y cumple un rol importante en los procesos metabólicos (Duursma y Dawson, 1981; Romankevich, 1984). Su importancia y distribución son muy similares a las del fósforo y, dentro de las diferentes concentraciones en que aparecen en el medio marino, existe un gran paralelismo entre dichas concentraciones y sus variaciones. Estos elementos son fundamentales en la formación del fitoplancton y, por lo tanto, en el mantenimiento y continuidad de la cadena trófica. Ingresan al medio ambiente acuático a través de las excreciones de animales y plantas, durante los procesos de descomposición de la materia orgánica y principalmente por el uso de fertilizantes (Gerlach, 1981). El nitrógeno se encuentra en los mares básicamente en forma de nitratos, nitritos y amonio, con los nitratos en mayor cantidad.

Las concentraciones de nitrógeno en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco estuvieron entre 22,45 y 178,48 % en las estaciones 1 y 12, respectivamente (Tabla A2). En general los valores de NT son altos si se comparan con el contenido de materia orgánica y bajos respecto al contenido de PT. Esto indica la ausencia de compuestos altamente nitrogenados, existiendo una relación directa entre el contenido de NT y MOT.

La Figura 21 muestra la distribución espacial del nitrógeno total en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, donde las más altas concentraciones se ubican en la parte central y este del ecosistema. La principal fuente de nitrógeno en los sedimentos marinos es la materia orgánica, la cual es remineralizada por la flora microbiana con la consecuente liberación de amonio.

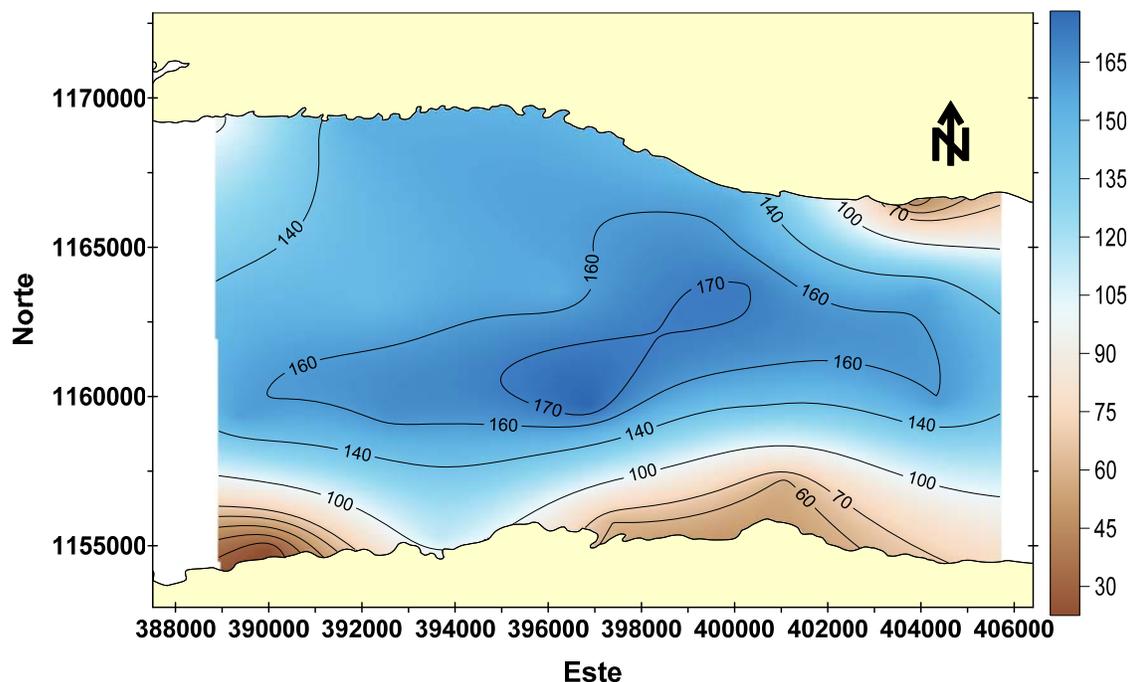


Figura 21. Distribución espacial de Nitrógeno total (mg/kg) en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

Los valores de nitrógeno en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, fueron superiores al valor de 1,71% reportado por Mudarra (2000) en los sedimentos superficiales de la Ensenada de Puerto Escondido, así como al valor promedio de NT de 8,52% reportados por Aranda (1999) para los sedimentos superficiales de la Ensenada Grande del Obispo. En cambio Márquez *et al* (2007) en sedimentos de la Laguna de los Patos, hallaron concentraciones de 286,31 mg/kg (boca), 454,51 mg/kg (centro) y 1380,63 mg/kg (zona sur), debido a los aportes de las aguas servidas que están siendo descargadas en el interior de la laguna. González (2010) en los sedimentos superficiales de la periferia de la cuenca de Cariaco reportó valores entre 129,34 y 982,11 mg/kg, atribuyendo esto a los porcentajes de limo de la zona, ya que el nitrógeno tiene mayor afinidad por la textura fina del sedimento.

Es importante destacar que al incrementarse la actividad biológica y la temperatura en cualquier ecosistema, aumenta el metabolismo del nitrógeno orgánico. El NH_4^+ se difunde en el agua, el oxígeno disuelto incrementa su penetración al sedimento, siendo esta liberación superior a la requerida por el fitoplancton (Bonilla *et al.*, 1995). La descomposición de la materia orgánica consiste en varias reacciones químicas causadas por las condiciones oxidoreductoras en los sedimentos; mediante el calor, la presión y por la actividad microbiológica, entre otras, ocasionando cambios geoquímicos importantes de los compuestos de carbono contenidos en los sedimentos, los cuales se correlacionan óptimamente con los procesos de sedimentación y diagénesis (Bonilla *et al.*, 1995).

Análisis estadísticos

Los valores de fósforo total (PT) obtenidos por el método de Sedex (Berner y Rao 1994) y el método de Valderrama, fueron sometidos a un análisis

comparativo mediante un análisis de varianza el cual se presenta como un gráfico de cajas y bigotes (Figura 21).

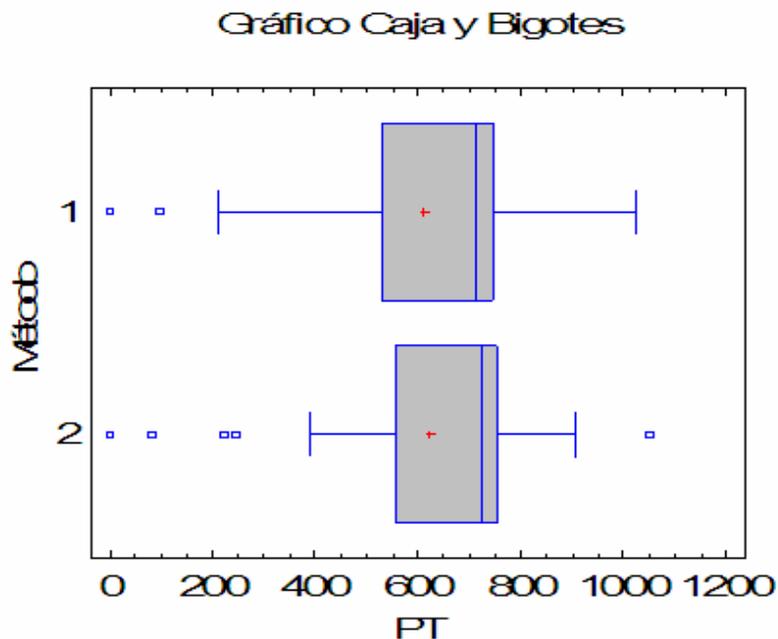


Figura 22. Representación gráfica de cajas y bigotes para la comparación entre los métodos para la determinación de fósforo en sedimentos por Sedex (Berner y Rao 1994) (método 1) y el de Valderrama (1981) (método 2).

Al realizar la comparación de ambos métodos mediante el gráfico de cajas y bigotes, se pudo observar claramente que no existen diferencias significativas entre las medias. En el caso de PT obtenido mediante el método de Sedex se encontró que el valor de la mediana (M) fue de 712,98 mg/kg, mientras que para el método de Valderrama fue de 721,46, mg/kg, indicando que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de PT entre un método y otro, con un nivel de confianza del 95.0%. La dispersión de datos fue similar en ambos casos (Tabla A4). De manera general, ambos métodos son aceptables para la determinación de fósforo total en sedimento marino.

Análisis de correlación de Pearson

El análisis de correlación de Pearson indica a grandes rasgos los valores de significancias y de correlación entre cada una de las variables de una serie de datos. Además, el hecho que exista correlación indica que las fracciones guardan algún tipo de correlación.

La matriz de correlación lineal para los parámetros analizados en este estudio (Tabla 4) refleja que la arena solo presenta una correlación positiva más no significativa ($\leq 0,5$), con el porcentaje de carbonatos, y con el resto de los parámetros una correlación negativa pero significativa, es decir, cuando aumenta el porcentaje de arena aumenta también el porcentaje de carbonatos; por el contrario, mientras aumenta el porcentaje de arena disminuye las concentraciones del resto de los parámetros (limo, arcilla, materia orgánica, carbono orgánico y las diferentes fracciones de fosforo).

La materia orgánica, presenta correlaciones positivas y significativas con el porcentaje de limo, arcilla, carbono orgánico, P1, P2, P5, PT y NT, siendo altamente significativas con el CO, NT y FT, todo esto debido a que la materia orgánica es la principal fuente de fósforo y nitrógeno. También presenta una fuerte correlación con el fósforo orgánico y detrítico ya que estos se encuentran asociados a la materia orgánica de los sedimentos.

Al realizar la correlación entre las distintas fracciones con cada uno de los diferentes parámetros se observó, que el fósforo en la fracción P1 posee una correlación positiva y significativa con casi todos los demás parámetros analizados, excepto con los carbonatos y con el P3, que presento correlación positiva, mas no significativa, en cambio con el porcentaje de arena, una correlación negativa pero significativa, por lo que mientras aumenta el porcentaje o concentración de este parámetro disminuye la concentración del

P1, es decir son inversamente proporcionales. Para el caso del fósforo en la fracción P2, presentó correlaciones positivas y significativas con el limo, la arcilla, la materia orgánica y el CO, al igual que con el fósforo en las fracciones P1 y P5. Las correlaciones positivas y significativas reflejan el mismo origen y sistema de transporte.

El fósforo asociado a la fracción P3 no presenta correlación significativa con el resto de los parámetros, mientras que el fósforo en la fracción P4 se relaciona muy significativamente con el porcentaje de limo y las fracciones P1 y P5, indicando un mismo origen y acumulación preferencial en los sedimentos limosos y arcillosos. Por último el P5 posee una correlación positiva y significativa con el limo, la arcilla, la materia orgánica, el CO, y con todas las fracciones de fósforo.

Para los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco se puede inferir que las concentraciones de las fracciones de fósforo 1, 2, 5, total y nitrógeno total están fuertemente controladas por el contenido de materia orgánica y carbono orgánico. Esto es consistente con las correlaciones positivas significativas entre estos parámetros, al compararlos con la composición granulométrica, los cuales fueron menos pronunciados.

Tabla 4. Análisis de correlación de Pearson que expresa la asociación entre el fraccionamiento del fósforo y los diferentes parámetros en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela.

	Arena	Limo	Arcilla	Mat Org	CO	CaCO ₃	P1	P2	P3	P4	P5	PT	NT
Arena	1,0000												
Limo	-0,9948	1,0000											
Arcilla	-0,5947	*0,5100	1,0000										
Mat Org	-0,6317	*0,5946	*0,6437	1,0000									
CO	-0,6492	*0,6130	*0,6464	*0,7310	1,0000								
CaCO ₃	0,4331	-0,3933	-0,5551	-0,3050	-0,4799	1,0000							
P1	-0,5845	*0,5615	*0,5061	*0,6700	*0,5386	0,1091	1,0000						
P2	-0,6748	*0,6406	*0,6441	*0,8092	*0,6151	-0,2887	*0,6652	1,0000					
P3	-0,2572	0,2474	0,2198	0,1828	0,0859	-0,2477	0,0982	0,4487	1,0000				
P4	-0,6267	*0,6307	0,3154	0,2693	0,4098	0,0449	*0,6551	0,3410	0,0526	1,0000			
P5	-0,5480	*0,5226	*0,5048	*0,6887	*0,5280	0,1133	*0,9949	*0,6727	0,0947	*0,5754	1,0000		
PT	-0,6972	*0,6637	*0,6520	*0,8281	*0,6371	-0,2044	*0,7981	*0,9808	0,3877	0,4464	*0,8029	1,0000	
NT	-0,6897	*0,6692	*0,5438	*0,8145	*0,8889	-0,4204	*0,5434	*0,7281	0,1526	0,3686	*0,5385	*0,7295	1,0000

*: Significativa $\leq 0,5$

CONCLUSIONES

Los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco presentan diferentes texturas, variando entre arenosa, limo-arenosa y areno-limosa; predominando el tipo limo-arenoso.

Los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, son considerados ricos en material orgánico debido a que todos los valores reportados son superiores a 1,0%, reflejando la alta productividad de este cuerpo de agua marino costero.

Las concentraciones de fósforo total en los sedimentos del sector central del golfo de Cariaco variaron entre un máximo de 1025,57 mg/kg y un mínimo de 98,67 mg/kg. El orden decreciente en las concentraciones de las diferentes fracciones fueron: fósforo orgánico (P2) > fósforo detrítico (P5) > fósforo autogénico (P4) > fósforo absorbido más asociado a óxidos de hierro (P3).

Las elevadas concentraciones de fósforo que existen en los sedimentos de esta zona se deben al gran aporte de materia orgánica fresca, que contribuye como fuente principal de grandes cantidades de especies químicas fosfatadas

No existen diferencias estadísticamente significativas entre el método de Valderrama y el método Sedex (Berner y Rao 1994), para la determinación de PT.

Se observa una asociación significativa entre el fósforo total y fraccionado con la materia orgánica, limo y arcilla del sedimento.

BIBLIOGRAFÍA

Ahlgren, J. 2005. Sediment depth attenuation of biogenic phosphorus compounds measured by P-31 NMR. *Environmental Science and Technology* 39 (3): 867-872.

Amuerman J. 1991. Role of ecto-phosphohydrolases in phosphorus regeneration in estuarine and coastal ecosystems. In: "Microbial Enzymes in Aquatic Enviroments". Chro'st, R.J. Ed., Springer Verlag, New York.

Anderson, L. y Delaney, M. 2000. Sequential extraction and analysis of phosphorus in marine sediments: streamlining of the Sedex procedure. *Limnology and Oceanography*, 45 (2): 509-515.

Aranda, S. 1999. Condiciones Geoquímicas de los Sedimentos Superficiales de La Ensenada Grande del Obispo. Trabajo de Grado Licenciatura en Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

Asgorta, I. y Silva, N. 2003. Textura, materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno total en sedimentos marinos superficiales de la X Región. Informe preliminar de crucero CIMAR 10 Fiordo. Pág: 203-216.

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

Astudillo, N. y Bellorin, J. 2006. Estudio de línea base del contenido de nutrientes en sedimentos superficiales de la Laguna de Buena Vista (Cariaco, Estado Sucre. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Instituto Universitario de Tecnología de Cumaná, Venezuela.

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(32): 31-36.

Baker K. H. and Herson D. S. 1994. Bioremediation. McGraw Hill Inc.

Berner, R.. y Rao, J. 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.

Bonilla, J. 1982. Algunas características geoquímicas de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21(1y2): 133-155.

Bonilla, J.; Cedeño, J. y Gamboa, B. 1986. Características químicas en sedimentos de la bahía de Pozuelo y áreas adyacentes, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 25(1y2): 215-231.

Bonilla, J. y Lin, A. 1979. Materia Orgánica en los Sedimentos del Golfo de Paria y Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 18 (2): 37-52.

Bonilla, J.; Fermin, L.; Gamboa, B y Cabrera, M. 1995. Aspectos geoquímicos de los sedimentos superficiales del ecosistema marino costero de Jose, estado Anzoategui, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente*, 32:5-23.

Cade-Manun, B., Benitez-Nelson, C.R., Pellechia, P. y Paytan, A. (2005). Refining ^{31}P nuclear magnetic resonance spectroscopy for marine particulate samples: Storage conditions and extraction recovery. *Marine Chemistry*, 97: 293-306.

Caraballo, L. 1982. El Golfo de Cariaco. Parte III. Contenido de carbonatos y constituyentes de las partículas de los sedimentos. Su distribución por el fondo. Fauna característica. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 21(1y2): 67-83.

Carman, R.; Edlund, G. y Damberg, C. 2000. Distribution of organic and inorganic phosphorus compounds in marine and lacustrine sediments: a ^{31}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.C. y Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, 84: 133-144.

Che, Y., He, Q. y Lin W. 2003. The distributions of particulate heavy metals and its indication to the transfer of sediments in the Changjiang estuary and Hangzhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 123-131.

Colonnello, G. 2004. Las planicies deltaicas del río Orinoco y Golfo de Parla: aspectos físicos y vegetación. *Journal Marine Research*, 32(10): 162-173.

Delgado, A. y Torrent, J. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2031-2037.

Duursma, E. y Dawson R. 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. 2000. Geoquímica de los sedimentos superficiales de Golfo de Cariaco y del río Manzanares. Trabajo de Grado. Departamento de Química. Universidad de Oriente. Cumaná

Etchevers J. D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados, Chapingo, estado de México. 803p.

Fang, T-H., Chen, J-L. y Huh Ch-A. 2007. Sedimentary phosphorus species and sedimentation flux in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 27: 1465-1746.

Fermín, I. 2002. Estudio Geoquímico de los Sedimentos Superficiales de la Laguna de Unare, Edo. Anzoátegui. Venezuela. Trabajo de Grado (M.Sci.) en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Froelich, P., Bender, M. Luedtke, N.A., Heath, G.R. y Devries, T. 1982. The marine phosphorus cycle. *American Journal of Sciences*, 282: 474-511.

Fuentes, M. 2001. Estudio geoquímico de carbohidratos, hidrocarburos, aceites y grasas de la laguna de Chacopata, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 40(1-2): 31-37.

Fuentes M.; Bonilla J. y Fermín J. 1997. Algunas Características Químicas de los Sedimentos Superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente*, 22 (182): 103-110.

Garcia, O. 2006. Estudio geoquímico de sedimentos recientes del Orinoco medio, Estado Bolívar, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná. Venezuela.

Gerlach, S. 1981. *Marine Pollution. Diagnosis and Therapy*. Springer Verlag, Berlin. 218 pp.

Golterman, H. 1996. Fraccionation of sediment phosphate with chelating compounds: a simplification, and comparison with other methods. *Hydrobiologia*, 335:87-95.

Golterman, H. 2001. Phosphate release from anoxic sediment or what did Mortimer really write? *Hidrobiología*, 450: 99-106.

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 Cariaco, estado Sucre. Trabajo de pregrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná.

Guzmán I; 1990. *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. 5ª. Edición. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá.

Heanes, D. 1984. Determination of total organic-C in soils by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 1191-1213.

Hernández, S.; Franco, C. y Herrera, C. 2008. Carbono orgánico y materia orgánica en sedimentos superficiales de la Bahía Concepción. *Ciencia Ahora*, 21: 28-34.

Hieltes, H. y Lijklema, L. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediment. *Environmental Quality*, 9: 405-407.

Howard, J., Sparkman, C., Cohen, H., Green, G., and Stanislaw, H. 2005. A comparison of intensive behavior analytic and eclectic treatments for young children with autism. *Research in Developmental Disabilities*, 26: 359-383.

Hupfer, M.; Gachter, R. y Giovanoli, R. 1998. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquatic Sciences*, 57: 305-324.

Hurtado, R. 2008. Fraccionamiento de fósforo en los sedimentos superficiales de la región marino-costera de El Morro de Puerto Santo, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de ascenso. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná.

Jensen, H. y Tramdrup, B. 1998. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiology*, 253: 47-59.

Karl, D. y Bjorkman, K. (2001). Phosphorus cycle in seawater: Dissolved and particulate pool inventories and selected phosphorus fluxes. *Methods Microbiol* 30: 239-270.

Krom, M.D. y Berner, R.A. 1980. Adsorption of phosphate in anoxic marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 25: 797-806.

Landaeta, R. 2002. Especiación de metales en sedimentos superficiales de la región marino-costera frente a la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

Lasso, C.; Lasso, A.; Oscar, M. y Pombo, C. 2004. Composición, abundancia y biomasa de la ictiofauna béntica del Golfo de Paria y delta del Orinoco. *Journal Marine Research*, 52(1): 156-168

Liebezeit, G. 1991. Analysis phosphorus fractionation of sediment trap material. *Marine Chemistry*, 33 (1-2): 61-69.

López, F. 2002. Geoquímica de sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. Tesis de Post-grado (M.Sci.) Oceanografía Química, Universidad de Oriente, Sucre.

McDowell, R.; Sharpley, A. y Chalmers, A. 2002. Land use and flow regime effects on phosphorus chemical dynamics in the fluvial sediment of the Winooski River Vermont. *Ecological Engineering*, 18: 477-487

Márquez A., Senior W., Martínez G. y González A. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la Laguna de los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46(2):133-141

Márquez, A.; Bonilla, J.; Martínez, G.; Senior, W.; Aguilera, D. y González, A. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanográfico de Venezuela*, 44(2): 89-103.

Martínez, G. 2002. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 41(1-2): 83-96.

Miyazawa, M., Pavan, M.A., Oliveira, E.L. de, Ionashiro, M. and Silva, A.K. 2000, Gravimetric determination of soil organic matter. Brazilian. Archives of Biology and Technology, 43: 475-478.

Moya. A. 2010. Fraccionamiento geoquímico de metales trazas en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Mudarra, O. 2000. Hidrogeoquímica de la Ensenada de Puerto Escondido, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo de Grado en Licenciatura en Química. Universidad de Oriente, Cumaná.

Murphy, J. y Riley, H. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chemical. Acta*, 12: 162-170.

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.

Okuda, T. 1964. Some problems for the determination of organic carbon in hidrográficas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 3(1 y 2): 106-117.

Okuda, T.; Benitez, J.; Bonilla, J. y Cedeño, G. 1978. Características hidrográficas del golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 17(1-2): 68-88.

Patiño, M. 2005. Caracterización inorgánica de los sedimentos del litoral costero norte de la isla de Cubagua-Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.

Primo, E. y Carrasco, J. 1993. Química Agrícola I. Suelos y fertilizantes. Editorial Alhambra, S. A. España.

Qiu, S. y McComb, A. 2000. Properties of sediment phosphorus in seven wetlands of the Swan Coastal Plain, South-Western Australia. *Wetlands*, 20: 267-279.

- Ramírez, C. y Benítez, N. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth-Science. Reviews*, 51: 109-135.
- Redfield, A. 1958. The biological control of chemical factors in the environmental. *America Sciences*, 46: 205-221.
- Roa, P. y L. Berthois. 1975. Manual de sedimentología Tip. Sorocaima, Caracas, Venezuela. 303 pp.
- Romankevich, E. 1984. Geochemistry of organic matter in the ocean. Springer-Verlag. Berlin. 329 pp.
- Ruttenberg, K. C. 1992. Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments. *Limnology and Oceanography*. 37:1460-1482.
- Sadiq, M. 1992. Toxic metal chemistry in marine environments. Marcel Dekker, Inc. New York, 390 pp.
- Schenau, S. y De Lange, G. 2001. Phosphorus regeneration vs. Burial in sediments of the Arabian Sea. *Marine Chemistry*, 75: 201-217.
- Schumacher, B.A. 2002. Methods for determination of total organic carbon (TOC) in soils and development. US Environmental Protection Agency. Las Vegas, NV. 25 p.
- Sheppard, F. 1954. Nomenclature based on the sand-silk-clay ratios. *Journal Sediment of Petrology*, 24(3): 151-158.
- Señaris, J. 2004. Evaluación rápida de la biodiversidad y aspectos sociales de los ecosistemas acuáticos del delta del río Orinoco y Golfo de Paria, Venezuela. *Journal Marine Research*, 66(12): 172-188
- Sokal, R. y Rohlf, F. 1997. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. New York.
- Soledispa, B. 2007. Características de la sedimentación marina litoral comprendida entre las puntilla de Santa Elena y Punta Alcón, Provincia de Santa Elena, Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 14: 181-188.
- Tiessen H. y Moir J. O. 1993. Total and organic carbon. In: Soil sampling and methods of analysis. Martin R. Carter Ed. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. 187-199 pp.

Tissot, B. y Welte, D. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag. Berlin.

Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus 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.

Van der Zee, C.; Slomp, C. y Van Raaphorst, W. 2002. Authigenic P formation and reactive P burial in sediments of the Nazare canyon on the Iberian margin (NE Atlantic). *Marine Geology*, 185: 379-392.

Velásquez, L. 2005. Distribución y comportamiento de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Zn, Fe, Mn, Co, Cr y Pb en sedimentos superficiales del sector oriental del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.

Vogel, A. 1989. Textbook of Practical Organic Chemistry, Fifth Edition, Longman Scientific and Technical, London.

Walkley, A. and Black I. A. 1934. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science*, 37: 29-37

Wetter, M. 2008. Fraccionamiento de fósforo en sedimentos superficiales del río Manzanares, estado Sucre. Venezuela. Trabajo de pregrado. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná.

APÉNDICE

Tabla A1. Composición granulométrica (%) y textura de los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.

Estaciones	Composición porcentual (%)			Textura
	Arena	Limo	Arcilla	
1	89,90	0,72	9,39	Arenosa
2	14,49	72,15	13,36	Limo-arenosa
3	38,24	49,08	12,68	Limo-arenosa
4	58,97	26,00	15,04	Areno-limosa
5	29,90	53,43	16,68	Limo-arenosa
6	30,61	55,63	13,76	Limo-arenosa
7	40,64	43,97	15,39	Limo-arenosa
8	68,64	15,62	15,74	Areno-arcillosa
9	50,31	34,06	15,62	Areno-limosa
10	44,73	39,65	15,62	Areno-limosa
11	51,52	35,08	13,40	Areno-limosa
12	64,65	21,61	13,74	Areno-limosa
13	32,75	53,52	13,73	Limo-arenosa
14	30,98	56,05	12,97	Limo-arenosa
15	30,27	54,34	15,39	Limo-arenosa
16	24,26	60,35	15,40	Limo-arenosa
17	28,31	57,94	13,75	Limo-arenosa
18	39,99	48,63	11,38	Limo-arenosa
19	71,94	16,32	11,73	Areno-limosa
20	-	-	-	
21	39,88	48,36	11,76	Limo-arenosa
22	28,24	56,00	15,76	Limo-arenosa
23	94,24	0,00	5,76	Arenosa
Promedio	45,61	40,84	13,55	
Mínimo	14,49	0,00	5,76	
Máximo	94,24	72,15	16,68	

Tabla A2. Composición porcentual de materia orgánica total, carbonatos, carbono orgánico y nitrógeno total en los sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre. Venezuela.

Estaciones	Porcentajes (%)			mg/kg
	Materia orgánica	Carbonatos	Carbono orgánico	Nitrógeno total
1	1,51	11,54	1,15	22,45
2	18,55	14,31	7,80	158,34
3	19,13	23,13	9,02	145,60
4	21,47	18,26	8,08	119,99
5	27,41	37,30	7,28	94,79
6	18,89	18,78	10,04	152,52
7	26,40	13,32	12,28	146,41
8	23,30	11,38	11,79	147,32
9	17,56	15,61	15,23	163,89
10	10,47	20,92	10,65	113,53
11	3,91	13,35	6,32	60,43
12	22,61	18,16	11,72	178,18
13	21,17	10,39	15,58	153,82
14	22,04	13,57	12,44	157,55
15	21,84	11,89	12,82	153,70
16	17,56	13,32	13,88	154,21
17	20,90	9,70	12,14	170,75
18	19,76	11,71	11,74	146,49
19	3,67	7,46	2,79	58,01
20	-	-	-	-
21	21,25	9,16	12,14	159,86
22	20,37	13,35	12,52	154,85
23	2,95	100,05	1,29	45,22
Promedio	17,40	18,94	9,94	129,91
Mínimo	1,51	7,46	1,15	22,45
Máximo	27,41	100,05	15,58	178,18
DS	7,69	19,18	4,11	44,67

DS: Desviación estándar

Tabla A3. Fracciones de fósforo (mg/kg) en los sedimentos del sector central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre. Venezuela.

Estaciones	P1	P2	P3	P4	P5	PT
1	35,41	63,26	0,68	26,79	7,94	98,67
2	197,66	603,98	1,30	53,02	143,34	801,64
3	314,12	503,49	0,82	57,61	255,69	817,60
4	225,09	507,17	0,62	45,06	179,41	732,27
5	355,32	670,25	0,85	57,12	297,35	1025,57
6	263,01	463,74	0,62	48,86	213,54	726,75
7	222,28	307,06	0,87	53,85	167,56	529,34
8	227,36	516,58	0,73	44,41	182,22	743,95
9	270,67	408,51	0,87	50,47	219,33	679,18
10	219,46	492,88	0,91	63,19	155,36	712,34
11	207,18	152,34	0,90	55,45	150,83	359,53
12	225,74	520,27	0,76	45,96	179,02	746,01
13	270,75	464,96	0,70	52,62	217,43	735,71
14	244,50	482,42	0,90	56,02	187,58	726,92
15	235,76	349,55	0,24	54,07	181,45	585,31
16	240,05	376,08	0,31	59,22	180,52	616,13
17	235,28	399,87	0,35	56,00	178,94	635,15
18	227,12	487,81	0,76	55,22	171,14	714,93
19	159,20	51,75	0,45	52,91	105,84	210,95
20	-	-	-	-	-	-
21	234,08	478,90	0,78	56,18	177,11	712,98
22	262,31	639,00	0,72	56,61	204,98	901,31
23	208,86	30,60	0,30	51,85	156,71	239,46
Promedio	230,96	407,75	0,70	52,39	177,88	638,71
mínimo	35,41	30,60	0,24	26,79	7,94	98,67
Máximo	355,32	670,25	1,30	63,19	297,35	1025,57
DS	59,25	182,92	0,25	7,32	54,71	226,69

DS: Desviación estándar

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

Estaciones	Valderrama	Sedex(Berner y Rao 1994)
1	81,68	98,67
2	807,55	801,60
3	832,08	817,60
4	748,83	732,30
5	1050,39	1026,00
6	734,21	726,80
7	553,78	529,30
8	757,45	744,00
9	693,49	679,20
10	722,45	712,30
11	387,18	359,50
12	751,07	746,00
13	737,97	735,70
14	736,84	726,90
15	599,20	585,30
16	620,79	616,10
17	654,73	635,20
18	717,90	714,90
19	224,37	211,00
20	-	-
21	721,46	713,00
22	905,13	901,30
23	246,05	239,50
Promedio	649,30	638,70
Mínimo	81,68	98,67
Máximo	1050,39	1026,00

HOJA DE METADATOS

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

Título	Fraccionamiento Geoquímico de Fósforo en Sedimentos Superficiales del Sector Central del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
López Esparragoza, Rosanny Lucia	CVLAC	16.816.527
	e-mail	rosanny12@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Fraccionamiento geoquímico, sedimentos marinos, fósforo.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Química

Resumen (abstract):

Se determinó el contenido de fósforo en fracciones geoquímicas (orgánico, inorgánico, autogénico, detrítico, adsorbido más asociados a óxidos, y total) en sedimentos superficiales del sector central del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, representando los primeros estudios de fraccionamiento de fósforo en el sedimento de este importante ecosistema. 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. La textura sedimentaria predominante en la mayor parte de esta zona es de tipo limo-arenosa con una pequeña proporción de arcilla. Los resultados obtenidos mostraron niveles altos de fósforo orgánico, los cuales variaron entre 30,60 a 670,25 mg/kg, atribuyéndose estos valores al hecho que existe un gran aporte de materia orgánica fresca que contribuye como fuente principal de grandes cantidades de especies químicas fosfatadas. Seguidamente: fósforo detrítico (7,94 a 297,35 mg/kg); fósforo autogénico (26,79 a 63,19 mg/kg) y, por último, el fósforo adsorbido más asociado a óxidos de hierro (0,24 a 1,30 mg/kg). Para el caso del fósforo total y nitrógeno total las concentraciones se encontraron entre 98,67 y 1025,57mg/kg y 22,45 y 178,57mg/kg, respectivamente. Cabe destacar, que principalmente los procesos naturales y algunas actividades antrópicas que afectan toda la zona se consideran como uno de los principales factores que condicionan las elevadas concentraciones de materia orgánica, carbono, carbonatos y las diferentes fracciones de fosforo, estudiados en estos sedimentos.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Gregorio Martínez Campos 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	goyomartinez@gmail.com
	e-mail	
Luisa Rojas	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	lrojas40@yahoo.com
	e-mail	
José Imery	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año Mes Día

2012	05	25
------	----	----

Lenguaje: **SPA**

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis_PP	Application/Word

Alcance:

Espacial: Nacional (Opcional)

Temporal: Temporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciatura en Química

Nivel Asociado con el Trabajo:

Licenciatura

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

CUN°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 *Martínez*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Cuatrecasas
JUAN A. BOLANOS CUATECASAS
Secretario



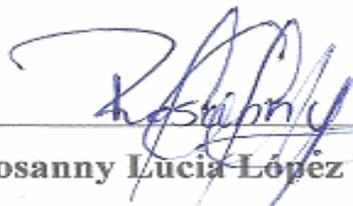
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.



Rosanny Lucía López Esparragoza

AUTOR