



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

FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL  
GOLFO DE PARIA Y COSTA ATLÁNTICA VENEZOLANA  
(Modalidad: Investigación)

Leomarys Carolina Guillot Barreto

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

Cumaná, 2008

FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL  
GOLFO DE PARIA Y COSTA ATLÁNTICA VENEZOLANA

APROBADO POR:

---

Prof. Aristide Márquez (M.Sc.)  
Asesor Académico

---

Prof. Gregorio Martínez  
Jurado Principal

---

Prof. Damaris Aguilera  
Jurado Principal

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iv
LISTA DE TABLAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN .....	viii
INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA .....	8
Área De Estudio.....	8
Recolección De Muestras .....	9
Análisis De Las Muestras .....	10
Extracción del fósforo adsorbido (F1) .....	10
Extracción del fósforo asociado a óxidos (F2) .....	10
Extracción de fósforo autogénico (F3) .....	11
Extracción del fósforo detrítico (F4) .....	11
Extracción del fósforo orgánico (F5).....	11
Fósforo total.....	12
Reproducibilidad Del Método .....	12
Comparación De La Muestra 18 Con Respecto Al Mes De Octubre De 2004 Y Junio De 2005.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
Fósforo Adsorbido .....	15
Fósforos Asociados A Óxidos .....	17
Fósforo Autogénico .....	20
Fósforo Detrítico.....	22
Fósforo Orgánico .....	25
Fósforo Total.....	28
CONCLUSIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA .....	33

## DEDICATORIA

A

Mi Dios, todopoderoso, La Virgen del Valle, Rosa Mística, Santa Bárbara, Corazón de Jesús y a la Virgen de Coromoto, por brindarme mucha salud e iluminar siempre mi vida hacia los caminos de la esperanza, del amor, la humildad, la sabiduría y sobre todo la inteligencia, para que hoy en día yo culminará con mucho éxitos mi carrera.

Mi gran ternura, Alfonso José, por hacerme la madre más feliz de la tierra, con sus encantos y travesuras ha llenado mi corazón de esperanza y felicidad y a mi otro bebé: Sebastián José, por alimentar cada día mi corazón de tanto amor, ternura, cariño y sobre todo por darme fuerza, valor a seguir en los caminos de mis triunfos, a ellos les dedico este logro tan maravilloso. Los amo con todo mi corazón.

Al ser que me dio la vida, su cariño, su amor, su respeto, su gran dedicación tanto en mi salud como en todos los caminos de mi vida, la que siempre me protege. A ti mamá, gracias por inculcarme valores, principios, buenos consejos y darme ese gran abrazo y palabras de aliento en los momentos más duros de mi vida. Gracias por ser mi madre. Te amo mamá.

Mi papá por darme su gran amor, su sabiduría, sus lindos consejos, su respeto, a ti te debo lo que hoy he logrado, gracias por creer en mí y sobre todo por darme fuerza y valentía para lograr hoy mis grandes éxitos, éxitos que son tuyos también, Sin ti papi no lo podía haber logrado. Gracias por enseñarme que en la vida se tiene que aprender, apreciar y valorar de las experiencias vívidas lo bueno y lo malo, para así mejorar su estilo de vida. Te amo.

Mis adorados hermanos: Celeste, Germán y Willy, gracias por brindarme su apoyo, su cariño, su confianza, su amor y estar siempre conmigo en los momentos más felices de nuestra vida. Los Quiero.

El gran amor de mi vida, Fernando, esposo a la vez, por inculcarme principios, valores, confianza y sobre todo ese gran aliento y fuerza para lograr los grandes éxitos, eres mi ejemplo a seguir, gracias por alimentar ese gran amor desde nuestra adolescencia hasta el resto de nuestras vidas y hacerme muy feliz. Te amo con todo mi corazón.

Mi suegra, Audelina, por brindarme su cariño, respeto, ayuda espiritual y sobre todo brindarme sus buenos consejos de aliento y fuerza en los momentos más felices y cruciales de mi vida. Te Quiero.

Mis y tíos y tías que, desde pequeña me dieron ese gran amor, compañía y ayuda para que siempre yo lograré los mejores éxitos de mi vida. Los Quiero mucho.

Mi querida madrina (Emilia), por su gran cariño, amor, respeto y sobre todo por estar conmigo en los momentos más cruciales de mi infancia. Te Quiero.

## AGRADECIMIENTO

A

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.

Mi asesor M.Sc. Márquez por brindarme todos sus conocimientos y adoptar en mí toda su amistad, confianza, amor y apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo de grado.

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

Al personal del I.O.V., Lic. Antonio Benítez por la ayuda en la elaboración de los gráficos.

A los técnicos Deudedit y Edimyr por su valiosa colaboración, dedicación y disposición en los distintos análisis realizados, de todo corazón son ellos a los que siempre les estaré muy agradecida, gracias por enseñarme todos los conocimientos necesarios de un buen laboratorio.

Mis amigas Lic. Maríajosé González y a la Lic. Marilú Pérez, gracias por brindarme su amistad, su cariño y en especial sus valiosos conocimientos y consejos para que hoy en día yo alcanzara mi gran sueño.

Al personal del Dpto. de Química y en especial a los Profesores José Guilarte, Ernesto Bastardo, Félix Bravo, Haydelba D'Armas; Maj Britt Mostue, Ysolanda Salazar,

así como también a los técnicos: Roseline, Hernán, y Luís, nunca olvidaré su ayuda efectiva y sobre todo sus sabios conocimientos.

Mis amigos con los que compartir momentos inolvidables en todo el transcurso de mi carrera: Lic. Darlys Blondell, Lic. Armando Castellar, Lic. Damaso Gómez, Lic. Andrea Andrades, Lic. Daylin Guzmán, Lic. Dañannys, Lic. Neudis González, Lic. José Luís Rivero, Yolving Malavé, Jennifer Bruzual, Sebastián, Carlos, Jesús, Orlando. Gracias por su amistad, les estaré siempre agradecida por todo lo que hicieron en ayudarme a lograr este sueño tan maravilloso.

Todos ustedes, muchísimas gracias por su valiosa amistad.

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reproducibilidad del método de análisis de extracción secuencial del fósforo (mg/kg) en el Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. ....	13
Tabla 2. Contenido de fósforo (mg/kg) para la estación 18 correspondiente a los meses de octubre 2004 y junio 2005. ....	14



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación relativa de las estaciones muestreadas en el Golfo de Paria y costa Atlántica Venezolana.....	8
Figura 2. Distribución espacial del fósforo adsorbido (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. ....	15
Figura 3. Distribución espacial del fósforo asociado a óxidos (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.....	18
Figura 4. Distribución espacial del fósforo autogénico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. ....	21
Figura 5. Distribución espacial del fósforo detrítico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. ....	23
Figura 6. Distribución espacial del fósforo orgánico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. ....	26
Figura 7. Distribución espacial fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.....	29

## RESUMEN

Se determinó el contenido de fósforo en las fracciones: adsorbido, asociados a óxidos, autogénico, detrítico, orgánico y fósforo total, en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y costa Atlántica Venezolana, representando los primeros estudios de fraccionamiento de fósforo en el sedimento de este importante ecosistema. Los resultados obtenidos muestran niveles altos de fósforo total dentro de la costa atlántica venezolana, los cuales variaron entre 180,32 mg/kg y 220,19 mg/kg; mientras que, en el Golfo de Paria, los valores oscilaron entre 122,07 mg/kg y 156,13 mg/kg. La tendencia en la distribución del contenido de fósforo total, muestra alrededor de la costa atlántica venezolana, nódulos concéntricos con concentraciones elevadas entre 170 mg/kg y 210 mg/kg; los cuales estarían asociados a la deposición de partículas que estarían afectadas por el choque de las diferentes corrientes que convergen en la zona: Atlántico, Caribe y Guyana, los cuales arrastran todo tipo de material orgánico e inorgánico procedentes de las industrias, aguas domésticas, pozos sépticos, ganadería y de la agricultura. Utilizando técnica de fraccionamiento secuencial, se determinó que el fósforo se encuentra principalmente asociado a los sedimentos como fósforo detrítico (25mg/kg a 142,81mg/kg), seguido en orden secuencial por fósforo orgánico (10,35mg/kg a 100mg/kg), fósforo adsorbido o lábil (0,68mg/kg a 16,79mg/kg), fósforo autogénico (1,20mg/kg a 10,00mg/kg) y por último como asociados a óxidos (0,1mg/kg a 2,4mg/kg). La variación apreciada en las diferentes formas del fósforo en la zona es debido a las diferentes fuentes de aporte de sedimentos, dentro de las que se incluyen la descarga del río Orinoco, la cual transporta material erosionado de Los Andes, del Escudo Guayanés y de los Llanos venezolanos, así como también material trasportado por la corriente de Guayana.

## INTRODUCCIÓN

La sedimentación es un proceso de deposición de materiales transportados que resultan de la meteorización de las rocas por agentes geológicos externos como el agua, aire y viento. La composición de los sedimentos está relacionada por factores como: la roca erosionada, agentes de la duración del transporte, y por las condiciones físicas de la cuenca de sedimentación. La sedimentación está relacionada con las aguas de los ríos, glaciares, lagos y el viento. (López, 2003).

Los sedimentos marinos son agregados de partículas insolubles de material no solidificado, que han sido arrastrados hacia el fondo de los mares y océanos por los agentes de transporte; ellos contienen acumulaciones de minerales detríticos, precipitados químicos, y sustancias de origen orgánico de gran importancia biológica (Cornwell y Owens, 1999; McLennan, 2003). Algunas características biogeoquímicas y fisicoquímicas de los sedimentos pueden ayudar a comprender de una manera más clara el sistema de corrientes, el estado de las condiciones óxido - reductoras en el fondo, la densidad de la población de la fauna bentónica, la actividad de los microorganismos y la naturaleza y génesis del depósito sedimentario (Dell' Anno *et al.*, 2002).

Los sedimentos y rocas sedimentarias se clasifican según dos grandes grupos: clásticos o también denominados terrígenos o detríticos y no clásticos o de origen químico y biológico; el primero de ellos es referido a aquellos sedimentos depositados por sedimentación física, la cual ocurre cuando termina el transporte del material, debido a una disminución de la energía de los agentes de transporte, por ejemplo: disminución de la fuerza del viento, culminación del movimiento de una masa de hielo o disminución de la energía de un río (Gilbin *et al.*, 2000; Lin *et al.*, 2002). Los sedimentos no clásticos son los originados por la sedimentación química, debido a la precipitación química (óxidos, carbonatos y fosfatos) o por evaporación de sales (cloruros, sulfatos,

carbonatos, nitratos y boratos) en aguas de cuencas de circulación restringida (Arenas y De la Lanza, 1990).

Los sedimentos formados exclusivamente por la acumulación de partículas de minerales y rocas se clasifican como sedimentos siliclásticos, debido a su composición predominantemente silicatada, e incluyen las gravas, arenas, limos y arcillas entre otros, y son diferenciados entre sí por el tamaño de los detritos. Aquellos sedimentos que son formados por la acumulación de restos orgánicos variados se denominan sedimentos bioclásticos, e incluyen restos de organismos tales como corales, bivalvos, foraminíferos, algas, etc. (Dyers, 1979; Attrill y Thomes, 1995).

Actualmente, su estudio es uno de los tópicos de mayor interés dentro de la Oceanografía y en las investigaciones biogeoquímicas. Tienen una relevante significación en las condiciones hidrogéocímicas del medio ambiente, como también en los procesos de la circulación metabólica de los materiales en las masa de agua (Guo *et al.*, 2000; Hansen *et al.*, 2004). El sedimento marino tiene una significación relevante en las investigaciones geoquímicas ya que es parte esencial de los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y los metales y metaloides. Su caracterización puede ayudar a comprender ciertas condiciones de gran importancia, como son la concentración de contaminantes y su relación con las características generales y típicas de cada zona, principalmente en las áreas marino costeras, debido a que ellas tienen una interacción más dinámica con todos los procesos físicos, químicos y biológicos, que se desarrollan en el medio ambiente marino (Heling *et al.*, 1990; Sadiq, 1992; Chapman *et al.*, 1996; Dassenakis *et al.*, 1997).

Los ecosistemas marino costeros son los receptores de la mayoría de los desechos procedentes del continente, y por esta razón pueden ser utilizados como un indicador muy sensible para el diagnóstico espacial y temporal de contaminantes o de estudios geoquímicos en general (Cortesao y Vale, 1995; Schneider y Davey, 1995; Balls *et al.*, 1997; Rubio *et al.*, 2000). Por otra parte, los sedimentos son considerados como fuente secundaria de contaminación ambiental, debido principalmente a la

acumulación de contaminantes de todo tipo; algunos de los cuales pueden retornar a la columna de agua o pueden pasar a la biota, por una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos (Attrill y Thomes, 1995; Schneider y Davey, 1995; Slotton y Reuter, 1995).

Esto ha traído como consecuencia que los estudios geoquímicos de los sedimentos sean un componente esencial en muchos programas de monitoreo internacional, en particular de contaminación por fósforo, tomando en consideración que es uno de los elementos fundamentales en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos de transformación y difusión de la materia orgánica en el medio ambiente (Rubio *et al.*, 1995; Schneider y Davey, 1995; Alongi *et al.*, 1996; Balls *et al.*, 1997; Dassenakis *et al.*, 1997).

Entre las condiciones que diferencian los sedimentos marinos de los continentales se encuentran: la deposición, contenido de  $\text{CaCO}_3$  y en particular; el origen de la materia orgánica. La materia orgánica en los sedimentos marinos consta generalmente de restos planctónicos, derivados de la zona eufótica del océano como producto de la actividad bioquímica, mientras que los sedimentos continentales están formados principalmente por restos de plantas terrestres como la celulosa y la lignina (Staunton y Leprince, 1996; Webster *et al.*, 2001).

Algunos de los componentes importantes del sedimento, es el fósforo en sus diferentes fracciones. El estudio de la especiación o fraccionamiento químico del fósforo, consiste en extracciones secuenciales con diferentes soluciones, con el fin de separar y cuantificar las distintas formas de fósforo en sedimentos (Hupfer *et al.*, 1995; Jensen y Thamdrup, 1998). Para conocer la distribución del fósforo en sus distintas formas, se han utilizado varios métodos químicos de fraccionamiento. Algunos miden la cantidad de fósforo orgánico respecto al contenido total, como el método de Amuerman (1991); y el de Bartels (1996). Otros, utilizan técnicas de fraccionamiento que separan las distintas formas del fósforo por medio de extractantes químicos aplicados secuencialmente a una muestra de sedimento, los cuales solubilizan diferentes

compuestos en cada paso. Dentro de estas técnicas, una de las más conocidas es la de Chang y Jackson (1957), que separa las distintas fracciones de fósforo inorgánico y estima el fósforo orgánico por la diferencia entre la suma de todas las fracciones inorgánicas extraídas y el fósforo total cuantificado, este método sin embargo, no da información acerca de la labilidad de las fracciones orgánicas. Una alternativa a este tipo de análisis fue propuesta por Sedex (2000), quien diseñó un método de fraccionamiento secuencial que remueve progresivamente desde las fracciones más lábiles hasta las menos disponibles en el sedimento. Este esquema permite establecer las proporciones del fósforo en distintas formas; tanto: absorbido, óxidos asociados, autigénico, detríticos; además, todos ellos dan información acerca de la cantidad y disponibilidad de la porción inorgánica y orgánica del fósforo en sedimento. En general, los estudios de fraccionamiento han mostrado ser adecuados para estudios de génesis de sedimentos marinos cuando se desea conocer la distribución del fósforo en las diferentes formas (Duffera y Robarge, 1996; Urioste *et al.*, 1996; Fang *et al.*, 2007).

El fósforo se encuentra tanto disuelto como particulado, ya sea en forma orgánica o inorgánica y su disponibilidad para la biota vegetal está condicionada por reacciones fisicoquímicas y biológicas. Lijkleman (1980) señala que en las aguas marinas, la forma disuelta inorgánica predominante del fósforo con un 87% es el fosfato monoácido ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), mientras que los fosfatos u ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) alcanzan un 12% y el diácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^+$ ) un 1%. El fósforo es considerado como un nutriente crítico en los ciclos biogeoquímicos; además, forma parte de compuestos vitales como fosfonucleótidos, fosfoaminoazúcares, fosfolípidos y de los complejos energéticos en la célula (ADP, ATP) (De la Lanza, 1994). El fósforo orgánico está asociado a la materia orgánica, la cual, mediante la actividad bacteriana, se transforma en forma inorgánica. La especie química  $\text{CaCO}_3\text{-P}$  es la más importante en los ambientes marinos y lacustre, controlando el contenido de fósforo en el agua y sedimentos (Koch *et al.*, 2001).

El fósforo juega un papel importante en el desarrollo de la vida acuática, ya que es imprescindible para el desarrollo de la misma, cuando su concentración aumenta, actúa de inhibidor de ciertas especies (Tornblom y Rydin, 1998). Además, este elemento tiene

una gran importancia ecológica por ser el elemento limitante o regulador de la productividad de algunos ecosistemas marinos y lacustres. Golterman (2001) y Slomp *et al.*, (2004) indican que el fósforo que entra a los océanos proveniente de los ríos se encuentra en el orden de (DIP+TOP = 0,29 y 0,45 x 10<sup>12</sup> mol P/ año) con una proporción en moles de N: P: 12:1, los cuales son menores que la proporción de Redfield N:P=16:1 en el plancton. Señalan los autores que, al parecer, hay una cierta cantidad de fósforo particulado orgánico no disponible para la producción biológica que se almacena en los sedimentos y es transportado, posteriormente, hacia el océano abierto.

Las mayores reservas de fósforo en el suelo se encuentran en las fosforitas, las cuales se descomponen por medio del ciclo hidrológico, los cuales liberan grandes cantidades de fosfato a las aguas costeras, mientras que una parte se queda en el sedimento. El fósforo utilizable del sedimento, se halla en forma de ión fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), los vegetales lo absorben y lo transforman en fósforo orgánico transportándose a lo largo de la cadena trófica hasta que los descomponedores (bacterias, hongos y otros) lo vuelven a transformar en fosfato inorgánico (De Stefano, *et al.*, 1998). Por lo general, el contenido de fósforo total en sedimentos puede ser un buen indicador del potencial de eutrofización en cualquier ecosistema marino costero (Rydin y Welch, 1998).

El fósforo puede ser regenerado a la columna de agua desde las partículas de materia orgánica en suspensión y desde el sedimento de fondo, debido al mezclado físico causado por corrientes verticales y por la difusión (Sharpley y Smith, 1985; Duffera y Robarge, 1996; Urioste *et al.*, 1996).

El presente estudio está contemplado dentro de las investigaciones realizadas por el PROYECTO LINEA BASE PLATAFORMA DELTANA (PLBPD) de PDVSA. En dicho proyecto, se propuso la ejecución de un estudio de línea base ambiental (LBA), para describir las condiciones actuales de la costa Atlántica Venezolana, en términos de calidad y nivel de intervención que presentan los diversos componentes de los ecosistemas que integran el área de estudio.

Los desarrollos de Plataforma Deltana y Mariscal Sucre, entre otros proyectos petroleros y petroquímicos, forman parte del plan de construcción de un importante complejo industrial denominado Complejo Industrial Gran Mariscal de Ayacucho (CIGMA) en la Península de Paria, que permitirá a Venezuela ocupar una posición estratégica en el mercado de Gas Natural Licuado (GNL) de la cuenca atlántica.

Debido a lo expuesto, es de interés la realización de estudios concernientes al fraccionamiento de fósforo en la zona de estudio señalada, con el propósito de detectar las diferentes formas de fósforo y, con ello el impacto que pudiera estar ocasionando la presencia del fósforo en sus distintas condiciones, debido a que este elemento, en conjunto con el nitrógeno, representan las principales causa de eutrofización en los cuerpos de aguas.

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

Astudillo y Bellorín (2006) realizaron un estudio de línea base del contenido de nutrientes en sedimentos superficiales de la laguna Buena Vista (Cariaco, estado Sucre). La investigación más reciente en Venezuela sobre fraccionamiento de fósforo en ecosistemas marino costeros ha sido reportada por Márquez *et al.*, en 2007, quienes



determinaron las concentraciones fósforo en sedimentos recientes de la Laguna los Patos, estado Sucre, Venezuela.

La presente investigación representa los primeros estudios de especiación del fósforo en el Golfo de Paria y la costa atlántica venezolana. La identificación de los compuestos de fósforo en los sedimentos de la zona de estudio pudiera servir para estimar o entender el origen, la transformación, distribución y la regeneración del fósforo.

## METODOLOGÍA

### Área De Estudio

El área de estudio utilizada para la presente investigación comprendió el Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana (Figura 1).

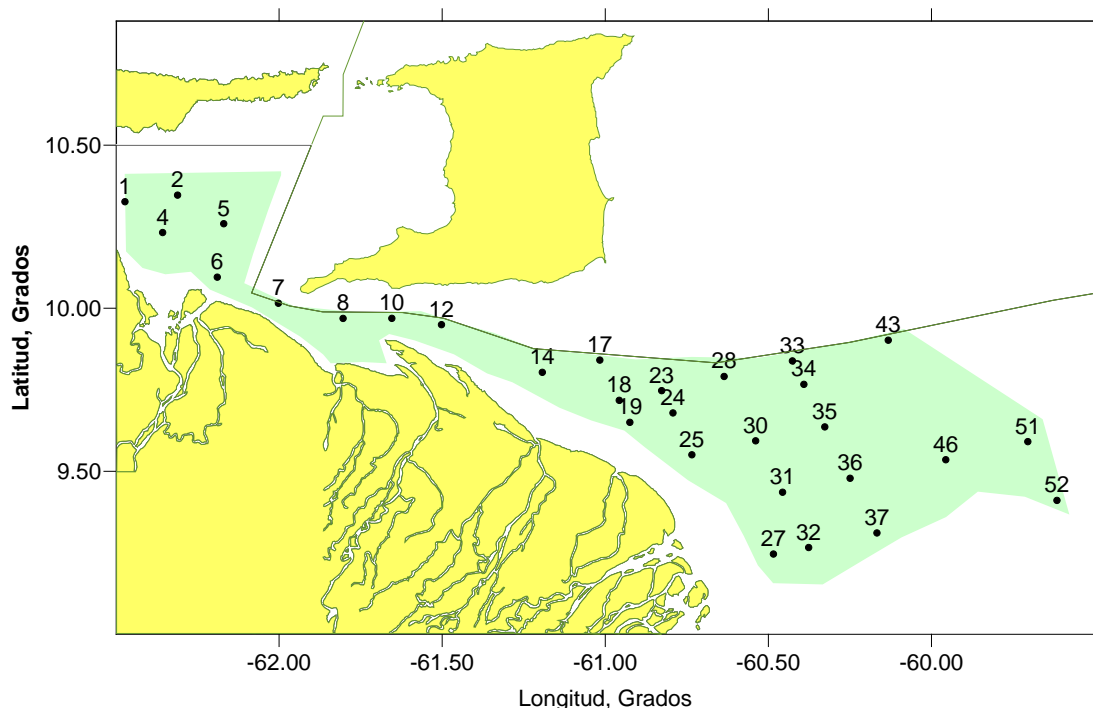


Figura 1. Ubicación relativa de las estaciones muestreadas en el Golfo de Paria y costa Atlántica Venezolana.

El Golfo de Paria es considerado desde el punto de vista ecológico un estuario donde confluyen, aparte de las aguas de origen marino, además es una depresión de origen tectónico sedimentario. Morfológicamente está formado por amplios estuarios y deltas que forman parte de la plataforma, de gran importancia en la deposición del material sedimentario, lo cual incide en la topografía del fondo (Lasso *et al.*, 2004).

Está bordeado al norte por una cadena de rocas metamórficas que constituyen la Península de Paria y parte con Trinidad y Tobago, por la parte sur y occidental, delimitando con el territorio Delta Amacuro y parte del estado Sucre y al este con

Trinidad y Tobago. Paria tiene comunicación al norte con el mar Caribe por la Boca de Dragón (amplitud  $\pm 20$  km) y al sur con el Océano Atlántico por la Boca de Serpiente (amplitud  $\pm 13$  km). En general, el Golfo de Paria tiene 135 km, en la dirección este-oeste y 72 km. De norte a sur, en la parte central forma una depresión cuya profundidad oscila de 20 a 30 m; en el área de Boca de Ajíes y Boca Grande prevalecen las profundidades menores de 10 m (Señaris, 2004).

Por el occidente del golfo los distributarios del río Orinoco descargan el aporte continental que, junto con el agua oceánica bajo la influencia de las corrientes de marea constituyen una mezcla de agua dulce y salobre en las capas superficiales y de agua oceánica en el fondo (Colonnello *et al.*, 2004). En general, los sedimentos predominantes en el Golfo de Paria son del tipo: lodo (arcillas - limosas) de color gris-negro - verdoso en el centro; color gris marrón en la parte baja del delta, la plataforma y en los estuarios.

### **Recolección De Muestras**

La plataforma de trabajo para la recolección de las muestras fue el buque oceanográfico Hermano Ginés perteneciente a la Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Punta de Piedra, estado Nueva Esparta. Se recolectaron (31) muestras de sedimentos superficiales en estaciones ubicadas dentro del Golfo de Paria y en la costa Atlántica Venezolana (Figura 1), durante los meses de octubre de 2004 y junio de 2005. Veinte (20) muestras de sedimentos fueron recolectadas durante el mes de octubre de 2004 (estaciones: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 17, 18, 28, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 51) y once (11) muestras durante el mes de junio de 2005 (estaciones: 18, 19, 23, 24, 25, 27, 30, 32, 43, 46, 52). Los sedimentos se colectaron mediante la utilización de una draga tipo Van Been y almacenadas en bolsas de polietileno a  $-20^{\circ}\text{C}$ . El secado de las muestras se realizó en una estufa a  $80^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante, luego se pulverizaron y homogenizaron en un mortero de porcelana, almacenándose posteriormente en envases de polietileno herméticamente cerrados. Todos los análisis fueron realizados en los

laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente.

### **Análisis De Las Muestras**

El método utilizado para la extracción secuencial de las diferentes fracciones de fósforo (F1= adsorbido, F2= asociado a óxidos, F3= autogénico, F4= detrítico, F5= orgánico,) fue el de Sedex del año 2000. Este método remueve progresivamente desde las fracciones más lábiles hasta las menos disponibles en el sedimento. Los análisis de fósforo total fueron realizados por el método de Valderrama (1981). Los detalles de las extracciones se señalan a continuación:

#### Extracción del fósforo adsorbido (F1)

Se pesó 1 g, de sedimento por duplicado y se colocó, en un tubo de centrifuga de 100 ml, luego se añadieron 10 ml de  $MgCl_2$  1 mol.l<sup>-1</sup> a pH 8. Se agitó durante 2 horas en un agitador mecánico Thermolyne Modelo Aros 160. Se repitió el proceso por segunda vez, separándose posteriormente la fase líquida y sólida mediante filtración en papel de filtro Whatman 42. El residuo sólido fue lavado con 10 ml de agua destilada para recoger cualquier porción remanente de la muestra en la fase líquida. El contenido de fósforo adsorbido fue determinado a partir de la fase líquida decantada.

#### Extracción del fósforo asociado a óxidos (F2)

La muestra del sedimento remanente proveniente de la extracción del fósforo adsorbido, se le agregaron 10 ml de una mezcla de citrato de sodio 0,22 mol.l<sup>-1</sup>, ditionito de sodio 0,14 mol.l<sup>-1</sup> y bicarbonato de sodio 1 mol.l<sup>-1</sup> a pH 7,6; luego se agitó durante 6 horas en un agitador mecánico. Posteriormente se le adicionaron 10 ml de  $MgCl_2$  1 mol.l<sup>-1</sup> a pH 8 y se volvió agitar durante 2 horas. La fase líquida y sólida fue separada mediante filtración en papel de filtro Whatman 42. 10 ml de agua destilada fueron

añadidos al sólido remanente para lavar y recoger cualquier porción de la muestra decantada y finalmente se calculó el contenido de fósforo asociados a óxidos.

#### Extracción de fósforo autogénico (F3)

A la muestra del sedimento proveniente del paso dos, se le adicionaron 10 ml de acetato de sodio  $1 \text{ mol.l}^{-1}$  a pH 4, luego se agitó durante 2 horas en un agitador mecánico y se le agregaron 10 ml de  $\text{MgCl}_2$   $1 \text{ mol.l}^{-1}$  a pH 8, durante 2 horas; se agitó la mezcla y posteriormente se le adicionaron 10 ml de  $\text{MgCl}_2$   $1 \text{ mol.l}^{-1}$  a pH 8, durante 2 horas, se separaron la fase líquida y sólida mediante filtración en papel de filtro Whatman 42. Se adicionaron 10 ml de agua destilada al sólido remanente para lavar y recoger cualquier porción de la muestra decantada. El contenido de fósforo autogénico fue determinado posteriormente a partir de la fase líquida decantada.

#### Extracción del fósforo detrítico (F4)

Al sedimento de la extracción anterior se le adicionaron 13 ml de  $\text{HCl}$   $1 \text{ mol.l}^{-1}$ , luego se agitó durante 16 horas en un agitador mecánico, posteriormente se separaron la fase líquida y sólida mediante filtración en papel de filtro Whatman 42: El contenido en fósforo detrítico fue determinado a partir de la fase líquida decantada.

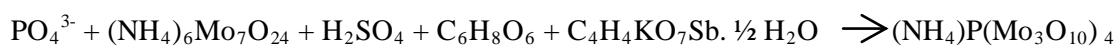
#### Extracción del fósforo orgánico (F5)

Al sedimento de la extracción anterior se le agregó 1 ml de  $\text{MgNO}_3$ , se secó en una estufa a  $80^\circ\text{C}$ , y se sometió a ignición a  $550^\circ\text{C}$  durante 1 hora. Las cenizas remanentes se extrajeron posteriormente con 13 ml de  $\text{HCl}$   $1 \text{ mol.l}^{-1}$  con agitación mecánica durante 24 horas. La fase líquida y sólida fue separada mediante filtración en papel de filtro Whatman 42, determinándose el contenido en fósforo orgánico posteriormente en la fracción líquida decantada.

## Fósforo total

Las concentraciones de fósforo total se analizaron por el método de digestión (Valderrama, 1981). El método consiste en la oxidación simultánea de los compuestos de nitrógeno y el fósforo total con una solución de persulfato de potasio. Para la oxidación de los compuestos de fósforo se realizó en medio ácido. La oxidación de la reacción, comenzó a pH 9,7 y finalizó a pH a 5,0-6,0. Estas condiciones fueron obtenidas utilizando el sistema ácido bórico-hidróxido de sodio 1 mol.l<sup>-1</sup>. Para el fósforo total, la precisión osciló alrededor de 0,2%.

La cuantificación del fósforo en todos los extractos se determinó colorimétricamente por el método de Murphy and Reliey (1962). En este método los iones fosfato reacciona con el molibdato de amonio, en presencia de antimonio (II), para formar un complejo que es luego reducido por el ácido ascórbico. Las mediciones de las concentraciones de fósforo se realizaron utilizando un espectrofotómetro Thermo Spectronic, modelo Genesis TM 8 a una longitud de onda de 885 nm.



Para los análisis de fósforo total se utilizaron patrones certificados de clase analítica ultra pura, Marine Nutrients Standards Kit. Toda el agua utilizada tanto en la preparación de reactivos, curvas de calibración y blancos de reactivos fue agua desionizada altamente pura (agua calidad NANOPURE de conductividad de 18 MΩ/cm). Esto fue alcanzado con un sistema NANOPURE UV, Marca Barnstead (USA). Al mismo tiempo el material volumétrico de vidrio utilizado en el laboratorio fue de Clase A y los reactivos de Clase Analítica ultra pura.

## Reproducibilidad Del Método

La confiabilidad del método fue chequeada utilizando tres muestras de sedimentos (estaciones 34, 35 y 36). Cada muestra fue analizada por triplicado, determinándose

posteriormente la desviación estándar de las medidas para cada muestra. La reproducibilidad del método muestra confiabilidad tal como lo demuestra las bajas desviaciones estándar obtenidas para cada una de las fracciones en las diferentes muestras utilizadas.

Tabla 1. Reproducibilidad del método de análisis de extracción secuencial del fósforo (mg/kg) en el Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

<b>Replica (Est. 34)</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>Fósforo Total</b>
1	6,66	0,78	2,14	69,88	48,50	127,62
2	6,25	0,78	2,11	69,91	47,59	127,35
3	6,81	0,54	2,14	69,94	47,29	126,59
Prom.	6,57	0,70	2,13	69,91	47,79	127,19
Máx.	6,81	0,78	2,14	69,94	48,50	127,62
Min.	6,25	0,54	2,11	69,88	47,29	126,59
DS.	0,29	0,14	0,02	0,03	0,63	0,54
<b>Replica (Est. 35)</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>Fósforo Total</b>
1	8,78	0,22	1,26	82,25	64,23	156,53
2	8,75	0,19	1,23	82,35	64,22	156,67
3	8,72	0,19	1,23	82,24	64,32	156,58
Prom.	8,75	0,20	1,24	82,28	64,26	156,59
Máx.	8,78	0,22	1,26	82,35	64,32	156,67
Min.	8,72	0,19	1,23	82,24	64,22	156,53
DS.	0,03	0,02	0,02	0,06	0,06	0,07
<b>Replica (Est. 36)</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>Fósforo Total</b>
1	6,93	0,15	1,71	80,07	62,39	151,55
2	6,90	0,15	1,66	80,01	62,56	151,42
3	6,91	0,13	1,69	80,07	62,49	151,38
Prom.	6,91	0,14	1,69	80,05	62,48	151,45
Máx.	6,93	0,15	1,71	80,07	62,56	151,55
Min.	6,90	0,13	1,66	80,01	62,39	151,38
DS.	0,02	0,01	0,03	0,03	0,09	0,09

Prom = promedio  
Máx = máximo

Min = mínimo  
DS = Desviación estándar.

### **Comparación De La Muestra 18 Con Respecto Al Mes De Octubre De 2004 Y Junio De 2005**

Se analizó y se comparó la muestra 18 del mes de octubre de 2004 en relación a la muestra 18 del mes de junio de 2005. En la tabla 2 se puede observar que la muestra

no presentó tanta variación en las fracciones, con respecto al contenido de fósforo en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

Tabla 2. Contenido de fósforo (mg/kg) para la estación 18 correspondiente a los meses de octubre 2004 y junio 2005.

<b>Estaciones</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>FT</b>
18(Jun.2005)	2,64	0,76	2,12	67,84	63,70	136,60
18(Oct. 2004)	2,62	0,74	2,09	67,81	63,68	136,58
Máx.	2,64	0,76	2,12	67,84	63,70	136,60
Min.	2,62	0,74	2,09	67,81	63,68	136,58
Prom.	2,63	0,75	2,11	67,83	63,69	136,59
DS.	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Var.	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002

Prom = promedio  
Máx = máximo  
Var = Varianza

Min = mínimo  
DS = Desviación estándar.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Fósforo Adsorbido

Las concentraciones de fósforo adsorbido (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) se muestran en la Figura 2. Las máximas concentraciones, las cuales alcanzaron 16,79 mg/kg (correspondiente a 10,50% de fósforo adsorbido con respecto al fósforo total) fueron detectadas hacia el extremo noreste de la zona de estudio, observándose un promedio de 5,78 mg/kg (4,24%) en la periferia de la costa Atlántica Venezolana. Como tendencia general se apreció que, los valores mínimos en las concentraciones de fósforo adsorbido se ubicaron hacia la zona costera y dentro del Golfo de Paria donde los valores variaron entre 0,68 mg/kg y 5,79 mg/kg (0,50% y 3,50%) con un promedio de 1,59 mg/kg (1,26%). La distribución observada en las máximas concentraciones de fósforo adsorbido con respecto al fósforo total, evidencian dos mecanismos principales de afectación en los porcentajes, los cuales estarían relacionados con la intensidad y direccionalidad de las diferentes corrientes que convergen en la zona de estudio.

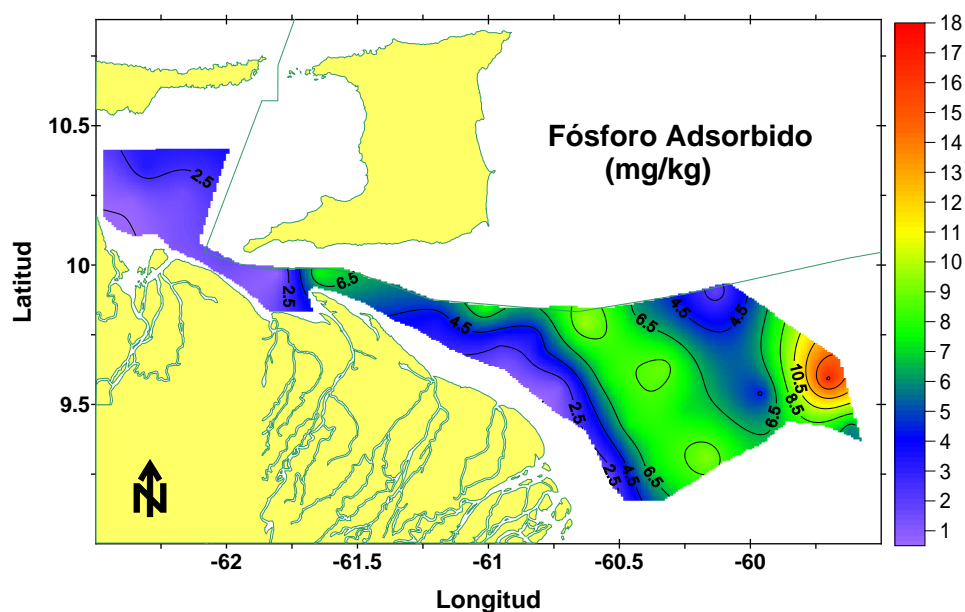


Figura 2. Distribución espacial del fósforo adsorbido (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

El primero podría estar asociado a que, en épocas de aguas altas el Orinoco fluye por la parte noreste bordeando a Trinidad y Tobago. Esta característica permitiría que, un mayor número de partículas sean depositadas hacia el extremo noroeste, permitiendo un enriquecimiento del fósforo en la fracción adsorbida. El segundo mecanismo podría ser originado por dos diferentes fuentes de aporte. Una primera fuente originada por la contribución de partículas provenientes de las aguas de la corriente de Guyana, la cual penetra en el Delta del Orinoco desde la zona noreste, esta agua proporcionaría concentraciones de fósforo adsorbido entre 7,15 mg/kg y 16,79 mg/kg (4,00% y 10,50%). La segunda fuente posible con concentraciones de fósforo adsorbido entre 0,68 mg/kg y 4,36 mg/kg (0,50% y 3,00%), podría corresponder a los aportes de las aguas del río Orinoco, las cuales fluyen más pegadas a la costa en los meses de aguas bajas (junio) y en aguas de descenso (octubre). Otras causas que no son descartadas y que pudieran originar incrementos en los porcentajes de fósforo, son los aportes de aguas ricas en compuestos fosfatados como los detergentes o bien a las descargas de aguas domésticas provenientes de las zonas adyacentes del Golfo de Paria.

Sedex (2000) reportó valores entre 0,10% y 6,30% de fósforo adsorbido con respecto al fósforo total en los sedimentos de fondos en el Pacífico del este, California. Indica el autor que el bajo contenido de fósforo adsorbido en la zona estudiada está asociado a la influencia de las corrientes y a la surgencia de las aguas, las cuales modifican la textura del sedimento. Mckelvie (2005) reportó valores que oscilaron entre 2,50% y 8,60% de fósforo adsorbido con respecto al fósforo total en los sedimentos de la Gran Barrera de Arrecife, ubicado en la costa noreste de Australia; señala el autor que los valores obtenidos, tienen su origen en la acumulación de residuos industriales, mineros, gaseosos de origen motriz, plaguicidas, radio activos, desechos urbanos y desechos orgánicos de origen animal y humano que son descargados hacia la zona de estudio. También señala que a pesar de que estos contaminantes que contienen fósforo resultan devastadores a largo plazo, por lo general, los ecosistemas tienen propiedades homeostáticas, es decir, de autorregulación, que les permite asimilar el aumento en la concentración del fósforo adsorbido, impidiendo variaciones considerables.

Karageorgis *et al.* (2002) estudiaron los sedimentos del Golfo de Pagassitikos en Grecia, determinaron porcentajes de fósforo adsorbidos con respecto al fósforo total, superiores a los determinados en esta investigación. Señalan los autores que los valores obtenidos, variaron entre 6,30% y 39,50% y estaban asociados a las grandes descargas de desechos industriales y domésticos procedente de las zonas adyacentes. Ramírez (1999) reportó valores de 12,11% para sedimentos de Punta Arena y 13,08% en el Golfo de Cariaco, atribuyendo los valores a los afluentes que convergen en la zona. Indica el autor que, en la zona los aportes, están relacionados con la presencia de materia orgánica de origen biogénico, antrópico y de origen doméstico.

El fósforo adsorbido en el sedimento está débilmente unido a la matriz sedimentaria. La presencia de dicho elemento, tanto en suelos agrícolas y especialmente en los sedimentos superficiales de mares, lagos, lagunas, ríos y demás cuerpos de agua continentales, está asociada a los fertilizantes fosforados que son utilizados para contrarrestar el déficit de fósforo asimilable en los cultivos. Esta situación genera incrementos en la concentración 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).

### **Fósforos Asociados A Óxidos**

La Figura 3 muestra la distribución espacial del fósforo asociado a óxidos (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. Se apreció hacia la zona suroeste del área estudiada concentraciones superiores a 1,8mg/kg (correspondiente a 1,30% de fósforo asociados a óxidos con respecto al fósforo total), los cuales descendieron hasta 0,70 mg/kg (0,57%) hacia el Este costa afuera. Hacia las inmediaciones del Golfo de Paria, las concentraciones oscilaron entre 0,8mg/kg y 1,4mg/kg (0,50% y 0,70%); con un promedio de 0,53mg/kg (0,41%). Como tendencia general, se detectó que los valores mínimos entre 0,1 mg/kg a 0,6 mg/kg (0,10% a 0,40%) en las concentraciones de fósforo en esta fracción con respecto al fósforo total, se ubicaron hacia el sureste, al

extremo del norte del delta, y al oeste del Golfo de Paria. La distribución apreciada en las máximas concentraciones sugieren orígenes relacionados con los aportes provenientes desde los caños: Macareo, Mariusa, Guanipa, Guariche, Guiniquina, Capure, Cocuina, Araguao, Merejina y los ríos Grande, Amacuro, Barina y Orinoco; los cuales desembocan en la zona de estudio. El río Orinoco puede transportar materiales erosionado proveniente de Los Andes, de Los Llanos venezolanos y colombianos. Otra fuente de material la constituye el río Esequibo y la corriente de Guayana.

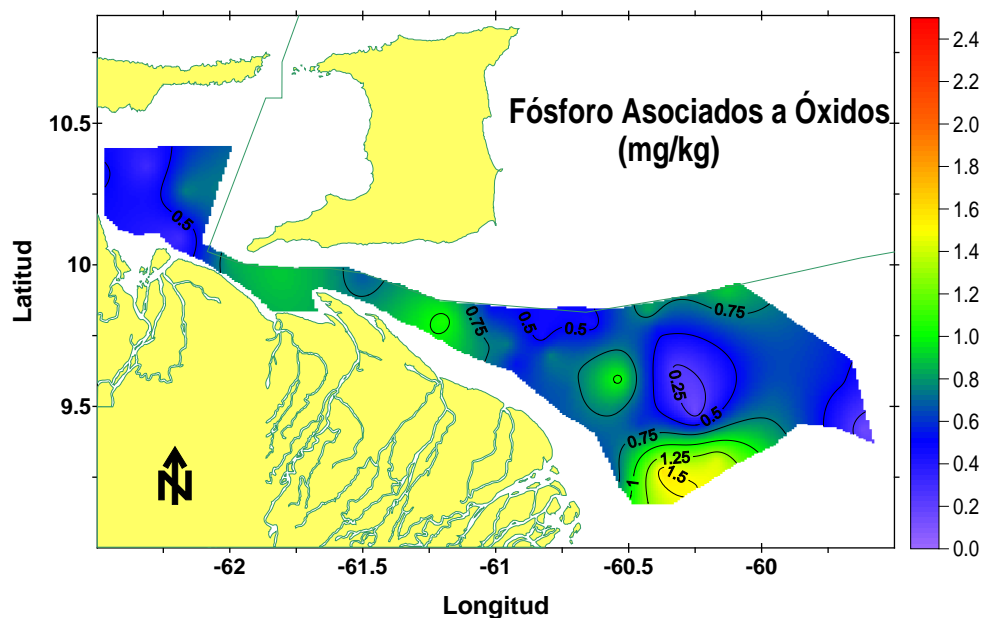


Figura 3. Distribución espacial del fósforo asociado a óxidos (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

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 *al.*, 2004).

Colonnello *et al.* (2004) señalaron 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. Según dicho los autores, una vez sedimentada las partículas, se generan cambios en la textura de los sedimentos por medio de los procesos fisicoquímicos que se puedan estar desarrollando en dicho ecosistema. Por lo general, las partículas que son adsorbidas sobre el sedimento proporcionan un enriquecimiento de nutrientes en cualquier ecosistema.

Sedex (2000) determinó valores comprendidos entre 1,31% y 5,62% de fósforo asociados a óxidos con respecto al fósforo total en los sedimentos pertenecientes a la zona del Pacífico del este, California. Señala el autor que las formas del fósforo en los sedimentos, están asociadas a los procesos fisicoquímicos que se desarrollan en la zona. Indica el autor que en la zona del Pacífico del este, California, ocurre constantemente una perturbación física, como consecuencia de las prácticas agrícolas poco acertadas y de las tierras deforestadas adyacentes, los cuales reflejan cambios en la distribución del P sobre el sedimento. Hieltes y Lijklema (1980) determinaron en sedimentos calcáreos de la cuenca de Gotland Oriental, valores de fósforo asociado a óxidos con respecto al fósforo total, entre 0,05% y 0,15%, niveles que son inferiores a los reportados en la presente investigación. Los autores señalan que los bajos valores detectados en esa zona, están asociados a la escasa precipitación química sobre la matriz sedimentaria. Paing y Picot (1999) reportaron porcentajes de fósforo asociados a óxidos con respecto al fósforo total, entre 4,80% y 9,25% en sedimentos superficiales del río Grande de Manatí, en Barcelona (Puerto Rico). Los autores indican que el alto contenido de fósforo asociado a óxidos encontrado en la zona de estudio, está relacionado posiblemente a las grandes descargas industriales, domésticas, aguas de desechos procedentes de los sistemas sépticos domésticos y a las aguas provenientes de los cultivos agrícolas. Cross y Schlesinger (1995) reportaron valores de fósforo asociados a óxidos con respecto al fósforo total en los sedimentos superficiales del Golfo de Carpentaria (Australia) entre 12,55% hasta un 32,63%, valores que son superiores a los determinados en la presente

investigación. Señalan los autores que las diferentes características que presentan los sedimentos en la zona de estudio, están influenciadas por procesos de solubilidad y otros eventos fisicoquímicos; entre ellos: los procesos de adsorción y desorción, que se desarrollan en el Golfo de Carpentaria.

Por lo general, una alta proporción de fósforo asociado a los óxidos en el sedimento, está relacionado a las precipitaciones de compuestos orgánicos y/o inorgánicas que se encuentran disueltas en el agua como producto del cambio de temperatura, pH, o simplemente por saturación de sales. Rubio *et al.* (2000) y Schenau *et al.* (2001) indican que el fósforo ligado a hierro y aluminio en los sedimentos de fondo se encuentra regulado por los cambios del pH del agua, el cual, en condiciones alcalinas, determina que el fósforo sea liberado hacia la columna de agua.

### **Fósforo Autogénico**

La Figura 4 muestra la distribución espacial del fósforo autogénico (mg/kg) con respecto al fósforo total en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. Las máximas concentraciones entre 8mg/kg a 10mg/kg (8,00% a 10,50%) se observaron hacia el suroeste de la zona de Guyana. Alrededor de la costa Atlántica Venezolana el promedio osciló alrededor de 2,99 mg/kg (2,35%), mientras que en el Golfo de Paria, fueron menores, alcanzando 2,07 mg/kg (1,61%). En la periferia de la desembocadura del río Orinoco, y alrededor de la zona costera, las concentraciones variaron entre 1,20 mg/kg y 3,00 mg/kg (0,50% y 3,00%). Las máximas concentraciones detectadas podrían estar asociadas a la diagénesis que ocurre en estos sedimentos, como producto de la influencia de los factores fisicoquímicos; tal como lo señalan investigaciones realizadas por Colonnello *et al.* (2004) y Señaris (2004) en otros ecosistemas. 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 transformación como producto del paso del tiempo.

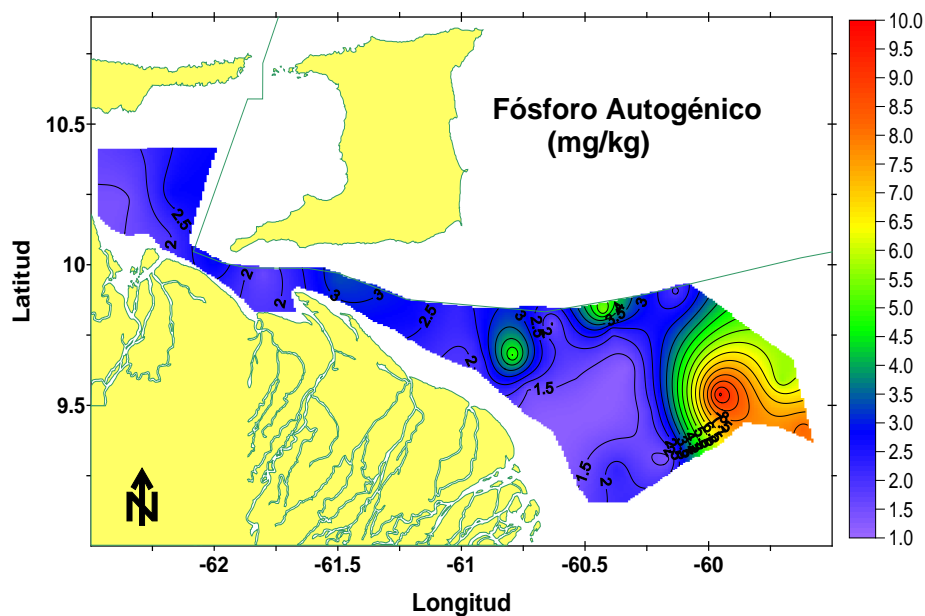


Figura 4. Distribución espacial del fósforo autogénico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

Otra posible fuente que genera porcentajes en esta fracción con respecto al fósforo total (mg/kg) en el ecosistema estudiado entre 6,0mg/kg y 7,50mg/kg (6,50% y 7,50%), podrían relacionarse con la acción de las corrientes del Atlántico, Caribe y a la de Guyana, los cuales arrastran todo tipo de material de desechos orgánico e inorgánico a la zona de estudio, provenientes de las industrias, caseríos, caños, caudales entre otros. Los valores mínimos de fósforo autogénico determinados, podrían estar asociados a los aportes de las aguas del río Orinoco, las cuales fluyen muy cerca de la costa en los meses de aguas bajas (junio) y en aguas de descenso (a partir del mes de octubre aproximadamente). Del mismo modo, el fósforo asimilable puede disminuir al combinarse y formar sustancias insolubles que se depositan en el sedimento de fondo (Sande Fouz, 2002). El fósforo asimilado por los productores primarios, se regenera hacia la columna de agua cuando los tejidos muertos de estos organismos se oxidan por acción de los microorganismos descomponedores. Delgado y Torrent (2000) señalan que el fósforo autogénico presente en los sedimentos están asociados a los minerales autogénicos; ya que estos se forman químicamente, después de la deposición, son

producto de la diagénesis y pueden formarse en las etapas tempranas o tardías del proceso de litificación.

Sedex (2000) reportó valores entre 0,24% y 5,20% de fósforo autogénico con respecto al fósforo total en los sedimentos pertenecientes a la zona del Pacífico del este, California. Señala el autor que, los valores obtenidos son producto del cambio diagenético que se desarrolla en la zona; la cual está condicionada por los procesos fisicoquímicos; los cuales producen cambios en la densidad del sedimento, debido a la compactación de las partículas de origen sedimentaria. Carignan y Vaithyanathan (1999) determinaron valores entre 0,62% y 7,88% de fósforo autogénico con respecto al fósforo total en los sedimentos del río Paraná (Argentina). Los autores indican que en la zona de estudio, la diagénesis está afectada por los procesos físicos y químicos, los cuales afectan al sedimento después del depósito y antes del metamorfismo de bajo grado. Por lo general, la diagénesis está dada por un proceso de formación de una roca a partir de sedimentos disgregados que sufren un proceso posterior de consolidación. En la mayoría de los casos, la consolidación de los sedimentos de la zona del río Paraná, es debida a la infiltración de las aguas que contienen sustancias disueltas.

Jensen y Thamdrup (1998) determinaron porcentajes de fósforo autogénico con respecto al fósforo total entre 36,21% y 70,61% en el Golfo Corcovado (Chile), los autores señalan que el alto contenido de fósforo autogénico está asociado al contenido de materia orgánica acumulada desde las esorrentías de los ríos, caños y lagos que desembocan en la zona de estudio. La mayoría de los sedimentos pertenecientes al Golfo Corcovado, están constituidos por limo y arcilla, partículas que adsorben el fósforo.

### **Fósforo Detrítico**

La Figura 5 muestra la distribución espacial del fósforo detrítico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana. Se observó un mayor contenido de fósforo detrítico al oeste del



río Orinoco, los cuales oscilaron entre 82,66 mg/kg y 142,81 mg/kg (60% y 75%), detectándose promedios de 65,94 mg/kg (50,77%) dentro del Golfo de Paria. De igual manera, se apreciaron promedios de 67,82 mg/kg (49,80%) alrededor de la costa Atlántica Venezolana.

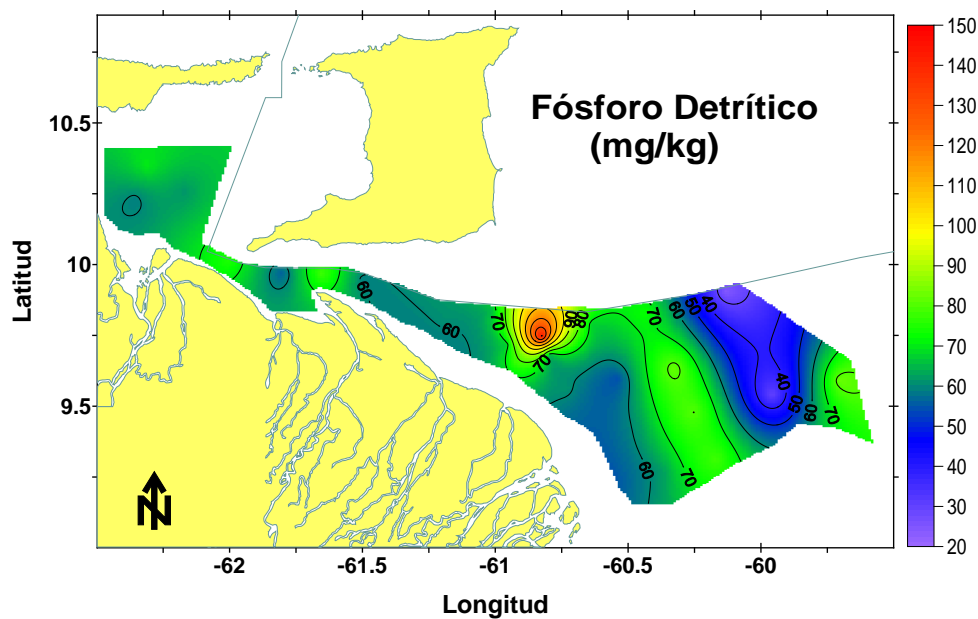


Figura 5. Distribución espacial del fósforo detrítico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

Las mínimas concentraciones se apreciaron al sur de la zona de Guyana, donde se apreciaron valores entre 25mg/kg a 55mg/kg (25% a 38%). Las máximas concentraciones de fósforo detrítico con respecto al fósforo total, podrían estar asociadas a restos de animales, vegetales; y/o minerales originados por la precipitación química.

Niveles entre 60 mg/kg y 90 mg/kg (40% y 54%) fueron apreciados en el Golfo de Paria, al norte del río Orinoco y alrededor de la costa Atlántica Venezolana en dirección hacia Guyana. Las concentraciones halladas, podrían estar asociadas en parte a procesos diagenético que podrían estar ocurriendo en la zona de estudio, puesto que, Delgado y Torrent (2000) señalan que los procesos diagenético 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, los cuales contribuyen a la precipitación de los agentes químicos y de los minerales detríticos (Anderson y Delaney, 2000).

Sedex (2000) reportó valores de fósforo detrítico con respecto al fósforo total entre 19,83% y 58,54%, porcentajes que son inferiores a los indicados en la presente investigación. El autor señala que los sedimentos perteneciente a la zona del Pacífico del este, California, son ricos en carbonato de calcio y están formados por restos de foraminíferos, cocolitofóridos y pterópodos. López (2003) indicó porcentajes de fósforo detrítico con respecto al fósforo total entre 28,23% y 79,90% en la Isla Minorca (España-Barcelona), el autor explica que, el alto contenido de fósforo determinado es debido a la abundancia de conchas y calizas presente en los sedimentos y a la rápida erosión de los sedimentos. Cabeçadas *et al.* (1999) determinaron porcentajes de fósforo detrítico con respecto al fósforo total, inferiores al 40% en el Golfo de Corinto (Grecia), indicando que los valores determinados son consistentes con estratos superficiales de las zonas sedimentarias de consistencia blanda. Señalan que, a medida que se van acumulando nuevas capas de sedimento en el fondo por la acción de las corrientes oceánicas, las capas inferiores están sometidas a mayor peso y, en consecuencia, se ven afectadas por los cambios químicos que, finalmente, convierten el sedimento en una roca dura, en la cual se pueden absorber una variabilidad de materiales orgánico e inorgánico. Estas características están asociadas a las condiciones diagénéticas y geológicas que prevalecen en el ecosistema marino.

## **Fósforo Orgánico**

Las concentraciones de fósforo orgánico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) se muestran en la Figura 6. Las máximas concentraciones oscilaron entre 55mg/kg a 100mg/kg (55% a 70%), valores que fueron detectados hacia el extremo noroeste de la zona de Guyana, presentando un promedio de 56,77mg/kg (42,73%) de fósforo orgánico alrededor de la costa Atlántica Venezolana. Como tendencia general se apreció que, las mínimas concentraciones de fósforo orgánico con respecto al fósforo total (mg/kg), se ubicaron hacia la parte sur de la desembocadura del río Orinoco, donde las concentraciones variaron entre 10,35mg/kg y 28,50mg/kg (23,01% y 34,50%). Esta característica pudiera estar asociada a los aportes de las aguas del río Orinoco, las cuales fluyen muy cercana a la costa en los meses de aguas bajas (junio) y en aguas de descenso (octubre).

Otras fuentes posibles de fósforo orgánico, son los aportes de los sedimentos procedentes del material lítico de Los Andes y de Los Llanos colombianos y venezolanos.

Cada año, grandes cantidades de sedimentos nuevos son descargados en el Delta del Orinoco y trasportados hacia el norte por la acción de la corriente Ecuatorial del norte. Estas partículas generan un enriquecimiento de fósforo sobre las partículas del sedimento. En la zona del Golfo de Paria y hacia el norte de la desembocadura del río Orinoco, se observaron porcentajes entre 35 mg/kg y 52mg/kg (35,50% y 47%) con promedio de 58,32 mg/kg (45,60%).

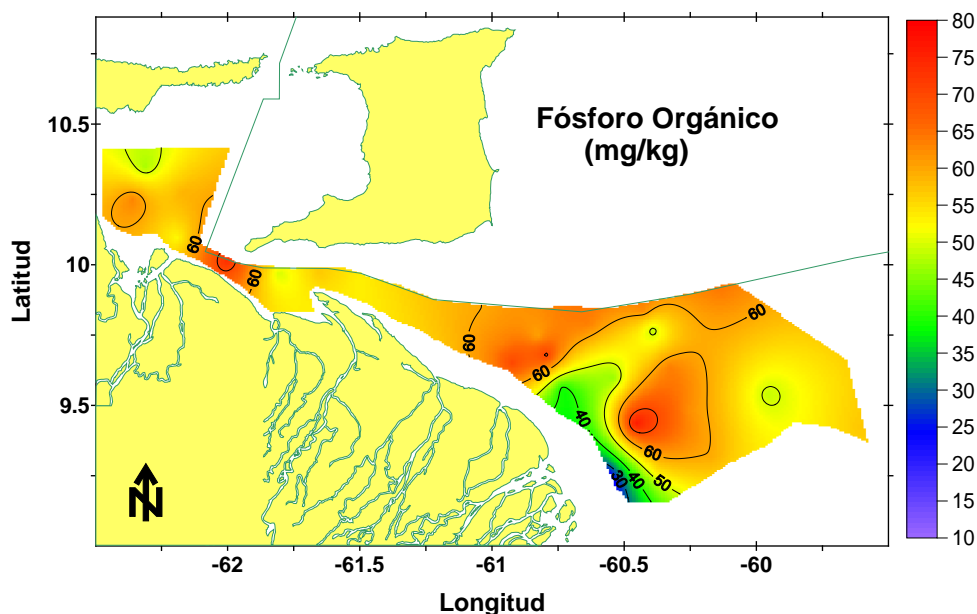


Figura 6. Distribución espacial del fósforo orgánico (mg/kg) con respecto al fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

Otras causas que no son descartadas y que pudieran originar incrementos en los porcentajes de fósforo, son los aportes de aguas ricas en compuestos fosfatados como los detergentes o bien a las descargas de aguas domésticas y agrícolas, provenientes de las zonas adyacentes del Golfo de Paria.

Colonnello *et al.* (2004) señalan que parte los sedimentos de la zona de Paria, parecieran ser de origen alotóctono, constituidos por residuos orgánicos, en tal sentido, una alta proporción de fósforo orgánico, estarían asociados a la materia orgánica presente en el medio.

Sedex (2000) determinó porcentajes de fósforo orgánico con respecto al fósforo total entre 11,23% y 38,45%, el autor indica que los valores mínimos de fósforo pudieran estar asociados a la liberación de ésta especie química hacia la columna de agua, debido a la degradación de la materia orgánica presente en el sedimento. Señala también que en la superficie del sedimento prevalecen los mecanismos abióticos. Astudillo y Bellowín (2006) reportaron valores de fósforo orgánico con respecto al

fósforo total 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. Fuentes *et al.* (1997), en sedimentos de la Laguna de Chacopata, determinaron porcentajes de fósforo orgánico con respecto al fósforo total, los cuales variaron de 1,52% a 7,47%, señalando que en la superficie del sedimento, se encuentran una variabilidad de sustancias húmicas; las cuales son mezclas complejas de varios electrolitos orgánicos, derivados de la actividad microbiana a partir de biomasa muerta, principalmente de residuos de plantas. Indican también que en la Laguna de Chacopata, los sedimentos poseen fuertes interacciones con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Aranda (1999) reportó valores de fósforo orgánico (%) con respecto al fósforo total entre 1,08% y 9,78% en sedimentos de La Ensenada Grande del Obispo, el autor indica que los valores de fósforo orgánico determinados, están asociados a los procesos de adsorción del fósforo. Mudarra (2000), en sedimentos de la Ensenada de Puerto Escondido, reportó porcentajes de fósforo orgánico con respecto al fósforo total desde 4,06% y 12,85% menores a los valores determinados en esta investigación.

La distribución y contenido de fósforo orgánico en los sedimentos depende del origen, textura, tasa de sedimentación y descomposición orgánica que presenta la fracción sedimentaria, además de las condiciones hidrográficas, y biogeoquímica del ambiente sedimentario. El estudio y evolución del fósforo orgánico presente en los sedimentos permite dilucidar los procesos metabólicos, además ayuda a entender los cambios diagenéticos, los mecanismos biogeoquímicos de biodegradación y remoción de la materia orgánica en los sedimentos. (Qiu y McComb, 2000).

El fósforo orgánico se asocia a la materia orgánica, la cual sometida a la actividad bacteriana se transforma dando lugar a la forma de fósforo inorgánico. La especie química  $\text{CaCO}_3\text{-P}$  es el más importante compuesto químico en los ambientes marinos y lacustres que controla el contenido de fósforo en el agua y sedimentos; esto es probablemente, porque el fósforo antropogénico reacciona con el carbonato de calcio

para formar fosfato cálcico en solución sólida biogénica de  $\text{CaCO}_3$  (Aranda, 1999; Ramírez, 2000). McDowell *et al.* (2002) señalan que, la acumulación de materiales orgánicos en los sedimentos puede ser clasificados en dos tipos, constituyentes alotóctonos y autóctonos. El principal problema es diferenciarlos en el ambiente. Estas se diferencian en su composición; el material autóctono se asemeja más cercanamente a los productos biológicos primarios, mientras que la fracción alotóctona está principalmente compuesta de productos de reacciones secundarias, como ácido húmico y kerógeno. De este modo, el material alotóctono representa el más estable residuo de materia orgánica que tiene el ciclo sedimentario.

### **Fósforo Total**

Los resultados obtenidos de fósforo total son mostrados en la Figura 7. Dentro del Golfo de Paria, los valores oscilaron entre 122,07 mg/kg y 156,13 mg/kg con un promedio de 128,24 mg/kg de fósforo total; mientras que en la costa Atlántica Venezolana, variaron entre 180,32 mg/kg y 220,19 mg/kg con un promedio de 133,82 mg/kg. La tendencia en la distribución del contenido de fósforo total, muestra alrededor de la plataforma deltana, nódulos concéntricos con concentraciones elevadas entre 170 mg/kg y 210 mg/kg, los cuales estarían asociados a la deposición de partículas que estarían influenciadas por el choque de las diferentes corrientes que convergen en la zona: Atlántico, Caribe y Guyana.

Otra fuentes de fósforo, pudieran ser los aportes exógenos de los desechos domésticos arrojados a la zona de estudio, por parte de las zonas adyacentes y a la excreción directa de los peces y el zooplancton; junto con la degradación bacteriana y sedimentación de desechos orgánicos, hacen que sean adsorbidos sobre las partículas del sedimento grandes cantidades de fósforo.

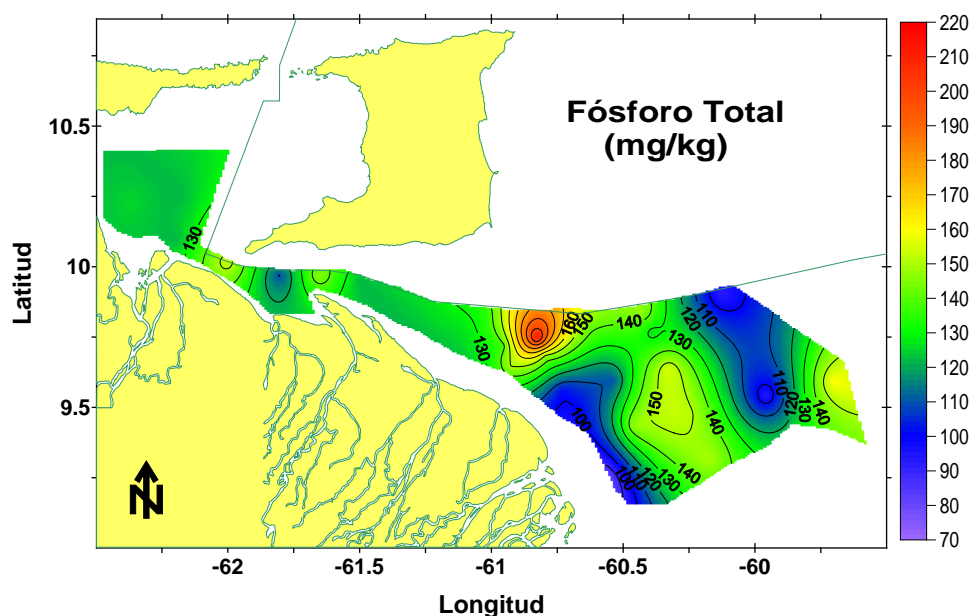


Figura 7. Distribución espacial fósforo total (mg/kg) en los sedimentos del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

Sedex (2000) reportó valores comprendidos entre 26,81 y 88,24 (mg/kg) PT. Señala el autor que los valores están asociados al tipo de sedimento arcilloso, los cuales adsorben cantidades altas de fósforo. Indica también que, estos mecanismos pueden existir incluso bajo condiciones anóxicas. En tal sentido la adsorción y desorción se puede presentar indistintamente en los estados de anaerobiosis y aerobiosis, el primero de ello se refiere a la capacidad que poseen algunos organismos, como hongos, bacterias y parásitos, para vivir sin oxígeno molecular libre; mientras que el estado de aerobiosis se refiere a la descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno. Khoshmanes *et al.* (2002) señalan que las concentraciones de fósforo total determinadas en los sedimentos superficiales del Golfo San Matías en Argentina, oscilaron entre 45,60 mg/kg y 78,95 mg/kg, señalando que dichos valores están asociados a la surgencia, así como a los aportes fluviales y escorrentías límnicas. Golterman (2001) determinó concentraciones de fósforo total en los sedimentos provenientes del Golfo de Ancud (Chile); cuyos valores oscilaron entre 180 mg/kg a 240 mg/kg, el autor indica que estas concentraciones están asociadas a los aportes antropogénicos. Gómez *et al.* (1999) determinaron concentraciones de PT entre 11,57 mg/kg y 78,82 mg/kg) en sedimentos superficiales del Golfo Trinidad (Chile). El autor señala que estos valores son

concordantes con el contenido de materiales orgánicos e inorgánicos exógenos de orígenes naturales o antropogénicos que están adsorbidos sobre las partículas del sedimento. Salazar *et al.* (1986) en la Laguna de Marites, obtuvieron concentraciones de PT entre 35,91 a 65,28 (mg/kg), atribuyendo este resultado a las descargas de aguas domésticas y excretas de aves. Kleeberg y Kohl (1999) determinaron concentraciones de PT en sedimentos del Lago Müggelsee (Alemania) entre 24,03 mg/kg y 89,50 mg/kg, sugiriendo que los aportes son de origen agrícola y urbano. Espinoza (2000) determinó concentraciones de PT que oscilaron entre 16,36 mg/kg y 89,90 mg/kg en sedimentos del Golfo de Cariaco. Estos valores fueron atribuidos a contaminantes químicos que son arrastrados por las escorrentías provenientes de las descargas domésticas, agrícolas e industriales. Fermín (2002) reportó concentraciones de PT en sedimentos de la Laguna de Unare, los cuales varían entre 40 mg/kg y 180 mg/kg. En esa la zona de estudio, se generan aportes de grandes contaminantes en forma líquida provenientes de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, relleno sanitario, y de fugas de fosas sépticas que son arrastrados hacia la Laguna de Unare. López *et al.* (2002) detectaron concentraciones de 70,63 mg/kg a 310,45 mg/kg, en sedimentos de la Laguna de Píritu, valores que están asociados a aportes antrópicos y la alta productividad biológica y que son superiores a los determinados en esta investigación.

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 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 intervienen 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).

Como nutriente es considerado como el factor crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos y forma parte de compuestos vitales como fosfonucleótidos, fosfoaminoazúcares, fosfolípidos y de los complejos energéticos en la célula (ADP, ATP) (De la Lanza, 1994). El fosfato es la principal causa de eutrofización de numerosos cuerpos de aguas. Su presencia en sistemas acuáticos naturales es debida a la actividad humana (Corell, 1998). El contenido de fósforo total en sedimentos puede ser un buen indicador del potencial de eutrofización en cualquier ecosistema (Rydin y Welch, 1998).

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de fósforo: total, detrítico y orgánico presentaron altos contenido de fósforo en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana, apreciándose un gradiente decreciente desde la parte este hacia la zona central y oeste de los sectores del Golfo de Paria, delta del río Orinoco hasta el extremo sur de la costa Atlántica Venezolana en dirección hacia Guyana.

Los resultados obtenidos muestran concentraciones de fósforo total dentro de la costa atlántica venezolana mayores a 210 mg/kg, mientras que, en el Golfo de Paria, se apreciaron valores cercanos a 122,07 mg/kg. El orden decreciente en las concentraciones en las diferentes fracciones fueron: fósforo detrítico < orgánico < adsorbido < autogénico < óxidos asociados.

Los aportes de fósforo en la zona de estudio están relacionados con el material erosionado del Escudo Guayanés, Los Andes y Los Llanos venezolanos y colombianos. Otra fuente posible es el material orgánico e inorgánico, procedente de las industrias, aguas domésticas, pozos sépticos, ganadería y de la agricultura.

Otros aportes en el ecosistema estudiado podrían estar relacionados con la acción de las corrientes Ecuatorial del Atlántico, y de Guyana, la cual transporta sedimentos desde el río Amazonas.

Las excreciones de la fauna béntica, peces y del zooplancton, junto con la degradación bacteriana de materia orgánica, son otros mecanismos de aporte de fósforo en el 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.
- Alongi, D.; Boyle, S.; Tirendi, F. y Payn, C. 1996. Composition and behaviour of trace metals in post-oxic sediments of the Gulf of Papua, Papua New Guinea. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42: 197-211.
- Ammerman, J. 1991. Role of ecto-phosphohydrolases in phosphorus regeneration in estuarine and coastal ecosystems. In: Chro´st, R.J. Ed., *Microbial Enzymes in Aquatic Environments*. 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.
- Arenas, V. y De la Lanza, G. 1990. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas*, 16 (3): 45-62.
- 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. *Mar. Poll. Bull*, 30 (11): 742-744.
- Balls, P.; Hull, S.; Miller, J.; Pirie, M. y Proctor, W. 1997. Trace metals in scottish estuarine and coastal sediment. *Mar. Poll. Bull*, 34 (1): 42-50.
- Bartels, J. 1996. Methods of soil Analysis. Chemical Methods. SSSA, ASA. Madison, Wisconsin, USA. 27 (3): 31-36.
- Cabecbadas, G.; Nogueira, M. y Brogueira, J. 1999. Nutrient dynamics and productivity in three European estuarios. *Mar. Poll. Bull*, 38 (12): 1092-1096.

- Carignan, R. y Vaithyanathan, P. 1999. Phosphorus availability in the Paraná floodplain (Argentina): Influence of pH and phosphate buffering by fluvial sediments. *Limnol. Oceanogr.* 44: 1540-1548.
- Carman, R.; Edlund, G. y Damberg, C. 2000. Distribution of organic and inorganic phosphorus compounds in marine and lacustrine sediments: a  $^{31}\text{P}$  NMR study. *Chemical Geology*, 163: 101-114.
- Casanova, E. 1991. *Introducción a la ciencia del suelo*. UCV. Facultad de Agronomía. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela, 132-146.
- Chang, S. y Jackson, M. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84: 133-144.
- Chapman, P.; Paine, M.; Arthur, A. y Taylor, L. 1996. A triad study of sediment quality associated with a major, relatively untreated marine sewage discharge. *Mar. Pollu. Bull.* 32 (1): 47-64.
- Colonnello, G. 2004. Las planicies deltaicas del río Orinoco y Golfo de Paría: aspectos físicos y vegetación. *Jor. Marine. Res.* 32(10): 162-173.
- Cornwell, J. y Owens, M. 1999. Benthic Phosphorus cycling in Lake Champlain: Results of an integrated field sampling/water quality modeling study. *Mar Pollut. Bull.* 24: 501-522.
- Correll, D. 1998. The Role of Phosphorus in the Eutrophication of Receiving Waters: A review. *Environ Quality*, 27: 261-266.
- Cortés, C. y Vale, C. 1995. Metals in sediment of the Sado Estuary, Portugal. *Mar. Pollu. Bull.* 30 (1): 34-37.
- Cross, A. y Schlesinger, W. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma*, 64: 197-214.
- Dassenakis, M.; Scoullou, M. y Gaitis, A. 1997. Trace metals transport and behaviour in the Mediterranean estuary of Acheloos River. *Mar. Pollu. Bull.* 34(2): 103-111.
- De la Lanza, G. 1994. Materia Orgánica en una Laguna de la Costa de Sinaloa, México (I): Cuantificación total. *Bol. Inst. Oceanography. Paulo*, 29 (2): 217-222.
- De Stefano, C.; Foti, C.; Gianguzza, A. y Piazzese, D. 1998. Equilibrium studies in natural fluids: interactions of  $(\text{PO}_4^{3-})$ ,  $(\text{P}_2\text{O}_7^{4-})$  and  $(\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-})$  with the major constituents of sea water. *Hydrobiologia*, 250: 85-98.

- Delgado, A. y Torrent, J. 2000. Phosphorus forms and desorption patterns in heavily fertilized calcareous and limed soils. *Soil Sci. Soc. Am.J*, 64: 2031-2037.
- Dell' Anno, A.; Mei, M.; Pusceddu, A. y Danavaro, R. 2002. Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Mar Pollut. Bull*, 44: 611-622.
- Duffera, M. y Robarge, P. 1996. Characterization of organic and inorganic phosphorus in the Highland Plateau Soils of Ethiopia. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 279-284.
- Duursma, E. y Dawson, R. 1981. Marine organic chemistry. Evolution, composition and chemistry of organic matter in seawater. *Elsevier Oceanography Series*, Amsterdam, 31. 521.
- Dyers, K. 1979. *Estuarine Hydrography and Sedimentation*. Estuarine and Brackish Water Science Association. Handbook. Cambridge University Press, Cambridge. *Mar. Poll. Bull*, 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
- Fang, T.; Chen, J. y Huh, C. 2007. Sedimentary phosphorus species and sedimentation flux in the East China Sea. *Continental Shelf Research* 27: 1465-1476.
- Fermín, I. 2002. Estudio Geoquímico de los Sedimentos Superficiales de la Laguna de Unare, Edo. Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de postgrado. Departamento de Oceanografía. Universidad de Oriente. Cumaná.
- Fernández, L.; Vazquez, S. y Dalurzo, H. 2002. Formas de fósforo en suelos altamente meteorizados del sur de la provincia de Misiones. *Ciencia del Suelo* 20: 81-87.
- 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.
- Gilbin, R.; Gómez, E. y Picot, B. 2000. Phosphorus and organic matter in wetland sediments: analysis through gel permeation chromatography (GPC). *Environ. Qual*, 15: 205-215.
- Golterman, H. 2001. Phosphate release from anoxic sediment or what did Mortimer really write? *Hidrobiología*, 450: 99-106.

- Gómez, E.; Durillon, C.; Rofés, G. y Picot, B. 1999. Phosphate adsorption and release from sediments of brackish lagoons: pH, O<sub>2</sub> and loading influence, *Water. Res.* 33: 2437-2447.
- Guo, F.; Yost, R.; Hue, N. y Evensen, C. 2000. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 64: 1681-1689.
- Hansen, J.; Cade-Menun, B. y Strawn, D. 2004. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils. *Journal of Environ. Qual.* 33: 1521-1527.
- Helal, H. 1990. Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates. *Plant and Soil*, 123: 161-163.
- Heling, D.; Rothe, P.; Forstner, U. y Stoffers, P. 1990. *Sediment and environmental geochemistry*. Springer-Verlag, New York.
- Hieltes, H. y Lijklema, L. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *Environ. Qual.* 9: 405-407.
- Hupfer, M.; Gachter, R. y Giovanoli, R. 1995. Transformations of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquat. Sci.* 57: 305-324.
- Jensen, H. y Thamdrup, B. 1998. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiology*, 253: 47-59.
- Karageorgis, A.; Sioulas, A. y Anagnostou, C. 2002. Use of surface sediments in pagassitikos gulf, greece, to detect anthropologic influence. *Geo-Mar Lett*, 21: 200-211.
- Karl, D. y Bjorkman, K. 2001. *Phosphorus cycle in seawater: dissolved and particulate pool inventories and selected phosphorus fluxes*. Methods in Microbiology,. Academic Press Inc. San Diego.
- Khoshmanesh, A; Hart, B; Duncan, A. y Beckett, R. 2002. Luxury uptake of phosphorus by sediment bacteria. *Water Res.* 36: 774-778.
- Kleeberg, A. y Kohl, J. 1999. Assessment of the long-term effectiveness of sediment dredging to reduce benthic phosphorus release in shallow Lake Müggelsee (Germany): *Hydrobiologia*, 394: 153-161.
- Koch, M.; Benz, R. y Rudnick, D. 2001. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of Northeastern Florida Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 52: 279-291.
- 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. *Jor. Marine. Res.* 52(1): 156-168.

- Lin, S.; Huang, K. y Chen, S. 2002. Sulfate reduction and iron sulfide mineral formation in the southern East China Sea continental Slope sediment. *Deep Sea Research*, 149: 1837-1852.
- López, F. 2002. Determinación del contenido de nutrientes en los sedimentos superficiales de la Laguna de Pirítu. Edo. Anzoátegui, Venezuela. Trabajo de postgrado. M.Sc. en Ciencias Marinas *Instituto Oceanográfico de Venezuela*. Universidad de Oriente. Cumaná.
- Lopez, P. 2003. *Spatial distribution of sedimentary P pools in a Mediterranean coastal lagoon 'Albufera d'es Grau'. Minorca Island, Spain*. Department of Ecology, University of Barcelona. España. *Thalassas*, 32: 75-88.
- Márquez, A.; Senior, W.; Martínez, G. y González, A. 2007. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la Laguna los Patos, estado Sucre. Venezuela. *Boletín Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 46 (2): 133-141.
- 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, Vermon. *Ecol. Eng.* 18: 477-487.
- Mckelvie, I. 2005. Separation, Preconcentration and Speciation of Organic Phosphorus in Environmental Samples. *Analyst*, 114: 1459-1463.
- Mclennan, S. 2003. Sediment and Soils: chemistry and abundances. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 15 (1): 350-356.
- 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. *Anal. Chim. Acta*, 12: 162-170.
- Paing, J.; Gomez, E. y Picot, B. 1999. Humic substances interactions with sediment phosphorus. *Analisis* 27: 436-438.
- 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.
- Ramirez, C. 1999. Geoquímica de Sedimentos Recolectados en Trampas Ubicadas en Punta Arenas y Golfo de Cariaco, Edo. Sucre, Venezuela. Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente. Cumaná.

- Ramirez, C. y Benitez, N. 2000. The biogeochemical cycling of phosphorus in marine systems. *Earth-Science. Reviews* 51:109-135.
- Rubio, B.; Nombela, M. y Vilas, F. 1995. Geochemistry of majors and trace elements in sediment of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution. *Mar. Poll. Bull.* 40 (11): 968-980.
- Rydin, E. y Welch, E. 1998. Aluminium dose required to inactivate phosphate in lake sediments. *Water Res.* 32: 2969-2976.
- Salazar, J.; Bonilla, J. y Gamboa, B. 1986. Metales Pesados y Materia Orgánica en los Sedimentos Superficiales de la Laguna Las Marites. *Boletín. Instituto Oceanográfico de Venezuela.* Universidad de Oriente. 25 (1-2): 137-154.
- Sande Fouz, P. 2002. Estudio del contenido en fósforo y sólidos en suspensión de aguas superficiales en pequeñas cuencas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de La Coruña.
- Schenau, S. y De Lange, G. 2001. Phosphorus regeneration vs. Burial in sediments of the Arabian Sea. *Marine Chemistry*, 75: 201-217.
- Schneider, P. y Davey, S. 1995. Sediment contaminant off the Coast of Sydney, Australia: A models for their distribution. *Mar. Pollu. Bull.* 31 (4-12): 262-272.
- Sedex, 2000. Sequential extraction and analysis of phosphorus in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 45(2): 509-515.
- Selig, U.; Hübener, T. y Michalik, M. 2002. Dissolved and particulate phosphorus forms in a eutrophic shallow lake. *Aquatic Science*, 64: 97-105.
- 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. *Jor. Marine. Res.* 66(12): 172-188.
- Sharpley, N. y Smith, S. 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 127-130.
- Slomp, C.; Van Der Gaast, S. y Van Raaphorst, W. 2004. Phosphorus binding by poorly crystalline iron oxides in North Sea sediments. *Marine Chemistry* 52: 55-73.
- Slotton, D. y Reuter, J. 1995. Heavy metals in intact and resuspended sediment of a California Reservoir, with emphasis on potential bioavailability of copper and zinc. *Mar. Freshwater. Res.* 46: 257-265.



Staunton, S. y Leprince, F. 1996. Effect of pH and some organic anions on the solubility of soil phosphate: implications for P bioavailability. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 47: 231-239. *Soil Sci. Soc. Am.J.*

Tornblom, E. y Rydin, E., 1998. Bacterial and phosphorus dynamics in profundal Lake Erken sediments following the deposition of diatoms. A laboratory study: *Hidrobiología*, 364: 55-63.

Urioste, M.; Bono, A.; Buschiazzo, E.; Hevia, G. y Hepper, N. 1996. Fracciones de fósforo en suelos agrícolas y pastoriles de la Región Semiárida Pampeana Central (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 14: 92-95.

Valderrama, J. 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Mar. Chem.*, 10: 109-122.

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.

Webster, I.; Ford, P. y Hancock, G. 2001. Phosphorus dynamics in Australian lowland rivers. *Mar. Freshwate. Res.* 52: 127-137.

## APÉNDICE

Tabla A1. Contenido de fósforo en los sedimentos superficiales del Golfo de Paria y la costa Atlántica Venezolana.

<b>Estaciones</b>	<b>F1 (mg/kg)</b>	<b>F2 (mg/kg)</b>	<b>F3 (mg/kg)</b>	<b>F4 (mg/kg)</b>	<b>F5 (mg/kg)</b>	<b>Fósforo Total (mg/kg)</b>
1	1,20	0,53	1,58	64,04	54,41	122,56
2	3,24	0,30	1,81	70,00	47,27	122,38
4	0,75	0,45	1,43	59,03	63,24	125,52
5	1,43	0,75	2,79	61,45	58,82	122,22
6	1,28	0,30	1,88	66,12	52,42	122,38
7	1,66	0,83	2,94	74,99	73,78	154,39
8	0,68	0,90	1,58	55,95	50,00	109,17
10	7,45	0,83	2,41	78,37	56,84	146,23
12	6,40	0,68	3,31	59,17	53,30	122,07
14	3,76	1,05	2,71	60,67	57,88	126,15
17	7,68	0,53	2,18	65,21	60,17	134,75
18	2,63	0,75	2,11	67,83	63,69	136,59
19	1,43	0,53	2,11	77,04	70,26	150,99
23	3,61	0,45	3,76	142,81	60,68	220,19
24	4,14	0,75	5,05	64,16	70,86	145,24
25	1,05	0,68	1,51	61,23	38,71	101,77
27	0,68	0,60	1,28	54,09	17,38	73,83
28	9,71	0,45	1,43	67,83	63,69	143,89
30	7,75	1,05	1,51	54,42	46,51	110,26
31	7,61	0,60	1,20	62,13	76,36	147,74
32	7,15	1,58	2,26	61,91	54,90	127,68
33	6,02	0,83	5,50	72,52	62,66	147,31
34	6,70	0,53	2,18	70,19	48,58	127,39
35	8,96	0,23	1,20	82,66	63,69	156,13
36	7,15	0,15	1,73	80,16	62,09	151,75
37	9,34	1,43	1,36	78,17	59,50	149,50
43	1,81	0,90	1,88	24,24	64,15	92,26
46	4,36	0,68	9,63	30,02	48,76	93,68
51	16,79	0,53	5,65	82,67	54,82	159,81
52	5,79	0,15	8,20	74,16	56,94	180,32
Máx	16,79	1,58	9,63	142,81	76,36	220,19
Min	0,68	0,15	1,20	24,24	17,38	73,83
Prom	4,94	0,67	2,81	67,44	57,08	134,14
DS	3,71	0,33	2,06	19,36	11,28	25,88

Prom = promedio  
Máx = máximo

Min = mínimo  
DS = Desviación estándar

## ANEXOS

Tabla B1. Contenido de fósforo adsorbido (%) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

Investigadores	Área	Fósforo adsorbido (F1)
Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	0,10 y 6,30
Mckelvie (2005)	Gran Arrecife Barrera (Costa noreste de Australia)	2,50 y 8,60
Karageorgis <i>et al.</i> (2002)	Golfo de Pagassitikos (Grecia)	6,30 y 39,50
Ramírez (1999)	Golfo de Cariaco (Edo. Sucre)	13,08
Ramírez (1999)	Punta Arena (Araya. Edo. Sucre)	12,11

Tabla B2. Contenido de fósforo asociado a óxidos (%) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

Investigadores	Área	Fósforo asociado a óxidos (F2)
Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	1,31 y 5,62
Hieltes y Lijklema (1980)	Cuenca de Gotland Oriental	0,05 y 0,15
Paing y Picot (1999)	Río Grande de Manatí. Barcelona (Puerto Rico)	4,80 y 9,25
Cross y Schlesinger (1995)	Golfo de Carpentaria (Australia)	12,55 y 32,63

Tabla B3. Contenido de fósforo autogénico (%) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

<b>Investigadores</b>	<b>Área</b>	<b>Fósforo autogénico (F3)</b>
Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	0,24 y 5,20
Carignan y Vaithyanathan (1999)	Río Paraná (Argentina).	0,62 y 7,88
Jensen y Thamdrup (1998)	Golfo Corcovado (Chile)	36,21 y 70,61

Tabla B4. Contenido de fósforo detrítico (%) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

<b>Investigadores</b>	<b>Área</b>	<b>Fósforo detrítico (F4)</b>
Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	19,83 y 58,54
López (2003)	Isla Minorca. (España-Barcelona)	28,23 y 79,90
Cabecbadas <i>et al.</i> (1999)	Golfo de Corinto (Grecia)	<40,00

Tabla B5 Contenido de fósforo orgánico (%) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

<b>Investigadores</b>	<b>Área</b>	<b>Fósforo orgánico (F5)</b>
Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	11,23 y 38,45
Astudillo y Bellorín (2006)	Laguna Buena Vista (Cariaco.Edo Sucre)	7,01 y 15,80
Fuentes <i>et al.</i> (1997)	Laguna de Chacopata	1,52 y 7,47
Aranda (1999)	Ensenada Grande del Obispo,	1,08 y 9,78
Mudarra (2000)	Ensenada de Puerto Escondido	4,06 y 12,85

Tabla B6. Contenido de fósforo total (mg/kg) en sedimentos superficiales en ecosistema del mundo.

<b>Investigadores</b>	<b>Área</b>	<b>Fósforo total</b>
-----------------------	-------------	----------------------

---

Sedex (2000)	Pacífico del este (California)	26,81 y 88,24
Khoshmanes <i>et al.</i> (2002)	Golfo San Matías (Argentina)	45,60 y 78,95
Golterman (2001)	Golfo de Ancud (Chile)	180 y 240
Gómez <i>et al.</i> (1999)	Golfo Trinidad (Chile)	11,57 y 78,82
Salazar <i>et al.</i> (1986)	Laguna de Marites	35,91 y 65,28
Kleeberg y Kohl (1999)	Lago Müggelsee (Alemania)	24,03 y 89,50
Espinoza (2000)	Golfo de Cariaco	16,36 y 89,90
Fermín (2002)	Laguna de Unare	40 y 180
López <i>et al.</i> (2002)	Laguna de Píritu	70,63 y 310,45

---

# Hoja de Metadatos

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

<b>Título</b>	Niveles séricos de homocisteína como un factor de riesgo cardiovascular en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 asistidos en el servicio autónomo Hospital Universitario "Antonio Patricio de Alcalá"
<b>Subtítulo</b>	

### Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Daza Coronado, Mónica Alejandra	CVLAC	15.288.852
	e-mail	monicadaza27@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

### Palabras o frases claves:

Homocisteína
Diabetes Mellitus Tipo 2

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencia	Bioanálisis

### Resumen (abstract):

La Homocisteína (Hcy) es un aminoácido azufrado considerado como un factor de riesgo cardiovascular. En la presente investigación se planteó evaluar los niveles séricos de Hcy como un factor de riesgo cardiovascular en pacientes diabéticos tipo 2 que asisten a la Consulta de Endocrinología del Servicio Autónomo Hospital Universitario “Antonio Patricio de Alcalá” en Cumaná, estado Sucre. A cada paciente se le determinó Hcy sérica, glicemia en ayuna, hemoglobina glicada (HbA<sub>1c</sub>) y presión arterial por los métodos de inmunoensayo competitivo, glucosa oxidasa, cromatografía de intercambio catiónico de baja presión y auscultación de los sonidos de korotkoff, respectivamente. La muestra estudiada estuvo constituida por 40 individuos, de los cuales 25 presentaban diagnóstico de diabetes mellitus tipo 2 como patología base, de ambos sexos, escogidos al azar, con edades comprendidas entre 36-80 años, sin hábitos tabáquicos; y 15 aparentemente sanos, los cuales conformaban el grupo control. Al comparar los promedios de las variables evaluadas entre los pacientes diabéticos y los controles, se obtuvieron diferencias altamente significativas para la Hcy ( $9,128 \pm 2,50$  vs  $6,08 \pm 0,65$   $p < 0,05$ ), glicemia en ayunas ( $193,20 \pm 100,63$  vs  $76,00 \pm 10,31$ ;  $p < 0,05$ ) y hemoglobina glicada ( $9,352 \pm 2,40$  vs  $4,953 \pm 0,606$ ;  $p < 0,05$ ); en cambio para la presión arterial sistólica ( $136,40 \pm 16,04$  vs  $127,33 \pm 10,32$ ;  $p > 0,05$ ) y diastólica ( $78,40 \pm 11,43$  vs  $76,00 \pm 7,36$ ;  $p > 0,05$ , respectivamente) no se hallaron diferencias significativas. Los valores de Hcy para ambos grupos de estudio resultaron dentro del rango referencial; sin embargo hubo diferencias altamente significativas. De la misma manera, no se encontró correlación lineal estadísticamente significativa entre la Hcy y la glicemia en ayunas, hemoglobina glicada, presión arterial sistólica y diastólica. En la presente investigación, la Hcy no representó un factor de riesgo cardiovascular en pacientes con diabetes mellitus tipo 2.



# Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

## Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
De Freitas, Henry	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> X
	CVLAC	3.660.003
	e-mail	
	e-mail	
Lcda. Mujica, Luz	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> X
	CVLAC	10.879.484
	e-mail	
	e-mail	
Dra. Mercy Cesín	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> X
	CVLAC	4.713.932
	e-mail	
	e-mail	
Prof. Sonia Nusetti	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> X
	CVLAC	11.380.086
	e-mail	
	e-mail	

## Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2008	07	25

Lenguaje: Español

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

### Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis_.leomarys.doc	Application/word

### Alcance:

**Espacial :** Universal (Opcional)

**Temporal:** Intemporal (Opcional)

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Bioanálisis

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Licenciatura

### Área de Estudio:

Bioanálisis

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


Universidad de Oriente

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

### Derechos:

Yo Monica Daza Autorizo la publicación del resumen del trabajo de grado titulado:  
Niveles séricos de homocisteína como un factor de riesgo cardiovascular en pacientes con  
Diabetes mellitus tipo 2 asistidos en el servicio autónomo Hospital Universitario Antonio  
Patricio de Alcalá.

  
\_\_\_\_\_  
**Monica Daza**  
**AUTOR**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Henry De Freitas**  
**TUTOR**

  
\_\_\_\_\_  
**Lda. Luz Mujica**  
**COASESORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Mercy Cesin**  
**JURADO 1**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Sonia Nusetti**  
**JURADO 2**

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS:**  
  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Elsa Salazar**

