

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA



**ESTUDIO GEOQUÍMICO DE LOS ELEMENTOS C, N Y S EN LOS SEDIMENTOS DE
FONDO PROVENIENTES DEL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE TACARIGUA,
EDO. MIRANDA**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la **Br. Martha C. Brun
Saldaña** para optar al Título de
Licenciada en Química.

Caracas, Octubre de 2013

ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del Jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: "**ESTUDIO GEOQUÍMICO DE LOS ELEMENTOS C, N Y S EN LOS SEDIMENTOS DE FONDO PROVENIENTES DEL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE TACARIGUA, EDO. MIRANDA**" presentado por la Br. Martha C. Brun S., certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciado en Química.

Prof. Ramón Montero

Tutor

Prof. Williams Meléndez

Tutor

Prof. Santiago Marrero

Jurado

Prof. Raiza Fernández

Jurado

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fuente de vida, a mis padres Willian y Martha y hermanos Willian y Hernan por su amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida y llenarme de fuerzas día a día para poder culminar cada etapa, gracias por cumplir los deseos de mi corazón.

Muchas gracias a mis padres, Willian y Martha por instruirme de la mejor manera, con valores que marcan la diferencia y que me motivan a ser mejor persona cada día, por su apoyo y confianza que me permiten seguir sin importar las circunstancias. A mis hermanos Willian y Hernan, por cuidarme y creer en mí. A mi familia, Brun Saldaña I y II por amarme por encima de todo, infinitas GRACIAS!

Agradezco a la Universidad Central de Venezuela y a la Facultad de Ciencias por permitirme formarme no sólo en la parte académica sino como persona. A la escuela de Química y al Instituto de Ciencias de la Tierra por darme la oportunidad de llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis tutores, profesor Williams Meléndez y profesor Ramón Montero por el gran apoyo que me dieron, por la paciencia y la ayuda durante todo el desarrollo de este trabajo; por la enseñanza otorgada, no sólo en cuanto a la parte científica sino en cuanto a la calidad de persona y más allá, la calidad de docentes, les tengo respeto y admiración.

De igual manera agradezco a mis jurados, profesora Raiza Fernández y profesor Santiago Marrero por la ayuda y atención prestada, por ser profesores con una alta calidad humana. Al profesor Manuel Martínez y Carlos Barrios por su tiempo y buena disposición. Al Profesor Delfín Moronta por sus consejos y enseñanza en todo momento.

Agradezco la importante y valiosa ayuda de las personas que laboran en el Instituto de Ciencias de la Tierra, que dedicaron parte de su tiempo en enseñarme y colaborar con el desarrollo de la parte experimental de éste trabajo de grado, al Sr. Fernando Ramos, Franco Palmiotto, Ángel Rivas, Luis Vilchez, Fernanda Oduber. Del mismo modo, agradezco a la Sra. Marisol y a la Sra. Iris, por su amabilidad y sonrisa.

Finalmente, estoy sumamente agradecida con amigos, con quienes compartí grandes experiencias de vida, quienes me ayudaron y animaron en muchos momentos a lo largo de este gran recorrido. Mirna, Jessica, Darwin, Maidet, Jóneth, Alejandra, Yamelis, Betzabet, David (Chapy), Williams, Sandra, Johan, Daniel, Eliana, Luisa, Javier, Bereck, David (Rondón), Norton, John.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS!

RESUMEN

Con el objetivo principal de estudiar desde el punto de vista geoquímico los elementos C, N y S en la fracción limo-arcilla (lodo), en los sedimentos de fondo provenientes del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, fueron tomadas 41 muestras en las lagunas internas y en sus principales afluentes de este material particulado, en tres periodos correspondientes a marzo de 2010, marzo de 2011 y agosto de 2011. Las muestras de sedimentos fueron tamizadas en húmedo con el propósito de separar la fracción limo-arcilla ($<63\mu\text{m}$) para su posterior análisis. El carbono total (CT) fue determinado en un equipo analizador marca LECO modelo C-144, cuyo fundamento se basa en la técnica de combustión seca; al igual que el carbono orgánico (CO) previo ataque con HCl 1M. Por su parte, el carbono inorgánico (CI) se determinó por diferencia entre el carbono total y orgánico. Asimismo, la concentración de azufre total (ST) fue conocida a través de un analizador de S marca SC-432, basado en el método de la combustión seca; mientras que, la concentración de nitrógeno total (NT) fue determinada por el método de Kjeldahl, modificado por Jackson (1976), el cual está basado en la conversión del nitrógeno a sulfato de amonio.

Los resultados obtenidos indican que los valores de concentración de CT para la fracción limo-arcilla del sedimento de fondo de la Laguna de Tacarigua, oscilaron entre 1,37% y 10,23% para marzo de 2010; entre 1,26% y 11,08%, para marzo de 2011; y para agosto de 2011, osciló entre 1,09% y 9,37%. En cuanto a CO sus valores oscilaron entre 1,26% y 8,88% para el periodo marzo de 2010; de 1,10% y 9,75% para marzo de 2011; y 0,88% y 8,53% para agosto de 2011. En lo que respecta al CI en marzo de 2010 los valores de concentración oscilaron entre 0,11% y 1,34%; para marzo de 2011 fue de 0,05% y 2,31%; y para agosto de 2011 las concentraciones oscilaron entre 0,09% y 1,99%. Por otra parte, las concentraciones de NT oscilaron entre 0,19% y 0,81% para marzo de 2010; 0,15% y 0,73% para marzo de 2011; y 0,12% y 0,67% para agosto de 2011. Finalmente, los porcentajes de ST variaron entre 0,58% y 6,37%, para

el periodo marzo de 2010; 0,94% y 15,54% para marzo de 2011; y 0,13% y 12,13% para el mes de agosto de 2011. De manera general la distribución espacial de estas especies muestra que las mayores concentraciones fueron detectadas en la zona oriental de la laguna, donde se considera hay poca intervención desde el punto de vista antrópico y además caracterizada por la presencia de bosques de manglar; mientras que, la zona occidental se caracterizó por presentar concentraciones bajas de CT, CO, CI y NT, lo cual no es determinante para señalar sobre ausencia de aporte antrópico sino que probablemente sea debido a que desde el punto de vista hidrodinámico, en esta zona existe una mayor energía que permite un aumento del oxígeno disuelto y con ello no ocurra la conservación de la MO. Asimismo, la relación C/N mostró un valor promedio de 9,61; con un máximo de 17,57 en el periodo correspondiente al mes de lluvia, es decir agosto de 2011. Esta relación permitió establecer el origen de la materia orgánica, el cual de acuerdo con los resultados obtenidos se le atribuye a la presencia de fitoplancton, en gran medida algas, que se caracterizan por ser los productores primarios más importantes, y materia orgánica de plantas superiores.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS | |
| 2.1. Objetivo General..... | 3 |
| 2.2. Objetivos Específicos..... | 3 |
| 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | |
| 3.1. Lagunas..... | 4 |
| 3.1.2. Lagunas costeras..... | 4 |
| 3.2. Meteorización..... | 5 |
| 3.2.1. Tipos de meteorización..... | 5 |
| 3.3. Sedimentos..... | 7 |
| 3.3.1. Clasificación de los sedimentos..... | 8 |
| 3.3.2. Ambientes sedimentarios..... | 9 |
| 3.3.2.1. Tipos de ambientes sedimentarios..... | 10 |
| 3.4. Materia orgánica..... | 11 |
| 3.5. Ciclos biogeoquímicos..... | 12 |
| 3.5.1. Carbono..... | 13 |
| 3.5.1.1. Ciclo del carbono..... | 13 |
| 3.5.2. Nitrógeno..... | 15 |
| 3.5.2.1. Ciclo del nitrógeno..... | 16 |
| 3.5.2.2. Relación C/N..... | 18 |
| 3.5.3. Azufre..... | 18 |
| 3.5.3.1. Ciclo del azufre..... | 19 |
| 3.6. Antecedentes..... | 20 |
| 3.6.1. Nacionales..... | 20 |

| | |
|---|----|
| 3.6.2. Internacionales..... | 27 |
| 3.7. Zona de estudio | |
| 3.7.1. Ubicación y superficie..... | 30 |
| 3.7.2. Clima..... | 33 |
| 3.7.3. Biodiversidad..... | 33 |
| 3.7.4. Socioeconomía e impacto antrópico..... | 34 |
| 4. METODOLOGÍA | |
| 4.1. Etapa de pre-campo..... | 36 |
| 4.2. Etapa de campo..... | 36 |
| 4.3. Etapa de laboratorio..... | 40 |
| 4.3.1. Carbono total (CT)..... | 40 |
| 4.3.2. Carbono orgánico (CO)..... | 40 |
| 4.3.3. Carbono inorgánico (CI)..... | 41 |
| 4.3.4. Nitrógeno total (NT)..... | 41 |
| 4.3.5. Azufre total (ST)..... | 43 |
| 4.3.6. Precisión de los análisis..... | 43 |
| 5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | |
| 5.1. Precisión de análisis..... | 44 |
| 5.2. Carbono orgánico (CO)..... | 44 |
| 5.3. Carbono inorgánico (CI)..... | 48 |
| 5.4. Carbono total (CT)..... | 51 |
| 5.5. Nitrógeno total (NT)..... | 55 |
| 5.6. Azufre total (ST)..... | 60 |
| 5.7. Relación C/N..... | 62 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 66 |
| 7. RECOMENDACIONES..... | 68 |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 69 |
| 9. APÉNDICE..... | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | Pág. |
|------------|---|------|
| Figura 1. | Ciclo del carbono..... | 15 |
| Figura 2. | Ciclo del nitrógeno..... | 17 |
| Figura 3. | Ciclo del azufre..... | 20 |
| Figura 4. | Ubicación del Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNLT)..... | 32 |
| Figura 5. | Ubicación de las cinco lagunas internas de la Laguna de Tacarigua..... | 32 |
| Figura 6. | Puntos de muestreo en lagunas internas del PNLT..... | 37 |
| Figura 7. | Distribución espacial de las concentraciones de CO en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 45 |
| Figura 8. | Distribución espacial de las concentraciones de Cl en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 49 |
| Figura 9. | Distribución espacial de las concentraciones de CT en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 52 |
| Figura 10. | Correlación entre la concentración de CT y CO en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 53 |
| Figura 11. | Distribución espacial de las concentraciones de NT en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 56 |
| Figura 12. | Correlación entre la concentración de CO y NT en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 58 |
| Figura 13. | Distribución espacial de las concentraciones de ST en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 61 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 14. | Distribución espacial de la relación C/N en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 63 |
| Figura 15. | Correlación entre la concentración de CO y la relación C/N en las muestras de sedimentos del PNLT..... | 65 |
| Figura 16. | Curva de calibración con los patrones de concentración de 1,26%, 2,77% y 8,92% de CT..... | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Subdivisión de los sedimentos detríticos en base al tamaño..... | 9 |
| Tabla 2. Relación C/N y el posible origen de la materia orgánica..... | 18 |
| Tabla 3. Puntos de muestreo y coordenadas correspondientes al periodo marzo de 2011..... | 38 |
| Tabla 4. Puntos de muestreo y coordenadas correspondientes al periodo agosto de 2011..... | 39 |
| Tabla 5. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de marzo de 2010... | 74 |
| Tabla 6. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de marzo de 2011... | 75 |
| Tabla 7. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de agosto de 2011.. | 76 |
| Tabla 8. Concentración de los patrones certificados en la determinación de CT, CO y NT..... | 77 |
| Tabla 9. Relación C/N para las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente a los tres periodos de muestreo..... | 78 |
| Tabla 10. Precisión de las técnicas analíticas empleadas en cada elemento | 78 |

1.- INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras constituyen un conjunto de ambientes naturales geográficamente desarrollados en la interfase continente-océano. Estos se caracterizan por poseer una gran biodiversidad, por lo que son muchas las riquezas naturales que proporcionan sus ecosistemas. Su importancia radica en que es un hábitat natural de especies bióticas que incluyen tanto plantas como animales marinos; además, sirven de refugios para muchas especies de aves acuáticas. Por otro lado, sirven para la recreación, turismo y deporte; asimismo protegen las costas de inundaciones al retener grandes cantidades de agua ^[1]. Evidentemente éstas características han conllevado al aceleramiento en el crecimiento demográfico de los asentamientos humanos situados en éstas zonas.

En Venezuela, gran parte de las áreas litorales – estuarinas están constituidas por lagunas costeras y ciénagas, las cuales desde el punto de vista físico – ambiental son ecosistemas dinámicos ^[2]. Entre estas se encuentran: Laguna de Patanemo, en el Estado Carabobo; Laguna de Tacarigua, en el Estado Miranda; Laguna de Unare y Laguna de Píritu, en el Estado Anzoátegui, entre otras ^[3]. De especial interés en este trabajo, es la Laguna de Tacarigua, ubicada en el Estado Miranda, al centro norte de Venezuela, dominada por bosques de manglar y bosques secos; donde están presentes una variedad de peces de importancia comercial, así como una alta biodiversidad de aves y especies marinas de gran importancia en la vida de las poblaciones cercanas, por ser ésta Laguna fuente de agua y seguridad alimentaria ^[4].

Sin embargo, como consecuencia de éste aumento poblacional tanto a nivel mundial como local, en las últimas décadas se ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos, así como las amenazas que se ciernen a causa del cambio climático, donde estos ecosistemas costeros no escapan a éste problema. Aunado a ello, en años recientes a nivel mundial, muchos cuerpos de agua costeros han comenzado a ser receptores de un importante volumen de nutrientes generados y aportados a través de las actividades humanas, ocasionando la eutrofización de éstos cuerpos de aguas e

incrementando la presencia de materia orgánica hacia el ecosistema, y con ello, la disminución del oxígeno disuelto en el agua ^[5].

En el caso particular del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, está actualmente amenazada por varios factores, entre ellos se pueden mencionar: la acelerada erosión de la cuenca, que motivado al desarrollo de centros urbanísticos y rurales, conlleva al proceso de sedimentación de la laguna, así como la contaminación derivada por la depositación de desechos sólidos. Estos problemas sumados a los ocasionados por desastres naturales, como el acaecido en diciembre de 1999 el cual provocó el movimiento de un importante volumen de sedimentos en la Cordillera de la Costa, producto de las precipitaciones atmosféricas, ha traído como consecuencia directa, la pérdida de la calidad fisicoquímica y microbiológica del cuerpo de agua superficial, lo que ha producido el aumento en el deterioro de la biota del ecosistema y la disminución de la profundidad de la Laguna de Tacarigua ^[4,6].

La Laguna de Tacarigua ha sido evaluada desde el punto de vista de la calidad de sus aguas (Díaz, 2011) ^[7] y más recientemente se han realizado estudios dirigidos a la determinación de la concentración de metales pesados asociados a los sedimentos de fondo (González, 2012) ^[8]. Sin embargo, pese a que la Laguna ha sido evaluada desde el punto de vista biótico, existe una carencia de información en lo que concierne a la parte abiótica, asociada a la materia orgánica; dicha materia interviene en el suministro de elementos nutritivos, en particular la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos; lo que justifica la necesidad de estudiar geoquímicamente los elementos carbono, nitrógeno y azufre, los cuales están fuertemente vinculados a la materia orgánica presente en los sedimentos de fondo de esta laguna, siendo esto el objetivo principal de ésta investigación ^[9].

2.- OBJETIVOS

2.1.- Objetivo general:

Estudiar desde el punto de vista químico los elementos carbono, nitrógeno y azufre en la fracción limo-arcilla (lodo), en los sedimentos de fondo provenientes del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, Estado Miranda.

2.2.- Objetivos específicos:

- Determinar la distribución espacial y temporal de la concentración de los elementos carbono, nitrógeno y azufre en la fracción lodo de los sedimentos de fondo provenientes de las lagunas internas El Guapo, El Placer, Laguna Grande, El Cazote, Laguna Arena y el sector La Boca del Parque Nacional Laguna de Tacarigua.
- Identificar la probable fuente de los elementos carbono, nitrógeno y azufre en las lagunas internas del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, de acuerdo a los diversos factores que controlan la presencia de estas especies en los sedimentos de fondo de la laguna.

3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la siguiente sección son desarrollados algunos aspectos y términos teóricos conceptuales relacionados con los sistemas lagunares costeros, los procesos de meteorización y tipos; así como los productos generados. También se hace una reseña sobre los ambientes sedimentarios y su importancia; asimismo, se describe el papel que juega la materia orgánica en cuanto a la presencia de los elementos C, N y S. Finalmente son discutidos algunos trabajos realizados tanto a nivel nacional como internacional. El conocimiento de dichos conceptos y procesos permitirá la comprensión y análisis de los resultados que se obtendrán al llevar a cabo el estudio.

3.1. Lagunas

Las lagunas son cuerpos de agua que se caracterizan por tener una profundidad media menor a los 8 metros y por ser de forma cóncava. Esta profundidad tiende a provocar una turbiedad que origina una menor transparencia del agua, la cual frecuentemente resulta de color pardo por la presencia de materia orgánica, por el crecimiento de algas y por la presencia de sólidos suspendidos ^[10].

Las lagunas presentan características particulares debido a la influencia de su entorno. A continuación se definirá las lagunas costeras, ambiente en el cual se desarrolla dicha investigación.

3.1.2. Lagunas costeras

Las lagunas costeras son cuerpos de agua que tienen una conexión permanente o efímera con el mar. Estas lagunas se encuentran separadas del océano por una isla de barrera y generalmente son muy superficiales, alcanzando sólo unos pocos metros de profundidad ^[11].

Las lagunas costeras reciben y acumulan sedimentos principalmente en el intervalo de los limos y arcillas, los cuales son transportados por el mar, los ríos y en menor proporción por las aguas subterráneas. Eventualmente hacia las lagunas penetra algo de arena fina acarreada por el viento desde las dunas desarrolladas en las islas de barrera y desde la línea de costa ^[12].

Uno de los procesos que origina los sedimentos posteriormente depositados en las lagunas costeras, es la meteorización de las rocas presentes en la cuenca respectiva. Debido a que los objetivos de esta investigación están vinculados al estudio de elementos que pueden estar presentes en los sedimentos, se hace importante explicar el proceso que los genera.

3.2. Meteorización

La meteorización es el proceso de alteración que sufre una roca, al exponerse a agentes atmosféricos tales como agua, viento, presión y temperatura en o cerca de la superficie de la Tierra. Dicha alteración de la roca se debe a cambios fisicoquímicos en el ambiente, los cuales son diferentes a los que prevalecían durante su formación. La meteorización se produce cuando la roca es químicamente alterada o físicamente disgregada, o ambas ^[12,13].

Existen diversos modos de meteorización, entre ellos están los físicos, químicos y biológicos, los cuales en general actúan en conjunto, sólo que dependiendo de las condiciones locales uno de ellos prevalecerá.

3.2.1. Tipos de meteorización ^[13,14]

Meteorización física: es la alteración de la roca por efectos netamente mecánicos. Cuando la roca experimenta meteorización física, se rompe en fragmentos más pequeños, incrementando el área superficial disponible para la meteorización química.

En la naturaleza hay cuatro procesos físicos importantes que inducen la fragmentación de la roca: I) La gelifracción, que se refiere a la alteración de la roca por procesos de congelamiento y descongelamiento del agua; II) la descompresión, ocurre al disminuir la presión cuando la roca es levantada por tectonismo y es erosionada; III) la expansión térmica, se lleva a cabo donde hay variaciones grandes de temperatura, dando lugar a procesos de dilatación y contracción; y III) la abrasión, considerado como el roce que se produce en el material por factores como el viento o el agua.

Meteorización química: es la alteración de los minerales que componen las rocas debido a la acción de agentes como el agua que conlleva a cambios químicos y mineralógicos en la roca original. Dichos procesos convierten los constituyentes en minerales nuevos o los liberan al ambiente circundante.

Los principales procesos de meteorización química son la disolución, la hidratación, la oxidación y la hidrólisis, entre otros.

Como ejemplos de esta meteorización se encuentran:

La disolución de la halita (sal común):



La oxidación de minerales ricos en hierro:



La hidrólisis del feldespato potásico, componente del granito, que conlleva a la formación de un mineral de arcilla como caolinita y de especies en solución:



Meteorización biológica: es la alteración de la roca por la intervención de agentes biológicos, entre ellos las plantas, los animales y los seres humanos. En relación a las plantas, sus raíces vegetales crecen entre las fracturas de las rocas en busca de nutrientes y agua, y consecuentemente conforme crecen, resquebrajan la roca. En

cuanto a los animales, desplazan el material fresco hacia la superficie, descomponen la materia orgánica y generan medios ácidos, potenciando de esta manera la actuación de los procesos físicos y químicos de manera más efectiva. Finalmente, el efecto de los humanos es principalmente verificado a través de las actividades agrícolas, la construcción de carreteras, combustión de petróleo en las zonas industriales, entre otras.

Los procesos de meteorización ocurren in situ, es decir, sin que la roca sea transportada del lugar en que se encuentra. En ese sentido, puede señalarse que los productos de la meteorización pueden dividirse en tres grupos: I) Las sales disueltas en los ríos, lagos y aguas subterráneas; II) los minerales arcillosos, que son silicatos laminares parecidos a las micas; y III) los residuos inalterados, compuestos fundamentalmente por granos de cuarzo ^[14].

Es importante diferenciar la meteorización de la erosión, es así como se puede señalar que la meteorización se refiere a la alteración y disgregación in situ de las rocas; mientras que la erosión es el proceso de eliminación, disolución y arrastre de suelos, sedimentos y rocas alteradas sobre la superficie de la Tierra ^[13].

Una vez que se lleva a cabo el proceso de alteración de las rocas, agentes erosivos como las aguas de escorrentía, el viento, las olas y el hielo extraen los productos de meteorización y los transportan a una nueva localización, donde son depositados ^[13]. Seguidamente se profundizará respecto a dicho material depositado denominado sedimento.

3.3. Sedimentos

Los sedimentos son los materiales sólidos producto del proceso de meteorización física y química que actúan sobre las rocas en o cerca de la superficie terrestre. Estos materiales son transportados por agentes erosivos y depositados en los lagos, lagunas,

ríos y mares, entre otros. Típicamente, los sedimentos constan de una mezcla de minerales de tamaños variados, mezclados con materia orgánica ^[13].

Los sedimentos actúan como depósito de una variedad de restos biológicos, químicos y contaminantes presentes en las masas de agua; dichos contaminantes tienden a acumularse en los sedimentos a través de procesos de adsorción, inhibiendo así la disponibilidad de la sustancia contaminante ^[15]. Atendiendo al origen del sedimento, éste puede ser clasificado como detrítico, químico o bioquímico.

3.3.1. Clasificación de los sedimentos

Los sedimentos se clasifican según su origen, destacándose principalmente dos:

Sedimentos detríticos: son los materiales particulados generados por la meteorización física y química de rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias, que es transportado en forma de clastos sólidos ^[13].

El principal criterio para subdividir los sedimentos detríticos es de acuerdo al tamaño del clasto, tal como se muestra en la tabla 1. El tamaño permite analizar, en términos generales, la intensidad de la corriente o flujo que ha transportado los sedimentos, la distancia aproximada recorrida y el tipo de ambiente sedimentario con capacidad para transportar y depositar los sedimentos de acuerdo a su tamaño ^[12].

Es importante tener en cuenta que desde el punto de vista sedimentológico, las arcillas son materiales de diámetro menor de 0.0039 mm, mientras que desde el punto de vista mineralógico, la arcilla puede estar compuesta por pequeños granos de cuarzo, caolinita y otros minerales. Además, en mineralogía las arcillas corresponden a un grupo de minerales llamado filosilicatos o silicatos laminares ^[11].

Tabla 1. Subdivisión de los sedimentos detríticos en base al tamaño ^[12].

| Tamaño de Partículas (mm) | Nombre |
|--------------------------------------|------------------|
| 256-2,00 | Gravas |
| 2,00- 1,00 | Arena muy gruesa |
| 1,00- 0,50 | Arena Gruesa |
| 0,50- 0,25 | Arena Media |
| 0,25- 0,125 | Arena Fina |
| 0,125- 0,0625 | Arena muy Fina |
| 0,0625- 0,0039 | Limo |
| 0,0039- 0,00006 | Arcilla |

Sedimentos químicos: son aquellos sedimentos que provienen en gran medida de la meteorización química, los cuales derivan del material que es transportado en solución a lagos, lagunas y mares, entre otros. Esta precipitación del material se produce de dos maneras, mediante procesos orgánicos, relacionados con organismos acuáticos cuyo origen se dice que es bioquímico, o mediante procesos inorgánicos como la evaporación y la actividad química ^[13].

La naturaleza de los sedimentos acumulados esta determinada por la situación geográfica y las condiciones ambientales, lo cual conlleva a la existencia de diversos ambientes donde se depositan estos materiales ^[12].

3.3.2. Ambientes sedimentarios

Los ambientes sedimentarios se pueden considerar como unidades de depósitos de sedimentos enmarcados en un área geográfica definida. Cada lugar se caracteriza por una combinación particular de procesos geológicos y condiciones ambientales ^[12,13].

Los ambientes sedimentarios suelen dividirse en tres categorías: continental, marina o de transición (línea de costa). Cada uno consiste en un área donde el sedimento se acumula y donde los organismos viven y mueren ^[13].

3.3.2.1. Tipos de ambientes sedimentarios

Los tipos de ambientes sedimentarios se clasifican en continentales, marinos y de transición.

Ambientes continentales: son aquellos ambientes que están dominados por la erosión y la deposición asociada a corrientes, donde se evidencia la fuerte influencia del clima en la naturaleza de los sedimentos depositados en estos ambientes. Como ejemplo de ambiente continental se encuentra el fluvial, el paludal, el eólico, el lacustre y glaciar ^[13].

Ambientes marinos: éstos ambientes están relacionados con los sedimentos depositados en el mar y se dividen en función de su profundidad. De este modo, el ambiente marino somero alcanza profundidades de unos 200 metros, extendiéndose desde la orilla hasta la superficie externa de la plataforma continental; mientras que el ambiente marino profundo se encuentra mar adentro, a profundidades superiores a los 200 metros más allá de la plataforma continental. El tipo de sedimentos depositados en estos ambientes depende de factores como la distancia de la orilla, la elevación de la zona de tierra adyacente, la profundidad del agua, la temperatura del agua y el clima ^[13].

Ambientes de transición: son ambientes situados en la zona límite continente-mar, donde los sedimentos se acumulan tanto por aporte de origen continental como marino. Las playas, las lagunas, los estuarios y los deltas son un ejemplo de ambientes de transición ^[13].

Es bueno destacar que las lagunas costeras por tener una conexión permanente o efímera con el mar, se caracterizan por pertenecer al ambiente de transición, cuya

característica resaltante es que sus sedimentos acumulan gran parte de materia orgánica proveniente del mar y de los afluentes que desembocan en la laguna ^[9,13].

3.4. Materia orgánica

Es la fracción orgánica del suelo y su fuente originaria está formada por residuos animales y vegetales en diferentes estados de descomposición. Su presencia o abundancia es el resultado de la productividad orgánica del ambiente, en contraposición a la capacidad de descomposición del mismo. Una característica importante es que la materia orgánica contiene sustancias húmicas que están constituidas por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, las cuales presentan una diferencia operacional en cuanto a su solubilidad en medio ácido y básico ^[9,16].

Otra fuente de materia orgánica es la generada por factores antrópicos, es decir por el hombre, entre ellos se encuentran las aguas servidas domésticas e industriales, las actividades agrícolas y ganaderas relacionadas a plaguicidas, herbicidas y fertilizantes, entre otras ^[9].

No obstante, los productos resultantes de la degradación de los residuos de animales y vegetales, pueden ser objeto de nuevos procesos de síntesis y polimerización a través de la humificación, dando lugar a nuevos agregados químicos que se denominan ácidos húmicos, los cuales poseen características y propiedades específicas ^[9].

La composición química de la materia orgánica es muy heterogénea, debido a que los restos vegetales y animales son polímeros de compuestos orgánicos que durante el proceso de su transformación, son degradados y despolimerizados hasta sus constituyentes básicos, con la formación de componentes asociados al nitrógeno, fósforo y azufre ^[9].

Esto resalta la importancia de profundizar en lo referente al estudio desde el punto de vista geoquímico de los elementos C, N y S, ya que los mismos son constituyentes

principales de la materia orgánica, así como también a la interacción que existe entre ellos y el ecosistema, frecuentemente descrito a través de los ciclos biogeoquímicos.

3.5. Ciclos biogeoquímicos

Los ciclos biogeoquímicos se refieren al movimiento de la materia a través de los ecosistemas, los cuales son tanto de naturaleza biótica por el movimiento de los organismos o de sus actividades alimenticias, como de naturaleza abiótica por ser a través del aire o del agua; siguiendo un patrón cíclico y en el cual intervienen procesos geológicos, químicos y biológicos ^[17].

Debido a que no todos los elementos químicos tienen la misma movilidad a través del ecosistema, se distinguen dos tipos de ciclos biogeoquímicos:

Ciclos sedimentarios: son aquellos ciclos en los cuales intervienen elementos que no pueden moverse a través de la atmósfera, sino que se acumulan principalmente en el suelo. Éste es el caso del calcio, fósforo y potasio, entre otros ^[17,18].

Ciclos atmosféricos: son aquellos ciclos en los que participan elementos y compuestos que, en estado gaseoso, se mueven por todo el planeta debido a las corrientes de aire en la atmósfera. Entre ellos se encuentran el agua, el azufre, el carbono y el nitrógeno. Es pertinente señalar que estos ciclos no ocurren como fenómenos aislados, sino que tienen una estrecha relación con el del agua, indispensable para el intercambio de elementos en la dinámica que se da en los distintos ciclos que interactúan en la Tierra ^[17,18].

En ese sentido, dada la importancia de estos ciclos, seguidamente es realizada una breve descripción de los mismos, así como su pertinencia dentro de los procesos geoquímicos y las principales reacciones involucradas.

3.5.1. Carbono

El carbono (C) constituye tan sólo 0,094% de la corteza terrestre, por lo que es relativamente poco común encontrarlo en la naturaleza en su estado puro, de hecho se encuentra, sobre todo, en dos minerales: el diamante y el grafito. La mayor parte del carbono está enlazado químicamente a otros elementos, formando compuestos tales como el dióxido de carbono (CO_2), el carbonato cálcico (CaCO_3) y los hidrocarburos que se encuentran en el carbón y el petróleo. Por otra parte, el carbono se considera el componente básico de la vida, ya que se combina fácilmente con el hidrógeno y el oxígeno para formar los compuestos orgánicos fundamentales que constituyen los seres vivos como son las proteínas, los lípidos, los glúcidos y los ácidos nucleicos ^[13,19].

3.5.1.1. Ciclo del carbono

En la atmósfera, el carbono está presente principalmente en forma de dióxido de carbono (CO_2). Es precisamente mediante el proceso de la fotosíntesis que las plantas absorben este CO_2 , produciendo los compuestos orgánicos esenciales necesarios para su crecimiento. Posteriormente, los animales consumen estas plantas, asimilando estos compuestos orgánicos como fuente de energía, que a través del proceso de la respiración, le permite expeler CO_2 a la atmósfera; cabe destacar que las plantas también llevan a cabo el proceso de la respiración devolviendo una parte del CO_2 a la atmósfera ^[13].

Durante el proceso de decaimiento y descomposición del material vegetal superior una parte se oxida y el CO_2 liberado va a la atmósfera; no obstante un pequeño porcentaje es depositado como sedimento. Luego al transcurrir cientos de años bajo las condiciones apropiadas, estos depósitos ricos en carbono se convierten en combustibles fósiles, como carbón, grafito, petróleo o gas natural. Finalmente, como resultado del proceso de combustión de los combustibles fósiles, son liberadas grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera ^[13].

Asimismo, parte del CO_2 presente en la atmósfera se combina con agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3), el cual reacciona con las rocas y como producto de la meteorización química se produce el ión bicarbonato (HCO_3^-). Dicho ión al ser soluble en agua es transportado por las aguas subterráneas y por los ríos hacia el océano, donde los organismos acuáticos extraen este material disuelto, para producir partes duras de carbonato cálcico (CaCO_3). Luego, al morir estos organismos, los restos esqueléticos se depositan en el fondo oceánico como sedimentos bioquímicos y una vez ocurridos los procesos diagenéticos y litificación de los sedimentos se convierten en rocas sedimentarias ^[13]. La figura 1 resume los procesos ocurridos durante el ciclo del carbono.

El hombre interviene en este ciclo y se sirve del carbono como combustible, a través del consumo de los combustibles fósiles; es así como, a nivel industrial es potenciado el fenómeno de combustión cuyo efecto neto es el aporte de CO_2 a la atmósfera. Otro factor está asociado a la intensa deforestación, que trae como consecuencia una menor cantidad de organismos vegetales capaces de asimilar el CO_2 y su posterior transformación en oxígeno. Estos tres factores tienen las mismas consecuencias: el aumento del CO_2 en la atmósfera ^[20].

Es importante resaltar que el exceso de CO_2 en la atmósfera provoca el llamado efecto invernadero, ya que este gas, químicamente estable, permite el paso de la radiación solar de onda corta hacia la tierra, pero por lo contrario, detiene la salida del calor irradiado en medida proporcional a su concentración, lo que provoca un aumento de la temperatura ^[20].

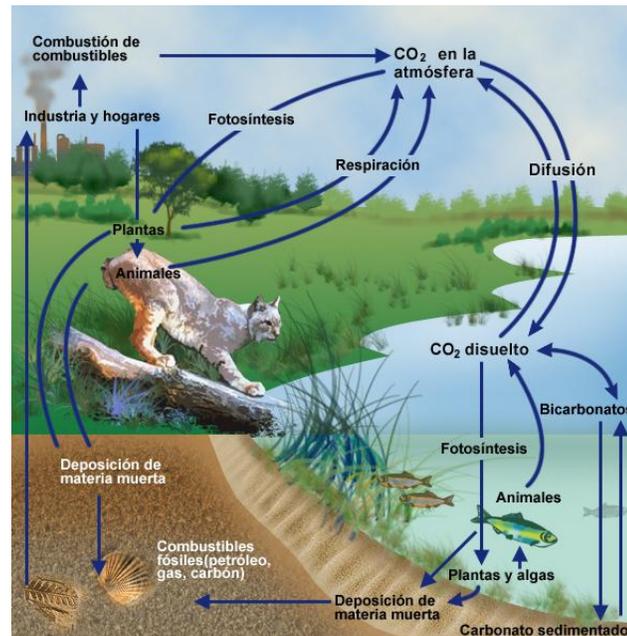


Figura 1. Ciclo del carbono ^[21]

3.5.2. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un elemento esencial para la vida, este es un componente indispensable en las proteínas, los ácidos nucleicos, la clorofila y otras moléculas orgánicas. Constituye el 78% del volumen de la atmósfera terrestre, estando presente en forma de moléculas de N₂. Esta molécula es muy poco reactiva debido al fuerte triple enlace entre los átomos de nitrógeno, por lo cual la mayor parte de los organismos no pueden asimilarla directamente ^[17,19].

Para que las plantas puedan absorber el nitrógeno, es necesario que este elemento esté presente en el suelo en forma de iones nitratos (NO₃⁻) o de amonio (NH₄⁺); para ello, existen bacterias conocidas como fijadoras de nitrógeno capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en NO₃⁻ o NH₄⁺ ^[17].

Otra fuente importante de nitrógeno que es liberado al suelo, es a través de la aplicación de fertilizantes de origen industrial, que frecuentemente contribuye con 35%

del total del nitrógeno incorporado en todo el planeta. No obstante, el exceso de nitrógeno es considerado un contaminante, ya que los organismos han evolucionado en condiciones de poca disponibilidad de este elemento, por lo que se encuentra en exceso las plantas no aumentan su tasa de absorción ^[17].

3.5.2.1. Ciclo del nitrógeno

Los principales procesos involucrados durante el ciclo seguido por el nitrógeno, son representados en la figura 2. En ese sentido, seguidamente son descritos dichos procesos, con énfasis en las reacciones y cambios ocurridos. Destacan los procesos de fijación, toma y mineralización del nitrógeno así como también la nitrificación y la desnitrificación.

De este modo la fijación del nitrógeno ($N_2 \rightarrow NH_4^+$) es el proceso mediante el cual este elemento se convierte en amonio. Éste proceso es esencial debido a que es la única manera en la que los organismos, pueden obtener nitrógeno directamente de la atmósfera. Es así como algunas bacterias son señaladas como los organismos capaces de fijar el nitrógeno a través de procesos metabólicos ^[22].

Por su parte, la toma de nitrógeno ($NH_4^+ \rightarrow N$ orgánico) se refiere al proceso donde el amonio producido por la bacteria que fija el nitrógeno, es usualmente incorporado rápidamente en la proteína y otros compuestos de nitrógeno orgánico ^[22].

Asimismo, la mineralización del nitrógeno (N orgánico $\rightarrow NH_4^+$) es el proceso mediante el cual el nitrógeno incorporado a la materia orgánica, se convierte nuevamente en nitrógeno inorgánico. Una vez que los organismos mueren, los organismos de descomposición tales como las bacterias y los hongos, consumen la materia orgánica promoviendo el proceso de descomposición. Durante este proceso, una cantidad significativa del nitrógeno contenido dentro del organismo muerto se convierte en amonio, facilitando su disponibilidad para ser usado por las plantas o para transformaciones posteriores en nitrato a través del proceso de nitrificación ^[22].

Por otro lado, la nitrificación ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) es el proceso que se caracteriza por la conversión del amonio producido por la mineralización, en nitrato; lo cual requiere de la presencia de oxígeno. Las bacterias que llevan a cabo esta reacción, obtienen energía de sí misma [22].

Finalmente, el proceso de desnitrificación ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$) involucra la conversión en nitrógeno de sus formas oxidadas como el nitrato y el nitrito, y en menor medida, en gas óxido nitroso. Dicho proceso es anaeróbico, indicando que ocurre en ausencia de oxígeno y en el que la bacteria que desnitrifica, es decir que convierte el nitrato en nitrógeno, lo hace en la siguiente secuencia: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ [22].

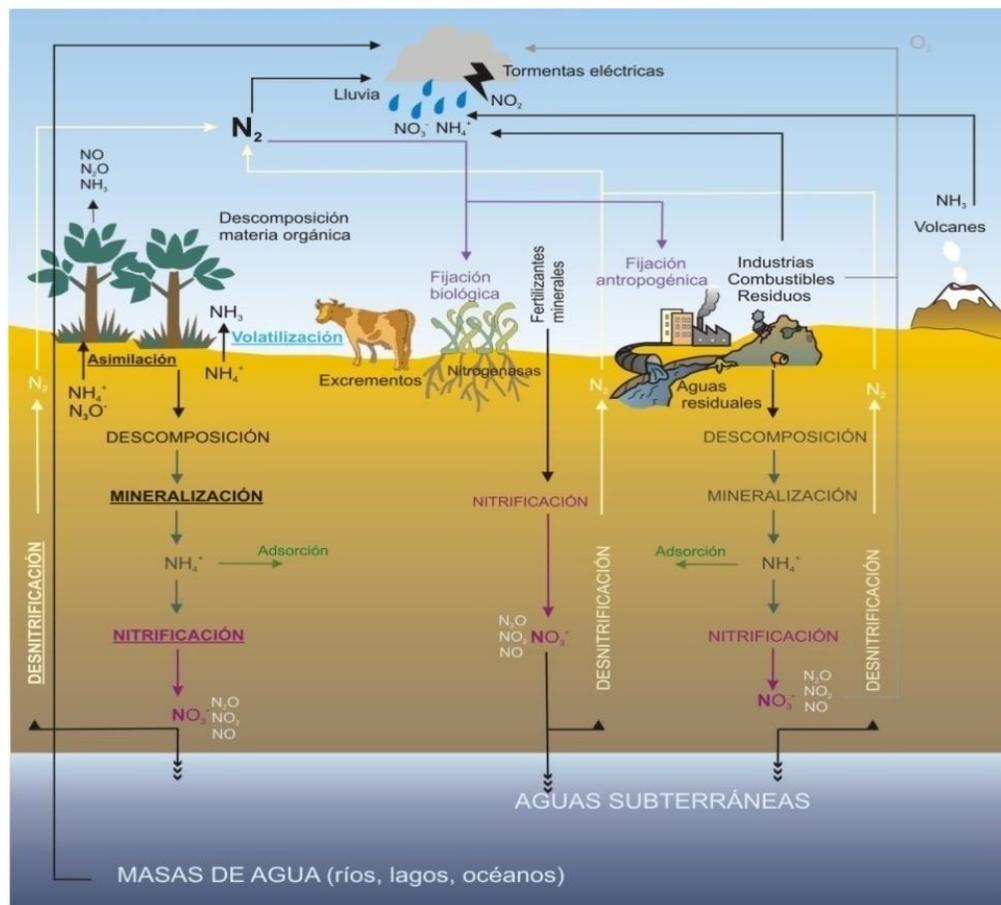


Figura 2. Ciclo del nitrógeno [23]

3.5.2.2. Relación C/N

Una de las principales relaciones usadas en la literatura para identificar el origen de la materia orgánica (MO) es la existente entre el carbono y el nitrógeno (C/N). Es así como atendiendo a ella, se puede conocer si la MO está asociada a algas marinas, de suelos, plantas terrestres, residuos de cultivos agrícolas o lignina (Tabla 2). La relación C/N es un parámetro utilizado en la caracterización del nitrógeno y su relación con la materia orgánica del suelo. Para su cálculo se consideran los valores de N total, que están constituidos hasta en un 98% por la fracción orgánica ^[9].

Tabla 2. Relación C/N y el origen de la MO ^[24]

| Origen MO | Promedio C/N |
|-----------------------------|--------------|
| Algas marinas | 6 a 9 |
| Materia orgánica de suelos | 8 a 15 |
| Plantas terrestres | >15 |
| Residuos cultivos agrícolas | 25 |
| Lignina | 78 |

3.5.3. Azufre

El azufre (S) es insoluble en agua y existe en varias formas alotrópicas, cuya forma termodinámicamente más estable a temperatura ambiente es la forma rómbica, que consiste en anillos flexionados de S₈. También debe señalarse que los grandes depósitos subterráneos son la fuente principal de azufre elemental, particularmente muy abundante en forma de minerales de sulfuro y sulfato. Las principales fuentes de los compuestos de azufre son las rocas y los suelos. Durante las actividades antrópicas el SO₂ constituye 95% de los compuestos de azufre derivados de la combustión de hidrocarburos ^[18,19].

3.5.3.1. Ciclo del azufre

Dada la importancia del S dentro de los estudios geoquímicos en el contexto de los procesos y factores que controlan su presencia durante la meteorización, es de resaltar cual es la ruta seguida en la Tierra, lo que es descrito a través del ciclo del azufre mostrado en la figura 4. Dicho ciclo se inicia con el elemento situado en la corteza terrestre que de manera natural forma óxidos, luego ácidos al reaccionar con el agua y finalmente sales. A partir de los sulfatos (SO_4^{2-}) disueltos en el suelo, las plantas incorporan este elemento a través de sus raíces que mediante los procesos químicos, estas sales son transformadas en aminoácidos, estas a su vez durante la fotosíntesis originan las proteínas, así como otras moléculas complejas. En los ecosistemas acuáticos el azufre esta presente en forma de sulfatos los cuales se desplazan disueltos en el agua de los ríos o de las corrientes subterráneas ^[17,18].

En el mismo orden de ideas, el sulfuro de hidrógeno (H_2S) se libera en la atmósfera gracias a la actividad de las bacterias que habitan en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Allí este compuesto se oxida al reaccionar con el oxígeno y el vapor de agua atmosférico obteniendo como producto, sulfatos que retornan al suelo y a los cuerpos de agua a través de la lluvia. Otras fuentes que incrementan el contenido de H_2S en la atmósfera son los incendios, la quema de combustibles fósiles tales como petróleo, gas y carbón y las erupciones volcánicas ^[17].

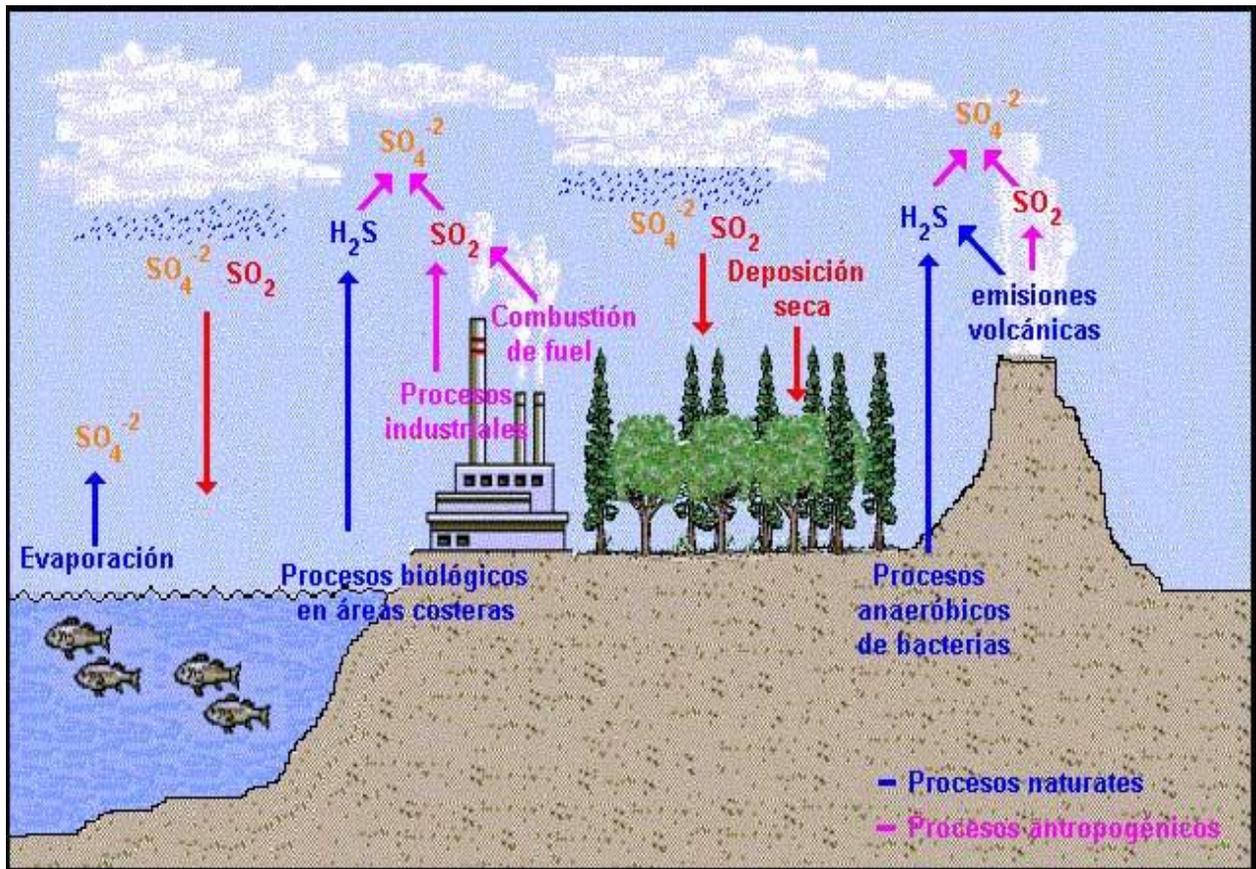


Figura 3. Ciclo del azufre ^[25]

3.6. Antecedentes

Seguidamente son discutidos algunos trabajos de investigaciones tanto a nivel nacional como internacional, referidos a estudios similares realizados en lagunas costeras como en otros ambientes, con énfasis en los elementos acá propuestos; con el propósito de sustentar las metodologías desarrolladas y los resultados e interpretaciones realizadas.

3.6.1. Nacionales

Isava (1996) ^[2] a través de la caracterización de la comunidad bacteriana asociada a la interfase agua-sedimento, estudió los cambios que ocurren en los grupos funcionales bacterianos, indicadores de la calidad ambiental del ecosistema de la laguna de

Tacarigua, tomando en cuenta que en esta interfase se concentran altos contenidos de materia orgánica, nutrientes y gran cantidad de metales pesados, hidrocarburos y elementos químicos contaminantes arrastrados por los diferentes afluentes que hacen su aporte de agua a la laguna.

Como resultado de su análisis, Isava (1996) concluyó que existe una marcada influencia de los parámetros fisicoquímicos sobre la distribución y frecuencia de los microorganismos asociados a la interfase agua – sedimento, señala además que la salinidad y el oxígeno disuelto fueron los más determinantes como indicadores de la calidad ambiental del complejo lagunar; así como también, la predominancia de los sedimentos franco – arcillosos – limosos hacia la zona central de la laguna, lo cual está directamente relacionado con la acumulación de la materia orgánica, y la predominancia de los sedimentos arenosos en los sectores cercanos a la barra litoral y zona oriental acumulados por la acción de las mareas.

Barceló y Col. (2008) ^[26] analizaron las características de 12 muestras de sedimento, en cuatro localidades de Punta de Piedras, en la Isla de Margarita, trazándose cuatro transeptos: Enlatadora (empresa enlatadora de productos marinos), Conferry, Naviarca (terminales de ferry) y la Salle (Instituto de investigación), durante mayo-2004 y febrero-2005. Determinaron la granulometría, carbonatos, materia orgánica, fósforo y nitrógeno total.

La materia orgánica la determinaron por la pérdida de peso debido a la oxidación, mediante la calcinación de las muestras en una mufla a 550°C por ocho horas, fundamentándose en la mineralización total de la materia orgánica que se encuentra contenida en los sedimentos. Los carbonatos se determinaron por el método de digestión ácida, agregando HCl para que se desprendieran los carbonatos y su porcentaje se determinó por diferencia de pesos. Por último, el fósforo y el nitrógeno totales se determinaron por la oxidación simultánea de fósforo orgánico y nitrógeno orgánico a fosfato y nitrato, respectivamente.

Obtuvieron como resultado que el sedimento es en su mayoría de textura arenosa a franco-arenosa y que en el transepto de la Enlatadora se encontraron los porcentajes más altos de carbonatos, superiores a 95%. Asimismo encontraron que la materia orgánica presentó los valores más altos en Conferry y Naviarca y que existe una estrecha relación positiva entre los limos, materia orgánica y fósforo total, atribuyéndolo a que los granos finos tienen mayor superficie de adherencia. Finalmente determinaron que la zona costera de Punta de Piedras es en general, rica en carbonatos y materia orgánica que puede deberse a una fuerte y constante influencia antrópica.

González (2009) ^[27] estudió la composición química y la distribución espacial en términos de las concentraciones de C, N y P en la fracción fina de los sedimentos de fondo depositados en el Golfete de Cuare, estado Falcón. Para este estudio, dicha autora recolectó 36 muestras de núcleo de sedimentos, los cuales fueron tamizados y analizados por las técnicas de combustión seca para carbono total (CT), y espectrometría de absorción molecular para fósforo total. Mientras que la concentración de carbono orgánico (CO) fue determinada por el método de Walkley – Black (1934), la de nitrógeno total (NT) por el método de Kjeldahl, y el fósforo total por el método de Murphy – Riley (1962).

A partir de dichos análisis, González (2009) obtuvo como resultado que la concentración de CT fue de 1,08 a 5,54%; de CO de 0,26 a 3,49%; de carbono inorgánico (CI) de 0,48 a 3,32%, de NT de 0,07 a 0,39% y para el PT de 202 a 835 µg/g. De igual manera, obtuvo que la distribución espacial del CT, CO y NT mostró dos zonas bien definidas; la primera en la zona de playa y la segunda en el Golfete de Cuare; mientras que la distribución espacial del PT es de una población logarítmica normal, producto de que la concentración de este elemento está controlada principalmente por fases de oxihidróxidos de Fe y Mn y compuestos amorfos de Al o arcillas.

Martínez (2009) ^[28] estudió geoquímicamente los elementos C, P y N en la fracción limo arcilla de 44 muestras de sedimentos superficiales de la región marino-costera al norte y sur de la Península de Paria. Para ello el CT y CO fue determinado por la técnica de combustión seca, mientras que el PT y NT por el método de Valderrama (1981).

Dicha autora, obtuvo como resultados que en la fracción limo la concentración promedio de CO fue 1,53%, el PT 0,04% y NT 0,03%, mientras que en la fracción arcilla la concentración promedio de CO fue 1,64%, el NT 0,13% y PT 0,04%, y finalmente la relación promedio C/N fue 23,67. De acuerdo con estos resultados, Martínez llegó a la conclusión de que la distribución espacial de estos elementos puede estar influenciada por las corrientes marinas y patrones de afloramiento costero, además del efecto causado en la producción, distribución y sedimentación de materia orgánica en el área estudiada, causado por la descarga del Río Orinoco que impacta directamente las aguas y sedimentos superficiales del Golfo de Paria, y las del Río Amazonas a través de la corriente de Guayana. De igual manera dedujo que la MO en los sedimentos de la Plataforma Norte de la Península de Paria (PNPP) es de origen autóctono como consecuencia de la productividad primaria. En el caso del Golfo de Paria (GP), existe una mayor variabilidad, indicando diversas fuentes de MO, que origina una mezcla de MO tanto marina como continental, confirmando los aportes del río Orinoco y del río Amazonas.

Romero (2009) ^[29] determinó diferentes especies de azufre en 12 muestras de sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. El contenido de carbono orgánico fue determinado por el método volumétrico de Gaudette y Flight (1974). Por su parte el contenido total de azufre se determinó por un proceso de extracción secuencial y a través del método de la Norma ASTM D-3177, pero usando la técnica ICP-OES.

Romero obtuvo como resultado que el mayor contenido de azufre se halló en la fracción residual, seguida de la soluble en agua y los de menor contenido los unidos a la materia

orgánica, donde las concentraciones estuvieron entre 12,91 y 52,36 mg/g y la técnica de ICP-OES resultó ser más adecuada que el método gravimétrico. Además obtuvo que el porcentaje de azufre extraído, usando el método de extracción secuencial, se encontró entre 81,6 y 99,3%, indicando su capacidad para extraer el azufre asociado a las diferentes fracciones geoquímicas. Finalmente encontró que la relación entre Corg/S resultó entre 0,10-1,04%, señalando que la zona se caracteriza por tener condiciones euxínicas y reductoras.

Burbano (2011) ^[30] estableció la distribución espacial y granulométrica de carbono y nitrógeno en 41 muestras de sedimentos superficiales captados en el Lago de Valencia; asimismo, cuantificó sus concentraciones usando como metodología el análisis termogravimétrico. Una vez secadas y tamizadas las muestras, fueron sometidas a un proceso de calcinado secuencial en una mufla a temperaturas de 105°C, 450°C, 550°C y 750°C, por intervalos de 2 horas, lo que permitió estimar por gravimetría la pérdida de masa.

A partir de éstos resultados, Burbano (2011) concluyó que las fracciones tamaño arcilla y limo fino es la granulometría dominante; asimismo señaló que el carbono inorgánico fue acumulado en mayor proporción en los sedimentos de grano grueso que están presentes en las periferias del lago; mientras que el carbono orgánico, carbono total y nitrógeno son acumulados en mayor proporción en los sedimentos de grano fino.

Díaz (2012) ^[7] evaluó la calidad del agua en 16 estaciones de muestreo dentro de las cinco lagunas internas del Parque Nacional Laguna de Tacarigua, en el Estado Miranda. Dichas estaciones fueron seleccionadas tomando en cuenta los aportes de ríos y caños que desembocan en la laguna, incluyendo el aporte de agua marina. Igualmente, esta autora realizó mediciones in situ de los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, salinidad, conductividad, turbidez y profundidad; posteriormente, determinó las especies químicas sodio, magnesio, potasio, cloro, bario, entre otras, y realizó el análisis microbiológico del agua para bacterias heterótrofas, y especies *Vibrio*,

incluyendo indicadores de calidad sanitaria como coliformes totales, coliformes fecales y enterococos.

Los resultados obtenidos por Díaz (2012) mostraron una variabilidad de los parámetros fisicoquímicos en las diferentes zonas, atribuyéndolo al aporte de los diversos afluentes hacia el sector y a la intrusión de aguas marinas en aguas dulces. En cuanto a las determinaciones químicas, concluyó que las aguas de la laguna se caracterizan por ser en un 69% aguas cloruradas-sódicas; un 19% cloruradas-sódicas-magnésicas; y un 12% cloruradas-magnésicas. Aunado a esto, los resultados de los indicadores de calidad microbiológica establecidos en el Decreto 883 (1995), indicaron que los sectores que poseen calidad de agua aceptable fueron El Cazote, Laguna Arena y la Boca. Finalmente, y no menos importante, Díaz (2012) resalta que por la determinación de las bacterias heterótrofas indican la presencia de una gran cantidad de materia orgánica en las zonas que fueron muestreadas, exceptuando el Caño El Mono donde no se detectó la presencia de dichas bacterias y cuyo valor de DQO fue menor.

González (2012) ^[8] determinó la concentración de los elementos Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn en la fracción limo-arcilla de 19 muestras de sedimentos de fondo de las lagunas internas Laguna Grande, El Cazote y Laguna Arena del Parque Nacional Laguna de Tacarigua. Cada muestra fue tamizada en húmedo y mediante la técnica de termogravimetría con temperaturas de 100°C, 450°C, 550°C y 900°C, determinó las fases en los sedimentos.

Como resultado, González (2012) concluyó que la distribución granulométrica espacial está predominada por la fracción tamaño lodo y obtuvo como elementos mayoritarios el Na, K, Al, Fe y Mg asociados a fases minerales de tipo arcilla; mientras que, los elementos minoritarios Ni, Cu y Co asociados a fases oxihidróxidos cristalinos de Fe y arcillas. De igual manera, indicó que la fase predominante en los sedimentos de fondo es la materia orgánica. Asimismo, empleando criterios de comparación como el factor de enriquecimiento e índice de geoacumulación, éste autor señala que las

concentraciones de los elementos traza Zn, Ni, Cr, Cu y Co no son significativas como para representar un riesgo de contaminación en la zona de estudio.

Nasser (2012) ^[31] determinó la distribución del C, N, P y S en la fracción limo-arcilla de los sedimentos de fondo de la cuenca del Río Tuy, Venezuela. Para ello, tomó 31 muestras distribuidas a lo largo de este río y en sus principales afluentes.

Las concentraciones de carbono y azufre total fueron determinadas por el método de la combustión seca; mientras que, el carbono orgánico (CO) se determinó por el método de Walkley Black (1934), y el inorgánico por diferencia entre el carbono total y orgánico. Por su parte, la concentración del nitrógeno total (NT) fue conocido aplicando la metodología planteada por Kjeldahl, modificado por Jackson (1976); posteriormente el fósforo total (PT) se determinó por el método colorimétrico desarrollado por Murphy & Riley (1962).

Nasser (2012) señala que en la fracción limo-arcilla del sedimento de fondo de la cuenca del Río Tuy las concentraciones de CT, CO, Cl, NT, PT y ST, oscilaron entre los siguientes valores: 0,66 - 3,76 %; 0,09 - 3,19 %; 0,21 - 1,18 %; 0,05 - 0,44 %; 315 - 1802 $\mu\text{g/g}$, y 0,014% - 0,716%, respectivamente; asimismo apunta que la distribución de estas especies indica que las mayores concentraciones fueron detectadas en las zonas que son consideradas como fuertemente intervenidas desde el punto de vista antrópico. Asimismo, la relación C/N mostró un valor promedio de 6,11; con un máximo de 12,10 lo cual permitió establecer el origen de la materia orgánica, atribuyéndola a la presencia de micrófitas, fitoplancton y un aporte antrópico; mientras que para la razón C/P se obtuvo un valor promedio de 11,45. De igual manera identificó un patrón de aumento en la concentración de CO, NT, PT y ST con la disminución del tamaño de grano, que fue atribuido al hecho de la mayor adsorción por parte de la fracción fina del sedimento como consecuencia de su gran área superficial.

3.6.2. Internacionales

Silva y Rojas (2003) ^[32] determinaron la concentración de carbono orgánico, nitrógeno orgánico, textura y porosidad en sedimentos superficiales de la zona de canales australes de Chile, Boca del Guafo a Canal Pulluche, con el objetivo de conocer su distribución vertical, parámetros diagenéticos, tasas de remineralización y acumulación, para la descomposición de la materia orgánica. Para alcanzar dichos objetivos, Silva y Rojas (2003) captaron muestras de sedimentos en 12 estaciones, determinando la textura de los mismos por granulometría, la concentración del carbono orgánico se conoció utilizando un equipo analizador elemental para carbono marca LECO CR-12, mediante el quemado de la muestra pretratada con ácido; por su parte, para la determinación de nitrógeno orgánico se utilizó la técnica de Kjeldahl indicada en Willar et al. (1956), adaptándola a un aparato Micro-Kjeldahl. Asimismo, el porcentaje de remineralización y acumulación de la materia orgánica metabolizable se determinó de acuerdo a Berner (1980).

Silva y Rojas (2003) concluyen que las estaciones 8, 9, 17a y 53, se caracterizaron por estar compuestas por un alto porcentaje de limos y arcillas (>80%); mientras que en las estaciones 6, 11, 14, 45, 51, 54, 72 y 76, estos disminuyeron, verificándose un aumento en las fracciones arenosas (>40%). Asimismo, la mayor porosidad (>0,8 ϕ) se presentó en las estaciones donde predominaron los limos y las arcillas y la menor (<0,6 ϕ) en las que predominaron las fracciones arenosas. Igualmente señalan que los valores más altos de carbono orgánico (>2%) fueron observados en las estaciones 8 y 9; mientras que los valores menores (<1%) en la estación 14. En cuanto al nitrógeno orgánico, los valores más altos (>0,2%) se detectaron en las estaciones 8, 9 y 53, y los valores menores a 0,1% en la estación 14.

Zhou et al. (2006) ^[33] analizaron la distribución espacial de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre en los sedimentos de marisma de agua salobre del Estuario Yangtze en China, recolectando 15 muestras de estos sedimentos durante una época de lluvia, en Junio

de 2001, y una época de sequía en marzo de 2002. El análisis químico de carbono orgánico total (COT), nitrógeno total (NT) y azufre total (ST) fue determinado usando un analizador elemental y el fósforo total (PT) por ICP-AES.

Dichos autores obtuvieron como resultado que el tamaño de grano predominante en los sedimentos de marismas fue entre 4-63 μm ; así como también que los niveles de COT (0,1 – 0,7%) y la relación C/N (6 – 11) fue baja en comparación con los reportados para otros marismas salobres en áreas costeras de Europa y Norteamérica. Por otra parte, el PT (0,05 – 0,07%) mostró una variación irregular en su distribución espacial mientras que el COT, NT (0,014 – 0,078%) y ST (0,01 – 0,06%) mostraron un patrón espacial similar a lo largo de estos marismas salobres; y no hubo diferencias significativas entre el período de lluvia y el período de sequía para estos elementos, excepto el ST, el cual mostró valores elevados durante el período de sequía.

Montalvo (2006) ^[34] realizó una caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey en Cuba; para ello, este autor evaluó los parámetros carbono, nitrógeno, fósforo, carbonatos, sulfuro de hidrógeno y consumo de oxidante químico. Se cuantificó el carbono orgánico por el método de Walkley y Black (1934); el nitrógeno orgánico mediante el método Kjeldahl modificado por Dowgialo (1984); el fósforo inorgánico lo determinó a través de la extracción con HCl 1,2 M; mientras que fósforo total, mediante digestión con H_2SO_4 - HNO_3 - HClO_4 . Asimismo, el consumo de permanganato le permitió conocer la demanda química de oxígeno (DQO) por medio del procedimiento usado para agua marina; así como los carbonatos atendiendo al método desarrollado por Jackson (1970) y el sulfuro de hidrógeno empleando el método azul de metileno. El fósforo orgánico se estimó por diferencia entre el fosforo total y el inorgánico.

Los resultados indican que dichas bahías poseen notables contenidos de carbono orgánico y concentraciones de nitrógeno inferiores a 0,2%, evidenciando que la fuente principal de materia orgánica en estos cuerpos de agua es la vegetación periférica y

acuática, rica en carbono y pobre en nitrógeno. Además, las concentraciones promedio de carbonatos son superiores al 35%, donde la mayor riqueza corresponde a la bahía de Santa Clara, sobre todo en los puntos más alejados de la línea de la costa. Los valores de sulfuro de hidrógeno en ambas bahías fueron similares, en el caso de la bahía de Cárdenas tuvo un valor medio de 20,49 mM m⁻² y en la de Santa Clara la concentración promedio fue 20,10 mM m⁻².

Calva et al. (2006) ^[35] determinaron la distribución textural estacional y espacial de los sedimentos superficiales del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas en México, durante el período de 1997 a 2003, colectados en 10 estaciones de muestreo; asimismo determinaron la concentración de carbono orgánico (CO) en dichos sedimentos.

Para la caracterización del tamaño de grano de los sedimentos, Calva et al. (2006) utilizaron el análisis granulométrico; mientras que el porcentaje de CO se determinó mediante la técnica propuesta por Gaudette et al. (1974), que consiste en la titulación del exceso de dicromato de potasio con sulfato ferroso.

El CO en el sistema Chantuto-Panzacola, durante el período 1997 a 2003, presentó una concentración promedio de 3,95%, Calva et al. (2006) señalan que existen diferencias significativas entre las estaciones de sequía y de lluvias. De este modo, la concentración de CO fue mayor en los meses asociados a la época de lluvias, mostrando que el aporte esta especie química proviene de fuentes tanto autóctonas, como alóctonas.

Desde el punto de vista espacial, la concentración de CO determinado en los sedimentos captados a través de las lagunas, fue mayor principalmente en la E4 (Chantuto) – E6 – E5 (Panzacola); mientras que en la E1 (en la boca con influencia marina), fue mucho menor debido al flujo de agua de mar que mantiene en suspensión la materia particulada. Por su parte, la distribución del tamaño de grano fue muy

heterogénea entre años, épocas climáticas y estaciones en las lagunas ya que varió de limo-arenoso y arena-limo-arcilloso a arcilla-arenosa.

De igual manera **Calva et al. (2011)** ^[36] analizaron la distribución textural de los sedimentos superficiales y la concentración de carbono orgánico (CO) en áreas costeras asociadas a praderas del pasto marino *Thalassia testudinum* en dos ambientes costeros diferentes; a saber: sistemas estuarinos-lagunares y arrecifes de coral, localizados en los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, en México.

Para la caracterización de la textura de los sedimentos, Calva et al. (2011) empleó el proceso de tamizado en húmedo por medio de la técnica de Pipeteo; asimismo, el análisis de la concentración de CO se empleó la técnica propuesta por Gaudette et al. (1974). Los resultados obtenidos indican que la distribución del tamaño de grano y de la concentración del CO fue heterogénea entre los dos tipos de sistemas costeros. En ese sentido, en los ambientes estuarinos se detectaron valores superiores tanto de las fracciones finas (limos y arcillas) como de CO; mientras que, en los ambientes arrecifales predominaron las arenas y porcentajes menores de CO. Sin embargo, en Xcalak (zona arrecifal) el porcentaje de CO promedio (2,72 %) fue similar a los reportados para áreas estuarinas. Asimismo, en Tenabo se detectaron los valores promedios de concentración de CO más altos (8,37 %), entre todas las localidades estudiadas. Finalmente, estos autores indican que las praderas del pasto marino *T. testudinum* se desarrollaron mejor en áreas someras, protegidas y con poca circulación (exceptuando Champotón), tanto en sedimentos arenosos como lodosos.

3.7. Zona de estudio

3.7.1 Ubicación y superficie

El Parque Nacional Laguna de Tacarigua está ubicado en el Estado Miranda, al centro norte de Venezuela, entre los 10°11'30" y 10°20'20" de latitud norte y entre los 65°41'10" y 65°57'20" de longitud oeste (Figura 5). Comprende una laguna costera

permanente de 7.800 ha y 1,2 m de profundidad promedio, separada del mar por una restinga o barrera litoral de 28,8 km de largo y 300-1.000 m de ancho, formada por la acción de la corriente marítima que recorre el litoral en dirección este-oeste. Al sur de la laguna se extiende un área dominada por bosques secos y al norte, un área marina de 20.700 ha. En total el parque abarca 39.100 ha; de las cuales aproximadamente 4.000 ha del parque están cubiertas por bosques de manglar que crecen a orillas de la laguna e incluso forman densas islas hacia el centro ^[5]. Este sitio fue decretado Parque Nacional el 13 de febrero de 1974 mediante el Decreto No. 1607 publicado en la Gaceta Oficial No. 30342 (1974) y en 1996, se declaró sitio Ramsar por representar un humedal de excepcional importancia para la conservación de la biodiversidad ^[6].

La laguna se nutre de agua dulce que proviene principalmente del río Guapo aunque también de otros afluentes como los caños Pirital, San Nicolás, San Ignacio y la quebrada Chaguaramal. En su sector nor-occidental, la laguna se comunica con el mar a través de una boca. En épocas de fuerte sequía en la cuenca del río Guapo, la disminución en la entrada de agua dulce y la acumulación de sedimentos, originan la obturación de la boca, y en consecuencia, el incremento de la salinidad de las aguas de la laguna ^[4].

La Laguna de Tacarigua se divide en cinco ambientes diferentes, de acuerdo a variables fisicoquímicas, topográficas y la naturaleza de sus sedimentos; a saber: El Guapo, El Placer, Laguna Grande, El Cazote y Laguna Arenas. Existe un importante afluente fluvial, el río Guapo, que es vertido a la laguna de forma continua a través del Canal Madre Casañas; así como varios arroyos intermitentes y de temporada a lo largo de la costa sur ^[4]. En la figura 6 se muestran las cinco lagunas internas que constituyen al Parque Nacional Laguna de Tacarigua.

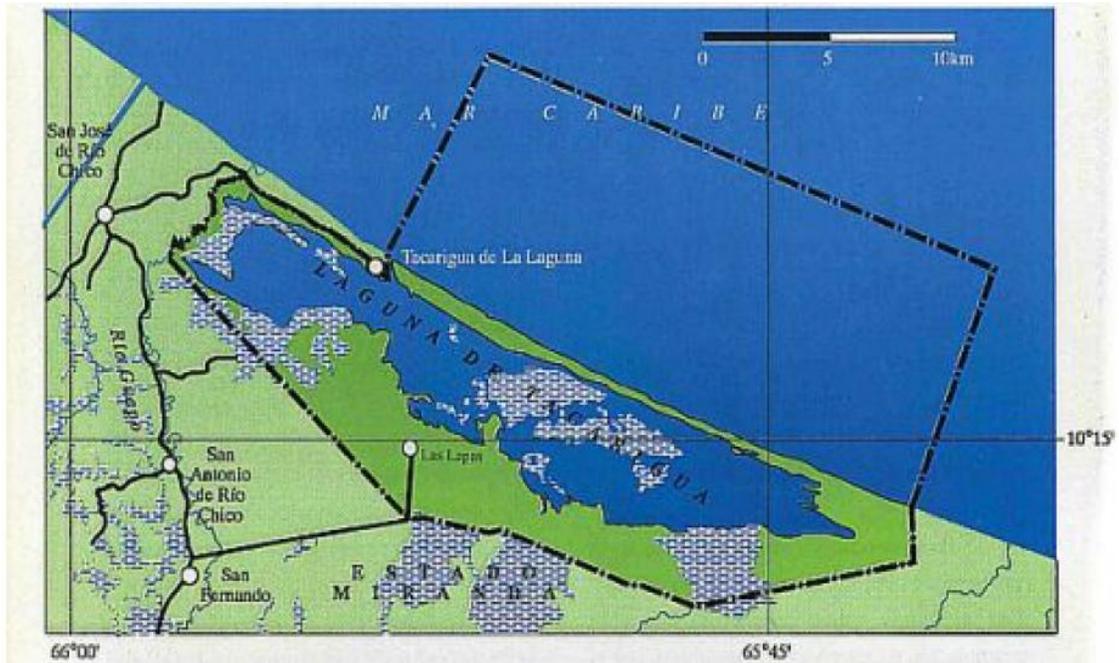


Figura 4. Ubicación del Parque Nacional Laguna de Tacarigua [7]

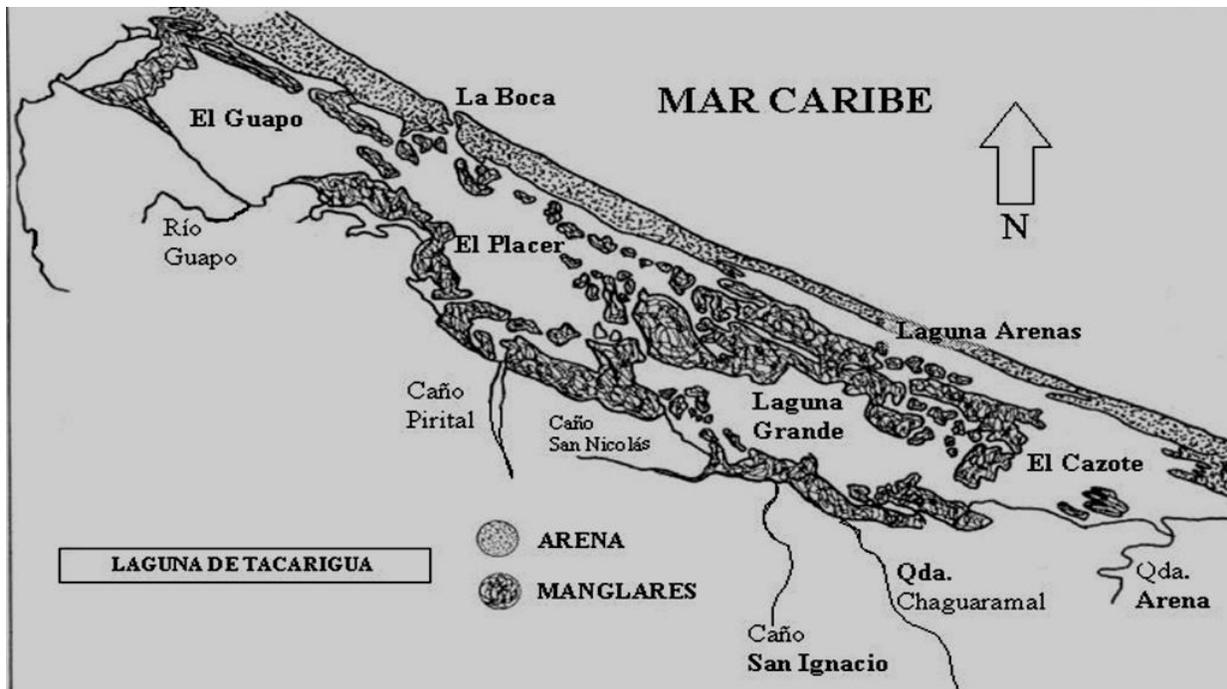


Figura 5. Ubicación de las cinco lagunas internas de la Laguna de Tacarigua [4]

3.7.2. Clima

El clima de la Laguna de Tacarigua es cálido y húmedo con temperaturas que oscilan entre 24,8 y 27,5°C y una temperatura media anual de 26°C; así como una precipitación media anual de 1.000mm. Existe una estación lluviosa de junio a diciembre en la que se observa el 85 % de la precipitación anual. El mes más lluvioso es noviembre con 169,5mm y el más seco es marzo con un valor de 14,3mm. Por la ubicación y orientación de su zona costera (285°), el parque está fuertemente influenciado por los vientos alisios del noreste ^[4].

3.7.3. Biodiversidad

El parque comprende tres ecosistemas principales: una laguna salobre de poca profundidad, una zona de bosques secos y una restinga o barrera de playa arenosa. La Laguna de Tacarigua es uno de los estuarios más productivos en la costa venezolana. Está dominada por bosques de manglares, donde se pueden encontrar cuatro de las siete especies de mangles presentes en el país: *Avicennia nitida*, en los suelos más consolidados y menos anegados; *Conocarpus erectus*, que crece en las zonas más arenosas; *Rhizophora mangle*, en los bordes de la laguna; y *Laguncularia racemosa*, que puede encontrarse en todo tipo de terreno. En ese sentido, la *Rhizophora mangle* es la especie dominante, cubriendo hasta el 70 % del bosque de manglares ^[4].

La vegetación está constituida por manglares y áreas de sabanas cubiertas de gramíneas arbustivas, los primeros son las formaciones de vegetación más representativas del parque que rodean a la laguna. La vegetación de playas y dunas está conformada por colonias de gramínea, llamadas comúnmente saladillo *Sporobolus virginicus* y por hierbas bajas con tallos y hojas carnosas ^[4].

Dentro de la flora, están presentes el mangle rojo *Rhizophora*, el mangle negro *Avicennia germinans*, el mangle blanco *Laguncularia racemosa* y el botoncillo

Conocarpus erectus. En los terrenos arenosos ubicados detrás de los manglares en la barra o restinga, es común encontrar el uvero de playa *Cocoloba uvifera* ^[4].

La fauna silvestre del parque tiene su elemento más representativo, en las aves acuáticas de las lagunas y los manglares. Entre los islotes se pueden observar bandadas de corocoras rojas *eudocimus ruber*, la garza morena *Ardea cocoi* y la cotúa *Phalacrocorax olivaceus*, en las zonas más profundas donde se sumergen para pescar; así como, el pelícano o alcatraz *Pelecanus occidentalis*, la gaviota *Sterna fuscata*, el guanaguare *Larus atricilla*, la tijereta *Fregata magnificens*. También habitan en el parque especies incluidas en el Libro Rojo de la Fauna, por estar amenazadas, vulnerables o en peligro de extinción como son el caimán de la costa *crocodylus acutus*, la tortuga verde *Chelonia mydas*, la tortuga cardón *Dermochelys coriacea*, la tortuga carey *Eretmochelys imbricata*, la tortuga caguama *Caretta* y el flamenco *Phoenicopterus ruber*. Es de resaltar que la diversidad de peces es notable sobre todo por escoger los manglares como lugar para el desove. Entre las principales especies que sirven para el sustento de la población pueden ser citados el lebranche, pez muy solicitado durante casi todo el año, la lisa, el róbalo, el lenguado, el roncador y la raya, entre otros ^[4].

3.7.4. Socioeconomía e impacto antrópico

Las principales actividades de los habitantes de las zonas próximas a la Laguna de Tacarigua han sido la pesca artesanal, la agricultura de subsistencia y la cría de ganado. El explosivo desarrollo del turismo, que impulsó la construcción de puertos deportivos y turísticos, sin embargo ha introducido cambios en los patrones ocupacionales durante las últimas tres décadas ^[3].

Varios problemas amenazan la conservación de la diversidad biológica del Parque Nacional Laguna de Tacarigua; entre ellos se pueden mencionar: la sedimentación, la contaminación con desechos sólidos, la contaminación de las aguas, la pesca ilegal, la cacería furtiva e incendios forestales. De los problemas señalados, la sedimentación es

quizás el problema más serio de la laguna, y particularmente derivado como consecuencia de la construcción para el año 1964 del canal Madre Casañas, lo que permitió el desvío del río Guapo para hacerlo desembocar en la laguna de Tacarigua. Esto ha producido una serie de transformaciones geomorfológicas e hidrológicas de gran magnitud, tal es el caso de la formación de un delta de más de 225 ha el cual avanza a razón de 1 km² por año, producto del aumento de la turbidez y sedimentación generalizada en toda la laguna ^[6].

Este proceso natural de sedimentación hacia la laguna, se ha visto acelerado con el incremento de las actividades antrópicas, producto de la deforestación de los bosques y de la erosión en las cabeceras de sus afluentes. En diciembre de 1999, la tragedia natural que produjo grandes deslaves de tierra en la cordillera de la Costa destruyó el embalse del Guapo, arrastrando consigo un bosque completo, varios poblados y grandes cargas de sedimentos que fueron a dar a la laguna. Debido a la acumulación de sedimentos marinos y fluviales, la profundidad de la laguna disminuyó de 7 m a principios del siglo XX, a un promedio de menos de 2 m en la actualidad. El ciclo del cierre natural de la boca ha sido alterado, y actualmente se cierra con mayor frecuencia, produciendo inundaciones y otros desastres ecológicos. Por otro lado, en los alrededores existen varios pueblos con gran afluencia de turistas y complejos hoteleros que no cuentan con plantas adecuadas para el tratamiento de aguas servidas, las cuales se vierten al caño El Burro, un riachuelo que sale al mar a través de la boca de la laguna de Tacarigua; asimismo, el proceso de contaminación hacia la laguna, puede ser generado a través del uso de pesticidas y fertilizantes durante las actividades agropecuarias, comúnmente realizadas en sus alrededores ^[3,6].

4.- METODOLOGÍA

Para poder alcanzar los objetivos propuestos, la metodología seguida en este estudio fue dividida en tres etapas, a saber: pre-campo, campo y laboratorio.

4.1. Etapa de pre-campo

Esta es la etapa previa a la captación de las muestras, en la cual fue realizada una revisión bibliográfica acerca de estudios realizados en la Laguna de Tacarigua, permitiendo proponer un plan de muestreo en los sectores de mayor interés del complejo lagunar, de manera particular tanto en sus cinco lagunas internas como en el sector la Boca. En esta etapa también se preparó el material y equipos para llevar a cabo el muestreo, que involucró la calibración de los equipos.

4.2. Etapa de campo

La etapa de campo consistió en el traslado a la zona de estudio donde se captaron las muestras de sedimentos de fondo, simultáneamente fueron realizadas las medidas de los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad, temperatura, salinidad y profundidad de la columna de agua. En esta etapa fueron realizadas tres campañas de recolección de muestras: marzo de 2010 con 13 puntos de muestreo, marzo de 2011 con 13 puntos de muestreo; y en agosto de 2011 con 15 puntos de muestreo. Es importante destacar que la primera campaña de muestreo fue llevada a cabo en época de sequía, mientras que la segunda y tercera ocurrieron en período de lluvia. La toma de las muestras de sedimentos de fondo fue realizada utilizando una draga marca Petersen que permite captar aproximadamente 1 Kg de carga sedimentaria.

Una vez captadas las muestras, estas fueron refrigeradas hasta su traslado al laboratorio. La figura 7 y las tablas 3 y 4, presentan los puntos de muestreo correspondientes a cada período.



Figura 6. Puntos de muestreo en lagunas internas del Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNLT) ^[7]

Tabla 3. Puntos de muestreo y coordenadas correspondientes al periodo marzo 2011

| Fecha de muestreo | N° puntos | Nomenclatura | Nombre de los puntos | Laguna Interna | Coordenadas |
|-------------------|-----------|--------------|----------------------|----------------|----------------------------------|
| 01-mar | 1 | PNLT 02 | Caño Tuy | El Guapo | N: 10°18'00.0" W:065°52'53.03 |
| | 2 | PNLT 03 | Guapo | El Guapo | N: 10°17'55.7" W:065°54'18.3" |
| | 3 | PNLT 04 | Caño Madre Casaña | El Guapo | N: 10°17'07.2" W:065°54'43.0" |
| 02-mar | 4 | PNLT 05 | Caño el Mono | El Placer | N: 10°16'43.5" W:065°52'44.4" |
| | 5 | PNLT 06 | El placer | El Placer | N: 10°16'46.7" W:065°52'21.7" |
| | 7 | PNLT 08 | Caño Pirital | El Placer | N: 10°15'00.5" W:065°51'44.1" |
| | 8 | PNLT 09 | Carambola | El Placer | N: 10°14'58.8" W:065°51'10.9" |
| | 9 | PNLT 10 | Caño San Nicolás | Laguna Grande | N: 10°13'42.0" W:065°49'11.6" |
| | 10 | PNLT 11 | Caño San Ignacio | Laguna Grande | N: 10°13'31.3" W:065°48'14.6" |
| | 11 | PNLT 12 | Laguna grande | Laguna Grande | N: 10°13'51.7" W:065°47'59.8" |
| | 13 | PNLT 14 | Marapatá | El Cazote | N: 10°13'03.8" W:065°45'33.8" |
| | 14 | PNLT 16 | Club Miami | Laguna Arena | N: 10°16'19.4" W:065°49'31.3" |
| | 16 | PNLT 19 | La boca | La Boca | N: 10°18'03.6" W:065°52'27.5" |

Tabla 4. Puntos de muestreo y coordenadas correspondientes al periodo agosto 2011

| Fecha de muestreo | N° puntos | Nomenclatura | Nombre de los puntos | Laguna Interna | Coordenadas |
|-------------------|-----------|--------------|----------------------|----------------|---------------------------------|
| 02 Agosto | 1 | PNLT 02 | Caño Tuy | El Guapo | N: 10°18'01.1" W:65°52'55.1" |
| | 2 | PNLT 03 | Guapo | El Guapo | N: 10°17'50.0" W:65°54'18.0" |
| | 3 | PNLT 04 | Caño Madre Casaña | El Guapo | N: 10°17'08.0" W:65°54'45.0" |
| | 4 | PNLT 05 | Caño el Mono | El Placer | N: 10°16'47.0" W:65°52'40.0" |
| | 5 | PNLT 06 | El Placer | El Placer | N: 10°16'46.0" W:65°52'21.0" |
| 03 Agosto | 6 | PNLT 07 | Las Lapas | El Placer | N: 10°15'33.0" W:65°52'34.0" |
| | 7 | PNLT 08 | Caño Pirital | El Placer | N: 10°15'20.0" W:65°51'43.0" |
| | 8 | PNLT 09 | Carambola | El Placer | N: 10°14'56.0" W:65°51'04.0" |
| | 9 | PNLT 10 | Caño San Nicolás | Laguna Grande | N: 10°13'38.0" W:65°49'10.0" |
| | 10 | PNLT 11 | Caño San Ignacio | Laguna Grande | N: 10°13'28.0" W:65°48'12.0" |
| | 11 | PNLT 12 | Laguna Grande | Laguna Grande | N: 10°13'50.0" W:65°48'40.0" |
| | 12 | PNLT 13 | Manatí | Laguna Grande | N: 10°14'21.0" W:65°47'24.0" |
| | 13 | PNLT 14 | Marapatá | El Cazote | N: 10°13'06.0" W:65°43'34.0" |
| | 14 | PNLT 16 | Club Miami | Laguna Arena | N: 10°16'21.0" W:65°49'32.0" |
| | 15 | PNLT 18 | Túnel del Amor | Laguna Arena | N: 10°16'55.0" W:65°51'14.0" |
| | 16 | PNLT 19 | La Boca | La Boca | N: 10°18'06.0" W:65°52'30.0" |

4.3. Etapa de laboratorio

Esta etapa corresponde al tratamiento físico de las muestras, en la cual los sedimentos fueron homogeneizados y separados en dos fracciones granulométricas utilizando la técnica de tamizado en húmedo, obteniendo así una fracción con un tamaño de grano menor a 63 μm y otra mayor a 63 μm . Posteriormente, se utilizó la fracción menor a 63 μm (fracción limo-arcilla) para la determinación del carbono (C), nitrógeno (N) y azufre (S), atendiendo a las diferentes técnicas analíticas y métodos desarrollados en la literatura asociada con esta área del conocimiento.

4.3.1. Carbono total (CT)

El porcentaje de carbono total en las muestras, fue determinado mediante el uso de un equipo analizador marca LECO (modelo C-144), cuyo fundamento principal es el método de combustión seca. Para ello, se colocaron cerca de 200 mg de muestra pulverizada en un crisol de porcelana, seguidamente se le agregó aproximadamente 200 mg de trióxido de tungsteno (WO_3), el cual actúa como un catalizador que permite acelerar la combustión. Esta mezcla se introdujo en el horno a una temperatura de 1500°C, presión de gas 40 psi y una corriente de 19 amp. Esto provocó la oxidación de carbono a dióxido de carbono (CO_2), que fue detectado en una celda infrarroja. Este detector mide la absorción correspondiente a la vibración de “stretching” o estiramiento del doble enlace C=O, mientras que el sistema computarizado convierte el resultado de la absorción en porcentaje de carbono total (CT) presente en la muestra ^[31].

4.3.2. Carbono orgánico (CO)

La concentración de carbono orgánico se determinó empleando el equipo analizador marca LECO (modelo C-144), cuyo fundamento principal es el método de combustión seca. Para ello las muestras fueron previamente tratadas con ácido clorhídrico (HCl) 1M, para eliminar los carbonatos presentes, se lavó con suficiente agua destilada para eliminar los cloruros y así evitar posibles interferencias en el equipo LECO. Una vez

secas, las muestras se pesaron y pulverizaron. Seguidamente se colocaron 150 mg en los crisoles de porcelana junto con aproximadamente 150 mg de trióxido de tungsteno, para acelerar la combustión. La absorción detectada por el analizador elemental, corresponde a la concentración de carbono orgánico presente en la muestra tratada con ácido clorhídrico; por lo tanto, para obtener el porcentaje de carbono orgánico en la muestra se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Corg} = \frac{\% \text{ CO (muestra tratada HCl)} * \text{gramos muestra tratada HCl}}{\text{Muestra (gramos iniciales)}} \quad [4]$$

4.3.3. Carbono inorgánico (CI)

El carbono inorgánico se determinó por la diferencia entre las concentraciones de carbono total y carbono orgánico, según la siguiente relación:

$$\text{Carbono total} = \text{Carbono orgánico} + \text{Carbono inorgánico} \quad [5]$$

$$\text{Carbono inorgánico} = \text{Carbono total} - \text{Carbono orgánico} \quad [6]$$

4.3.4. Nitrógeno total (NT)

Para la determinación de nitrógeno total (NT) se empleó el método de Kjeldahl, modificado por Jackson (1976), basado en la conversión de nitrógeno a sulfato de amonio. Este método se puede dividir en tres etapas: 1) digestión de la muestra; 2) destilación y 3) titulación ^[37].

La digestión de la muestra ^[37] consistió en agregar 0,2 g en los tubos Kjeldahl, luego se pulverizaron varias pastillas del catalizador Kjeldahl (sulfato de potasio y sulfato de cobre II) de la cual se tomaron 2 g y se agregaron a cada uno de los tubos digestores. Seguidamente, se añadió 3 mL de ácido sulfúrico concentrado junto con 2 perlas de ebullición. Posteriormente, los tubos de digestión se colocaron con la trampa para humos en el bloque para digestión marca *TECATOR digestion system 40*, ubicado en una campana de extracción. Se realizó el calentamiento con la siguiente rampa de

temperatura: Paso 1 – 90°C-30 min; Paso 2 – 180°C-30 min; Paso 3 – 270°C-30 min; Paso 4 – 360°C-90 min., con una duración de 5h aproximadamente. Al transcurrir este tiempo, los tubos se dejan a temperatura ambiente hasta enfriar. Finalmente las muestras se diluyeron con agua destilada y se filtraron.

Por su parte, el proceso de destilación ^[37] se llevó a cabo en un equipo *Kjeltec system 1002 distilling unit-TECATOR*. Durante este proceso el amoníaco es liberado de la solución por destilación de vapor, en presencia de exceso de álcali (NaOH 40%). Seguidamente, se tomó la solución filtrada obtenida en la etapa de digestión y se colocó en el tubo Kjeldahl para la destilación. Posteriormente, se ensambló el aparato de destilación conectando el matraz con el tubo de destilación, acoplado un embudo y un beacker, éste último contenía 10 mL de ácido bórico al 2% y cinco gotas de indicador mixto constituido por rojo de metilo y azul de metileno en una relación 2:1. Una vez realizado el montaje para la destilación, se cerró la llave del embudo, se agregó 13 mL de hidróxido de sodio y se colocó debajo del matraz de destilación, donde el hidróxido de sodio se dejó caer gota a gota. La destilación terminó cuando la coloración de la solución contenida en el beacker cambió de incolora a azul.

Finalmente, se realizó la titulación ácido-base ^[37] la cual se llevó a cabo empleando ácido clorhídrico estandarizado 0,01 M, donde el ión borato es neutralizado con los protones del medio, formándose ácido bórico y cloruro de amonio. Mediante esta titulación se determinó la concentración de nitrógeno en la muestra directamente a partir de la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{(V \text{ HCl muestra} - V \text{ HCl blanco}) * N \text{ HCl} * 14}{\text{Masa de muestra (mg)}} \times 100 \quad [7]$$

Donde:

V: volumen de ácido consumido en la valoración

N: concentración del ácido clorhídrico

14: peso molecular del nitrógeno

4.3.5. Azufre total (ST)

La determinación del porcentaje de azufre total se llevó a cabo en un analizador LECO SC-432. Para ello, se agregó en una navecilla de porcelana alrededor de 0,180 g de la muestra, la cual se introdujo en el horno del analizador a una temperatura de 1350°C. Como catalizador de la reacción se agregó trióxido de tungsteno (WO_3). Para llevar a cabo el proceso de combustión, se pasa una corriente de oxígeno sobre la muestra y el dióxido de azufre (SO_2) generado pasa por una serie de sólidos en los que se produce la absorción de agua y de sólidos suspendidos. El SO_2 que sale es llevado a un detector de infrarrojo que mide la absorción correspondiente a la vibración de “stretching” o estiramiento del doble enlace S=O. Un procesador convierte la señal en forma digital y el resultado directo es el porcentaje de azufre (%S) para la muestra en particular ^[31].

4.3.6. Precisión de los análisis

El análisis se realizó por triplicado a muestras aleatorias de los sedimentos, para cada elemento, para así evaluar la precisión analítica de los resultados a través del cálculo del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de las muestras. De igual manera, se empleó un estándar de referencia para cada uno de los elementos estudiados, excepto para el ST. En el caso del carbono, el estándar usado se denomina GBW 07-309 y para nitrógeno, NIST LECO 502-309 (apéndice 9.4, Tabla 8).

5.- PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos de los análisis químicos realizados sobre la fracción limo-arcilla de los sedimentos de fondo del Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNLT). No obstante, antes de su discusión es presentada la precisión de las determinaciones realizadas. Seguidamente se expresan las concentraciones de carbono orgánico (CO), carbono inorgánico (CI) y carbono total (CT); posteriormente las concentraciones de nitrógeno total (NT) y azufre total (ST), y finalmente las correlaciones entre ellas. De este modo será establecida la variabilidad espacial de dichos elementos a lo largo de la laguna, así como su distribución temporal correspondiente a tres periodos de muestreo: marzo de 2010, marzo de 2011 y agosto de 2011.

5.1. Precisión de los análisis

En la tabla 10 del apéndice se observa la reproducibilidad de los métodos empleados para el análisis de cada uno de los elementos, evaluada a través de la desviación estándar así como del coeficiente de varianza, obteniendo valores menores al 10%, lo cual revela la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados y métodos empleados.

5.2. Carbono orgánico (CO)

Para carbono orgánico las concentraciones variaron entre 1,26% y 8,88% con un promedio de 3,55% para el periodo marzo de 2010; de 1,10% y 9,75% con un promedio de 4,08% para marzo de 2011; finalmente de 0,88% y 8,53% con un promedio de 3,61%, para agosto de 2011 (Tablas 5, 6 y 7 del apéndice).

El CO corresponde aproximadamente al 50% de la materia orgánica (MO) por lo tanto es la especie química más representativa de la MO. Los valores más bajos de CO (1-3%), se encontraron hacia la zona occidental de la laguna, salvo Caño El Mono con valores de 4-7% y Caño Pirital de 3-9%, como se observa en la figura 7.

Las bajas concentraciones de CO hacia la zona occidental de la laguna, pueden ser debido a la mezcla continua de agua que ocurre en esta zona por la entrada de caños de agua dulce como el Madre Casañas, El Mono y Pirital, Las Lapas así como la entrada de agua salada proveniente del mar, a través de La Boca; lo que permite una mayor oxigenación y por lo tanto una menor preservación de la MO.

Con respecto a los caños El Mono y Pirital, el aumento en la concentración de CO es probablemente una consecuencia de las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en estas zonas, relacionadas con el uso de fertilizantes, abonos y desechos del mantenimiento del ganado porcino, que contienen compuestos orgánicos, así como de los desechos orgánicos generados.



Figura 7. Distribución espacial de las concentraciones de CO en las muestras de sedimentos del PNLT

Por otra parte, hacia la zona oriental de la laguna, los valores aumentan entre 4-10%, esta elevada concentración de carbono orgánico (CO) se debe probablemente a que existe una alta proporción de materia orgánica en el suelo de los manglares, así como en los microorganismos que habitan en éstos, y que por encontrarse en un ambiente sedimentario caracterizado por tener baja energía y baja concentración de oxígeno, inhibe la oxidación de la materia orgánica, permitiendo así su acumulación, preservación y posterior sedimentación; además que en esta zona hay pocos aportes de agua como ocurre en la zona occidental ^[27,36].

Las concentraciones de CO en la zona del Caño San Ignacio son más bajas, alrededor de 1%, debido probablemente a la existencia de un aporte directo de agua dulce, aumentando la energía hidrodinámica del sistema y por ende su concentración de oxígeno, lo cual inhibe la preservación de la MO, obteniéndose valores bajos.

En cuanto a los valores de CO en el mes de marzo de 2010, correspondiente al periodo de sequía, se observan elevadas concentraciones, que puede atribuirse a la mayor evaporación que se presenta ocasionando la precipitación de los sólidos disueltos; así como también los escasos patrones de circulación por la disminución de los aportes de agua provenientes de caños y afluentes que drenan a la laguna, disminuyendo la cantidad de oxígeno en el medio, lo que permite mayor preservación de la MO.

En los caños Tuy, El Mono y Pirital, y en las zonas Las Lapas y Marapatá se observa mayores concentraciones de CO para el periodo de marzo y agosto de 2011 correspondiente al periodo de lluvia. Es necesario resaltar que pese a que el mes de marzo corresponde a periodo de sequía, en el año 2011 a causa de un evento climático denominado La Niña, se extendieron las lluvias desde el año 2010, por lo cual marzo y agosto de 2011 se caracterizaron por presentar precipitaciones atmosféricas húmedas de cierta importancia.

En la zona de Caño Tuy, los valores de concentración obtenidos probablemente se originen a partir de la contribución de aguas servidas provenientes del pueblo de Tacarigua de la Laguna, que al aumentar las precipitaciones aumenta el transporte de los sedimentos hacia la laguna. Por otro lado, en los caños El Mono, Pirital y en la zona de Las Lapas, se llevan a cabo actividades tanto agrícolas como de cría de ganado porcino, donde son usados compuestos químicos que pueden aportar a la laguna una cantidad importante de sedimentos con material orgánico, bien sea disuelto, suspendido o a lo largo del fondo del cauce.

Asimismo, en periodo de lluvia aumentan las aguas de escorrentía que drenan a la laguna y transportan sedimentos de las zonas y vegetación adyacentes, lo cual aumenta la concentración de CO en la zona de Marapatá.

La materia orgánica, en este caso la concentración de carbono orgánico en una región estuarina, puede acumularse en los sedimentos por factores biológicos tales como la productividad primaria del ecosistema y la cercanía de las masas terrestres; así como también por factores físicos, como el transporte de la materia orgánica a los sitios de deposición, bien sea por descarga de aguas residuales domésticas e industriales, o material de origen terrestre; la tasa de sedimentación y, el tamaño de las partículas de sedimentos ^[28,35].

Los resultados obtenidos en esta investigación se pueden comparar con los obtenidos por Bonilla y Cedeño (1989) en los sedimentos superficiales de la Laguna de Tacarigua, donde las concentraciones de CO oscilaron entre 2,55% y 13,02% con un promedio de 6,70%; así como también con resultados en lagunas costeras a nivel mundial, tal es el caso de Calva et al. (2006) en los sedimentos del Sistema Costero Lagunar Chantuto-Panzacola, en México, en el cual se reportaron concentraciones de CO entre 0,16% y 12,88%, con un promedio de 3,95%. Estas concentraciones se atribuyen a varias fuentes, como es la abundancia de vegetación lagunar, influencia pluvial y descargas fluviales ^[4,35].

5.3. Carbono inorgánico (CI)

Las concentraciones de CI fueron determinadas por la diferencia entre el CT y el CO, obteniéndose como resultado para el mes de marzo de 2010 valores que oscilaron entre 0,11% y 1,34% con un promedio de 0,49%; mientras que para marzo de 2011 fue de 0,05% y 2,31% con un promedio de 0,62%; seguidamente para agosto de 2011 los valores de CI oscilaron entre 0,09% y 1,99% con un promedio de 0,77% (Tablas 5, 6 y 7 del apéndice).

De igual manera que en el caso de CO, se observa en la figura 8 que los valores más bajos entre 0,10-0,40% están espacialmente ubicados hacia la zona occidental de la laguna, probablemente debido a la mezcla de agua, por la entrada de agua dulce a través de caños así como la entrada de agua de mar a través de La Boca, que produce un efecto de disminución de los carbonatos en los sedimentos, debido al cambio en las condiciones del medio. Asimismo, debido al aumento de energía en esta zona puede transportar el material carbonatado hacia las zonas de más baja energía. En los caños El Mono y Pirital, la concentración fue mayor, aproximadamente 1% y 2% respectivamente ^[28].

Asimismo, para la zona oriental de la laguna fueron detectadas altas concentraciones de CI, cuyos valores están entre 0,40-2,00%, probablemente debido a la adherencia de las conchas a las raíces de los manglares presentes en esta zona de la laguna, y la posterior alteración física de sus caparzones y restos esqueléticos que están formados principalmente por carbonatos, aportando la entrada de CI al sedimento.



Figura 8. Distribución espacial de las concentraciones de Cl en las muestras de sedimentos del PNLT

Los mayores valores de concentración de Cl fueron obtenidos en época de sequía, correspondiente al mes de marzo de 2010. La probable razón de este comportamiento, es la alta tasa de evaporación en este periodo, lo cual conduce a la precipitación de los carbonatos en solución en estas zonas. Salvo los caños Tuy, El Mono, Pirital y las zonas de Manatí, Marapatá y Túnel del Amor donde se observaron valores elevados de Cl en período de lluvia, correspondiente al mes de marzo y agosto de 2011. Es necesario recordar que el mes de marzo se caracteriza por ser periodo de sequía, pero en el año 2011 se produjo el efecto climático de La Niña lo cual produjo lluvias en este mes, aumentando el aporte de sedimentos por parte de caños y afluentes hacia la laguna.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las altas concentraciones de CI (0,4-2%) observadas en periodo de lluvia para los caños Tuy, El Mono y Pirital, pueden ser debido a que esta zona se encuentra influenciada por la entrada de sedimentos marinos a través de La Boca. Estos sedimentos pueden contener restos de conchas y esqueletos carbonatados que con el aumento de la energía del sistema, pueden romperse y formar parte del sedimento; asimismo, este aumento en las corrientes en la laguna, puede transportar el material carbonático; también puede resaltarse que estas concentraciones pueden asociarse a la presencia de compuestos producidos por microorganismos del fito y zooplancton para sus esqueletos, siendo esto una fuente autóctona de carbonatos en sedimentos. Mientras que para las zonas de Manatí, Marapatá y Túnel del Amor, los valores altos pueden atribuirse a la presencia de las conchas unidas a las raíces de los manglares, que con el aporte fluvial son desprendidas y quizás puedan romperse para formar parte del sedimento presente en estas zonas. En estos 6 puntos de muestreo, se observa que el aumento de lluvias conduce a un aumento en las corrientes de la laguna y por lo tanto pueden ser transportados materiales carbonáticos producto del rompimiento de las conchas en las zonas de más energía ^[28].

Los valores altos de carbono inorgánico están favorecidos por las condiciones de un sistema con alta concentración de oxígeno disuelto, una temperatura alrededor de los 30°C y pH alcalino, por tal razón, las concentraciones de CI encontradas en la Laguna de Tacarigua son bajas comparadas con las reportadas por Martínez (2009) en los sedimentos superficiales de la región marino-costera de la Península de Paria, cuyos valores que oscilan entre 0% y 6,06%, por presentar zonas con elevada concentración de oxígeno ^[27,28].

En relación a las concentraciones de CI obtenidas en esta investigación, se pueden comparar con las obtenidas por González (2009) ^[27] en los sedimentos de fondo en el Golfete de Cuare, cuyos valores oscilaron entre 0,48-3,32%, este autor atribuye estos

resultados a la presencia de restos de partículas de conchas de organismos bentónicos depositados en ese ambiente, indicando además que las altas concentraciones están favorecidas por mayor concentración de oxígeno disuelto.

5.4. Carbono total (CT)

La concentración de carbono total (CT) viene dada tanto por la contribución de la parte orgánica como de la inorgánica. La distribución de la concentración de carbono total en la Laguna de Tacarigua para el periodo correspondiente a marzo de 2010, osciló entre 1,37% y 10,23% con un promedio de 4,04%; mientras que para el periodo marzo de 2011, dicho porcentaje osciló entre 1,26% y 11,08%, con un promedio de 4,70%; y finalmente para el periodo agosto de 2011, osciló entre 1,09% y 9,37%, con un promedio de 4,36% (Tablas 5, 6 y 7 del apéndice).

En la figura 9 se observan las concentraciones de CT para cada uno de los puntos de muestreo en los tres periodos. En la misma puede observarse que en la zona occidental de la laguna se encuentran los valores más bajos, oscilan entre 1-3%, lo cual puede atribuirse a la energía hidrodinámica de esta zona, que probablemente sea alta, debido al aporte de agua a través de caños como Madre Casañas, Pirital, Las Lapas y el sector La Boca, lo que puede deberse a una mayor cantidad de oxígeno en el medio que propicia la oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, se observan dos puntos con concentraciones de CT más elevadas en el Caño El Mono y Caño Pirital, con valores entre 5-9% y 3-11%, respectivamente. Estos valores probablemente sean consecuencia de que en estas zonas se desarrollan actividades agrícolas y cría de ganado porcino, donde es común el uso de fertilizantes, plaguicidas, abonos y desechos de animales que son transportados por estos caños que drenan hacia la laguna, los cuales poseen compuestos químicos caracterizados por poseer una cantidad importante de compuestos orgánicos.

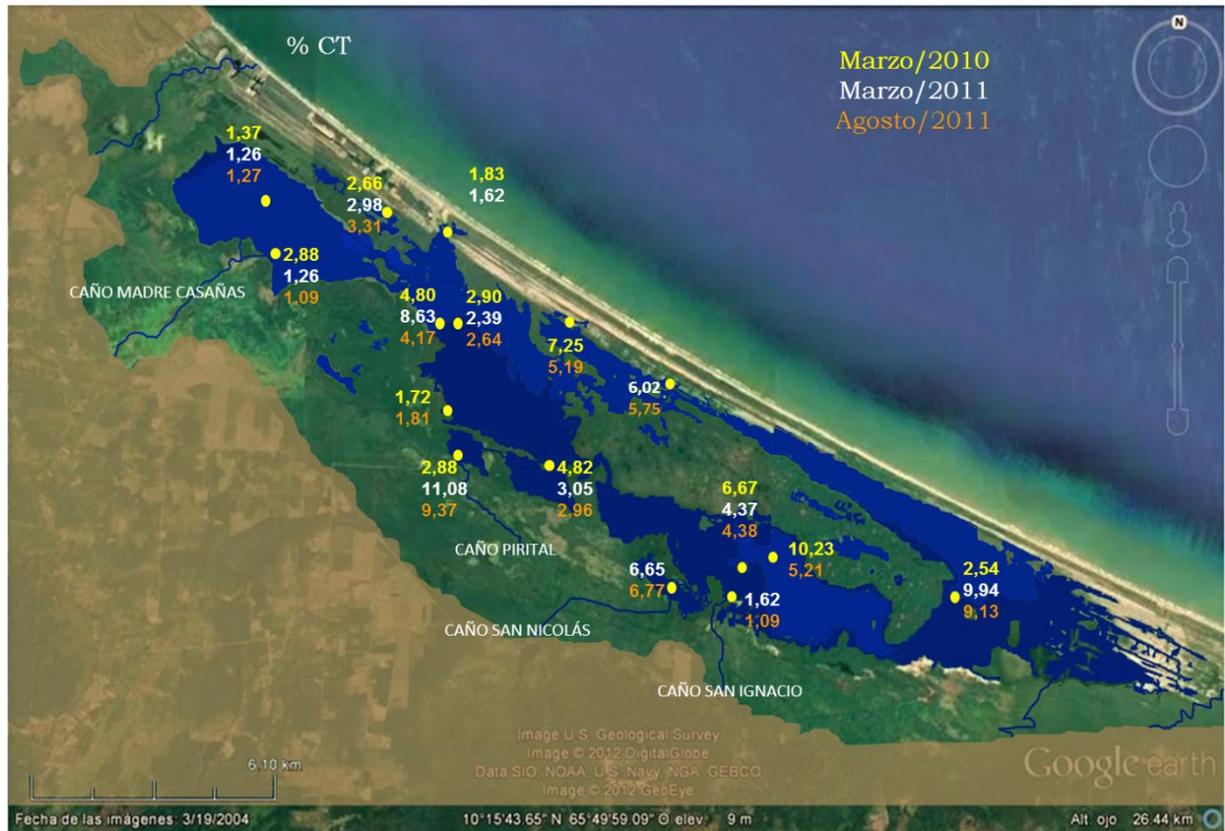


Figura 9. Distribución espacial de las concentraciones de CT en las muestras de sedimentos del PNLT

Hacia la zona oriental de la laguna, fueron detectados los valores más altos de CT, entre 4-10%, nótese en la figura 9 que los puntos Manatí y Marapatá presentan los valores máximos. Debe resaltarse que estos puntos de muestreo se encuentran asociados a zonas rodeadas de manglares, que aportan materia orgánica, cuyo comportamiento es similar al de CO. Es por ello que en la figura 10 se observa la buena correlación que existe entre el CO y CT, evidenciando el control del CO sobre el CT para todos los períodos de muestreo.

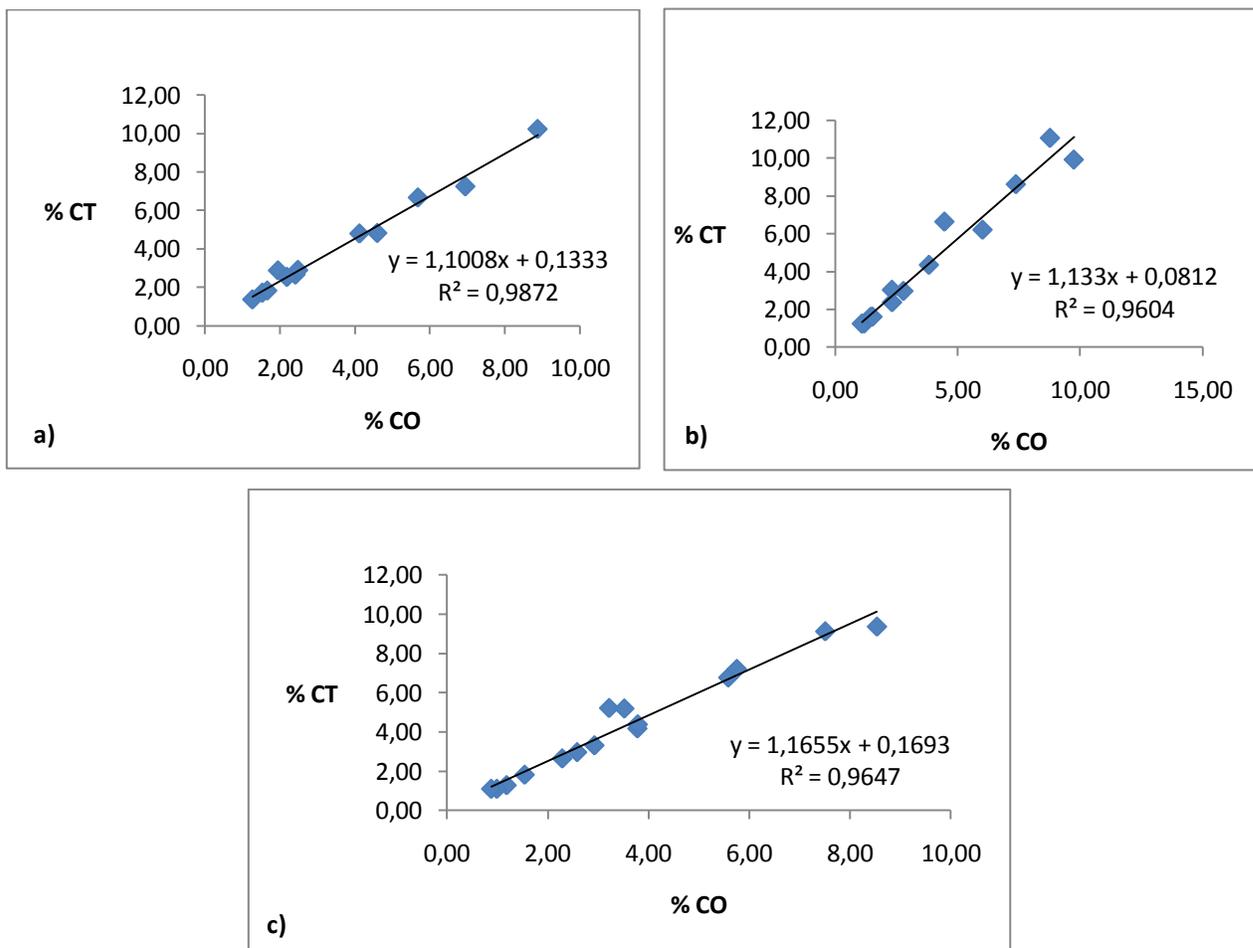


Figura 10. Correlación entre la concentración de CT y CO en las muestras de sedimentos del PNLT. a) CO frente a CT marzo-2010; b) CO frente a CT marzo-2011; y c) CO frente a CT agosto-2011

Puesto que el CT está conformado por carbono orgánico e inorgánico, y en estas muestras de sedimentos se observa la mayor proporción de CO, puede señalarse que existen tres fuentes principales para este elemento, a saber: el fitoplancton y zooplancton, los manglares y los aportes antrópicos, dentro de los cuales se encuentran los desechos domésticos, agropecuarios e industriales. Esta zona oriental se caracteriza por ser poco influenciada por actividades antrópicas y por estar dominada por bosques de manglar, lo que limita a que sea ésta probablemente la principal fuente

de las altas concentraciones de CT. No obstante, el punto correspondiente al Caño San Ignacio presenta una concentración de CT más baja (2%), que podría estar asociada a la entrada de agua dulce por este caño, aumentando la energía hidrodinámica y la concentración de oxígeno en esta zona, lo que puede atribuirse a la menor preservación de la materia orgánica.

Por otra parte, la concentración de CT fue mayor en la época de sequía que corresponde al mes de marzo de 2010, comparado con el mes de marzo de 2011 y agosto de 2011, periodos caracterizados por la presencia de lluvias. Es necesario señalar que marzo corresponde a periodo de sequía; sin embargo, en el año 2011 debido a un efecto climático hubo precipitaciones en este mes. Con respecto a lo antes mencionado, la diferencia en cuanto a las concentraciones de CT para el año 2010 y el 2011 puede ser debida a que en época de sequía la tasa de evaporación es más alta y el material en solución puede sedimentarse, aunado a que los patrones de circulación son escasos, lo que inhibe la cantidad de oxígeno en el medio, lo cual permite preservar la materia orgánica.

Es importante señalar que en Caño Tuy, Caño El Mono, Las Lapas, Caño Pirital y Marapatá se presentaron las mayores concentraciones de CT en época de lluvia (marzo de 2011 y agosto de 2011). Con respecto a la alta concentración detectada en el Caño Tuy, este valor podría deberse a que este caño es uno de los mayores contribuyentes al sistema lagunar de aguas servidas, provenientes del pueblo de Tacarigua de la Laguna, donde en periodo de lluvia, aumenta la cantidad y velocidad de transporte de sedimentos hacia la laguna. En el caso de Caño El Mono, Las Lapas y Caño Pirital, caracterizados por ser zonas donde se llevan a cabo actividades agrícolas y cría de ganado porcino, al presentarse las lluvias, aumentan el transporte hacia la laguna del material proveniente de dichas actividades. Finalmente, en la localidad de Marapatá, sector que no posee aportes directos de agua dulce, el aumento de CT en época de lluvia puede atribuirse al incremento de las aguas de escorrentía que se filtran a la

laguna, transportando material orgánico en solución proveniente de las zonas adyacentes.

Cabe destacar que el mes de marzo de 2011 correspondiente al mes de sequía, se presentó el evento climático denominado La Niña, lo cual originó que el período de invierno se extendiera hasta el año 2011, creando una situación atípica en la Laguna, donde se observó no sólo un aumento en el nivel del agua, sino además la presencia de sólidos en suspensión y la mezcla entre corrientes de aguas por la comunicación directa de la Boca de la Laguna con el mar, lo cual no ocurre en épocas de sequía extrema, ya que la Boca se mantiene cerrada. Este fenómeno de alguna manera potenció el gran aporte de sedimentos hacia la laguna, de origen alóctono en el año 2011, comparado con el 2010 ^[7].

Los valores de CT obtenidos en esta investigación pueden compararse con los obtenidos por Martínez (2009) ^[28] en los sedimentos superficiales de la Península de Paria, la cual obtuvo valores que oscilaron entre 0,90-7,24% para la fracción limo y 0,65-5,99% para la fracción arcilla, atribuyendo las mayores concentraciones al fenómeno de surgencia costera con altos niveles de oxígeno disuelto y productividad primaria en el área.

5.5. Nitrógeno total (NT)

Las concentraciones de nitrógeno para las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Tacarigua, correspondientes a los tres periodos de muestreo, oscilaron entre 0,19% y 0,81% con un promedio de 0,38% para marzo de 2010; 0,15% y 0,73% con un promedio de 0,37% para marzo de 2011; finalmente 0,12% y 0,67% con un promedio de 0,39% para agosto de 2011 (Tablas 5, 6 y 7 del apéndice).

Las concentraciones de NT son mostradas en la figura 11, donde se observa que para la zona oriental de la laguna los valores de concentración están entre 0,5-0,8%, siendo

estos los valores más altos; mientras que, la zona occidental presenta concentraciones más bajas, con valores entre 0,1-0,5%.

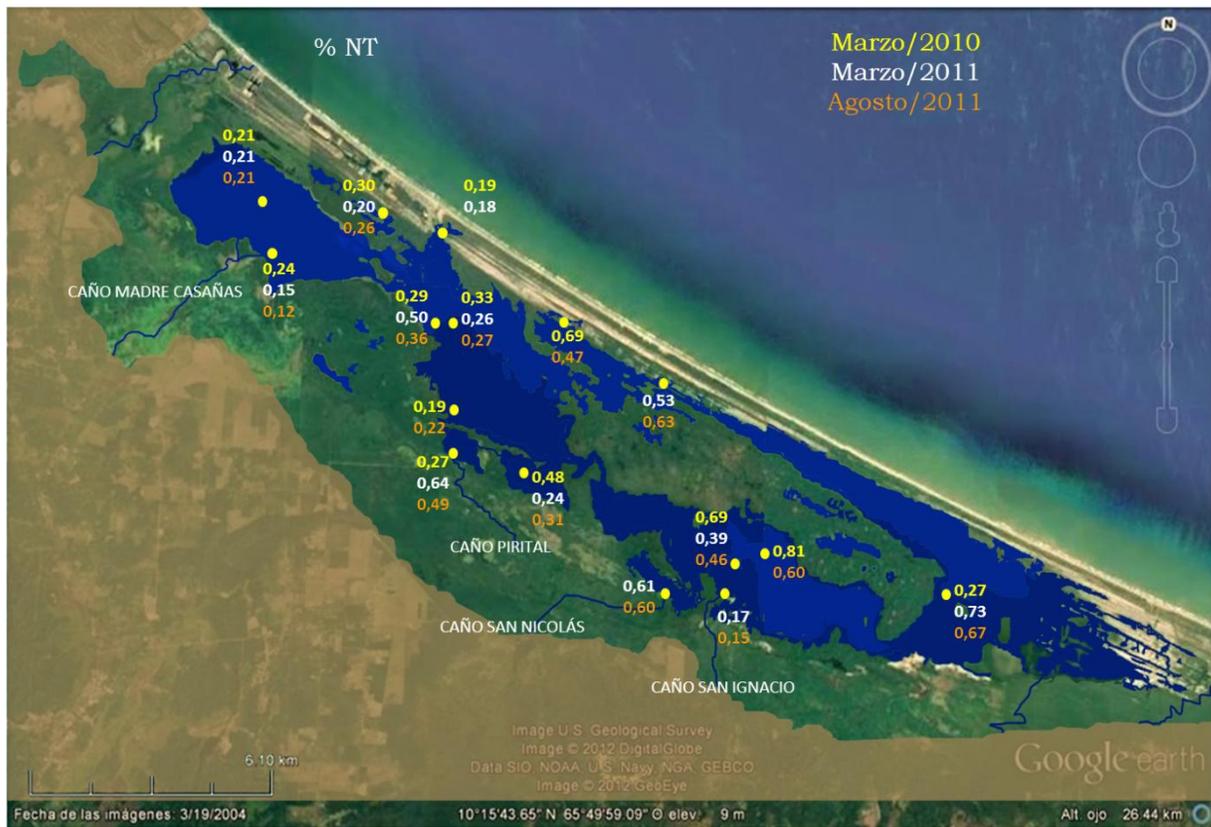


Figura 11. Distribución espacial de las concentraciones de NT en las muestras de sedimentos del PNLT

Estas diferencias espacialmente observadas, podrían estar asociadas a la energía hidrodinámica del sistema en la zona occidental de la laguna, la cual es mayor por el aporte de caños como Madre Casañas, siendo este el principal aporte de agua dulce al sistema lagunar; adicionalmente, existen otras entradas de agua como los caños El Mono y Pirital, además la comunicación con el mar por el sector La Boca. Esto puede deberse al aumento de la cantidad de oxígeno presente en el medio, lo que genera un ambiente oxidante, capaz de degradar más fácilmente la materia orgánica. Es

importante señalar que la MO es la principal fuente de nitrógeno, el cual es liberado por la acción de microorganismos que la descomponen; en ese sentido, al disminuir su acumulación, disminuye la concentración de nitrógeno. Este comportamiento no se observa en los caños El Mono y Pirital donde las concentraciones de NT estuvieron alrededor de 0,6%. El origen de esta especie podría ser atribuida a las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en estas zonas, donde el uso de fertilizantes que contienen compuestos nitrogenados es una práctica común en estas actividades.

Puesto que el nitrógeno puede ser tanto de origen autóctono, por la producción fitoplanctónica, como alóctono, por las escorrentías y aguas servidas, los asentamientos urbanos podrían incrementar la concentración de nitrógeno en el sistema por el aporte de aguas residuales domésticas, agropecuarias e industriales. Tales condiciones permiten señalar que las mayores concentraciones de nitrógeno pueden esperarse hacia la zona occidental de la laguna, ya que en este sector se encuentra ubicado el pueblo de Tacarigua de la Laguna; sin embargo, esto no fue lo observado puesto que esta zona presenta una alta energía hidrodinámica. Todo parece indicar que los manglares y las algas son la fuente primordial de nitrógeno en este ecosistema, ya que se observa que en la zona oriental de la laguna, caracterizada por la presencia de bosques de manglar, se obtuvieron las mayores concentraciones de nitrógeno, atribuyendo su posible fuente a esta vegetación adyacente.

Los valores de nitrógeno son más bajos comparados con los de carbono orgánico, puesto que el nitrógeno es más fácilmente degradado que el carbono, y sus concentraciones predominan en sedimentos ricos en carbono orgánico, como lo es ésta laguna costera. Nótese en la figura 12 que la relación entre el CO y el N es de 10 a 1, siendo la misma positiva para los tres periodos de muestreo. En el caso particular del mes de agosto de 2011 correspondiente al periodo de lluvia, se observa un aporte adicional de CO, correspondiente a la zona de Caño Pirital y Marapatá, lo cual probablemente sea por fuente antrópica^[28].

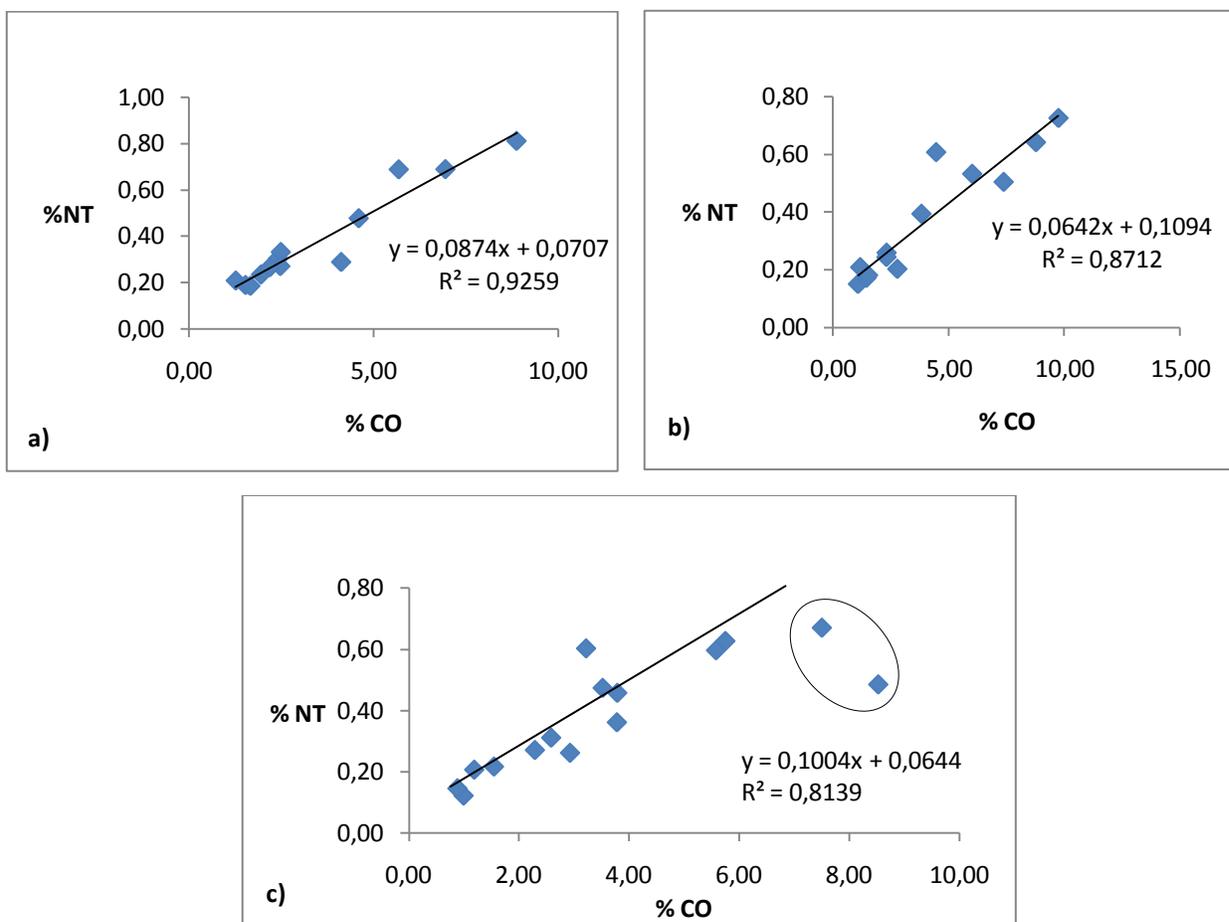


Figura 12. Correlación entre la concentración de CO y NT en las muestras de sedimentos del PNLT. a) CO frente a NT marzo-2010; b) CO frente a NT marzo-2011; y c) CO frente a NT agosto-2011.

Por su parte, las concentraciones de NT en el periodo de sequía correspondiente al mes de marzo de 2010, presentaron valores más altos comparados con el periodo de lluvia correspondiente a los meses de marzo y agosto de 2011; en el caso particular del mes de marzo de 2011, se presentaron lluvias por un efecto climático. Estos resultados pueden atribuirse a que el proceso de evaporación es mayor en el periodo de sequía y el material orgánico en solución puede precipitar, formando parte de los sedimentos;

aunado a los bajos patrones de circulación que se generaron en la laguna en este periodo, que puede deberse a una disminución de oxígeno en el sistema, inhibiendo de esta manera la preservación de la MO en la laguna.

Sin embargo, existen zonas en las cuales la concentración de NT fue mayor en periodo de lluvia, es decir, en los meses de marzo y agosto de 2011. En la época de lluvia se establece la importancia que tienen los aportes alóctonos de materia orgánica al ecosistema y que ingresan a éste principalmente, a través de los afluentes y ríos. Del mismo modo, los aportes fluviales son importantes ya que además de transportar materiales orgánicos de origen terrestre, también incluyen el material aportado por aguas residuales domésticas e industriales. En esta investigación, las zonas con mayor concentración de NT en periodo de lluvia fueron Caño El Mono, Caño Pirital, Las Lapas y Marapatá. Para los caños El Mono, Pirital y el sector Las Lapas, el aumento es probablemente una consecuencia de las actividades agrícolas y de ganadería que se desarrollan en estas zonas, que con el aporte fluvial aumentan el transporte de sedimentos hacia la laguna. Asimismo, el aumento de NT observado en la zona de Marapatá probablemente sea por el flujo de las aguas de escorrentía que drenan a la laguna, transportando material en solución y en suspensión proveniente de la vegetación adyacente ^[38].

Estudios realizados en zonas costeras, han reportado valores de nitrógeno similares a los obtenidos en ésta investigación, tal es el caso de González (2009) ^[27] en los sedimentos de fondo del Golfete de Cuare con valores de NT de 0,07% y 0,39%, mientras que para Martínez (2009) ^[28] en sedimentos superficiales del Golfo y Península de Paria, los valores oscilaron entre 0,02% y 0,58%, relacionándolo con la concentración de carbono orgánico, lo que conlleva a deducir que ambos probablemente provienen de una misma fuente. De igual manera, para Bonilla y Cedeño (1989) ^[4] en los sedimentos superficiales de la Laguna de Tacarigua, las concentraciones de nitrógeno oscilaron entre 0,057% y 0,638%.

Del mismo modo, las concentraciones de NT observadas en esta investigación, pueden compararse con las obtenidos por Gao et al. (2012) ^[39] quienes estudiaron los sedimentos superficiales de la Bahía costera Bohai en China, donde las concentraciones de nitrógeno oscilaron entre 0,03% y 0,47%, evidenciando que su distribución espacial es similar a la de carbono orgánico y que la mayor concentración de materia orgánica está relacionada con la fracción limo-arcilla (<63 μ m).

5.6. Azufre total (ST)

Las concentraciones de azufre para las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Tacarigua variaron entre 0,58% y 6,37%, con un valor promedio de 3,28% para el periodo marzo de 2010; 0,94% y 15,54% con un promedio de 4,67% para marzo de 2011; y por último 0,13% y 12,13% con un promedio de 4,33% para el mes de agosto de 2011 (Tablas 5, 6 y 7 del apéndice).

En la figura 13 se muestran las concentraciones de ST para cada punto de muestreo, allí puede observarse que la distribución de este elemento en la laguna, no presenta un comportamiento que permita distinguir la zona oriental y occidental, como ocurre con la distribución de carbono y nitrógeno. De forma general en la laguna, los valores de ST oscilan entre 1-6%. No obstante, en la zona central de la laguna, en los sectores El Placer y Laguna Grande, específicamente en los puntos de muestreo correspondientes a Caño San Nicolás y Caño Pirital, se observan valores atípicos de ST, de 12% y 15% respectivamente, lo que indica una acumulación anormal de este elemento en estas zonas.

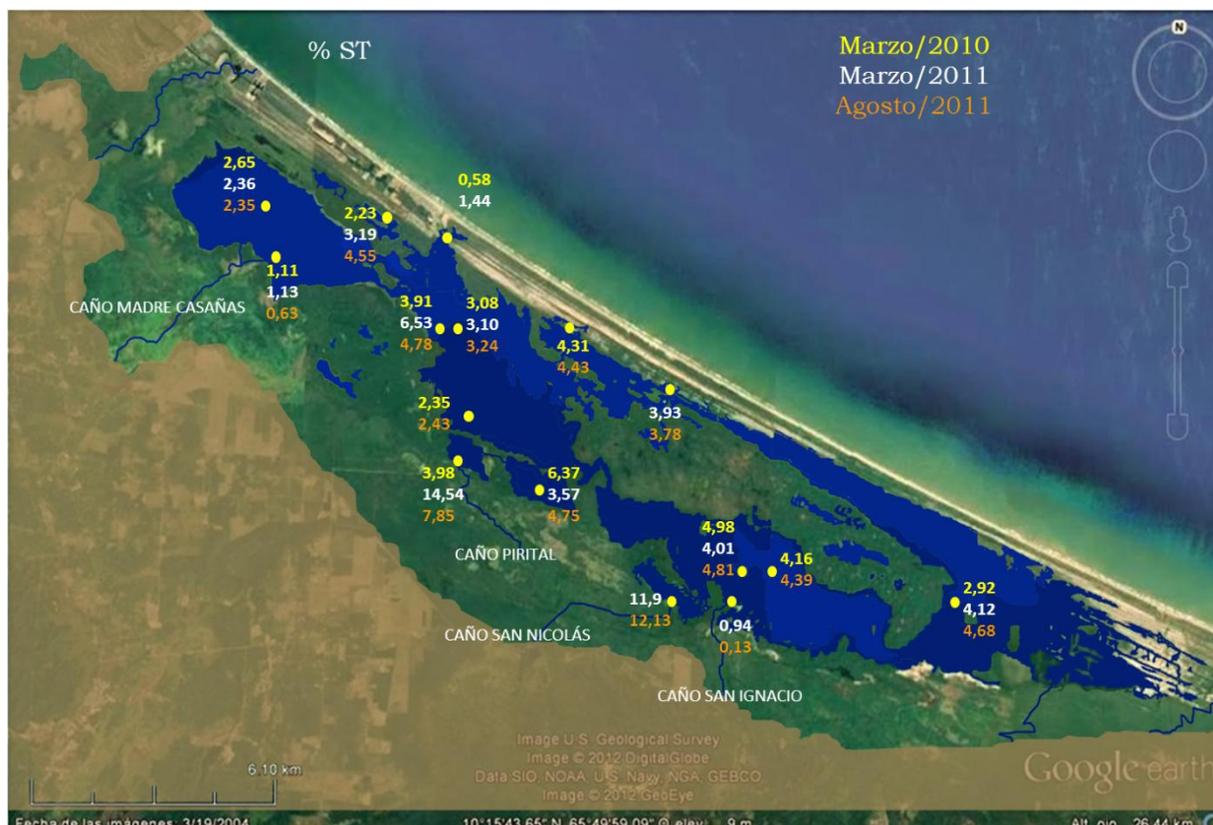
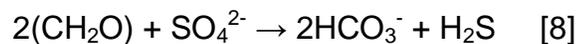


Figura 13. Distribución espacial de las concentraciones de ST en las muestras de sedimentos del PNLT

En cuanto al periodo de sequía correspondiente al mes de marzo de 2010, las concentraciones de ST fueron bajas en comparación con el periodo de lluvia correspondiente a los meses de marzo y agosto de 2011. Esta diferencia en los periodos de sequía y lluvia, podría deberse probablemente a que en el periodo de lluvia la contribución de agua que drena a la laguna por parte de los caños, afluentes, aguas de escorrentía y el sector La Boca que se comunica con el mar, es mucho mayor y puede ser rica en sulfatos, el cual es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia además de estar presente por residuos industriales. El sulfato en condiciones reductoras, reacciona y forma sulfuro [29].

En los sectores El Guapo, Carambola y Laguna Grande, se observaron los mayores valores de concentración de ST en el periodo de sequía, que corresponde a marzo de 2010. Esto se puede atribuir a que en periodo de sequía ocurre mayor evaporación en estas zonas, por lo que el sulfato disuelto en el agua precipita, aumentando el contenido de azufre en los sedimentos; así como también que en ambientes anóxicos, las bacterias tienen la capacidad de tomar el sulfato y reducirlo a sulfuro de hidrógeno, como se observa en la siguiente reacción:



Los compuestos de azufre orgánico son formados cuando el sulfuro de hidrógeno interactúa, favorablemente, con la materia orgánica para generar compuestos organosulfurados, donde la incorporación de azufre es significativa porque afecta la susceptibilidad de las moléculas orgánicas a la degradación bacteriana, y puede favorecer la preservación de la materia orgánica en el sedimento [29].

Las concentraciones de azufre obtenidas en esta investigación, pueden compararse con las obtenidas por Bonilla y González (1992) [40] en los sedimentos de la Laguna de Píritu, los cuales obtuvieron como valor promedio 6,42% y catalogaron el ecosistema como altamente reductor, lo que implica que la Laguna de Tacarigua puede considerarse como un sistema reductor.

5.7. Relación C/N

La relación entre la concentración de carbono orgánico y nitrógeno total a menudo actúa como un indicador de fuentes predominantes de materia orgánica en ecosistemas acuáticos, así como también es empleada para determinar la calidad de la MO. En esta investigación, los valores oscilaron entre 6,02 y 14,25, con un promedio de 9,05 correspondiente para marzo de 2010; 5,72 y 14,64, con un promedio de 10,75 para marzo de 2011; y para finalizar 5,34 y 17,57, con un promedio de 8,92 para agosto de 2011, tal como se observa en la figura 14. Esta relación varía a lo largo de la laguna,

observándose valores entre 5 y 11, a diferencia de puntos como Caño El Mono, Caño Pirital y Marapatá con relación entre 14 y 18 (Tabla 9 del apéndice).

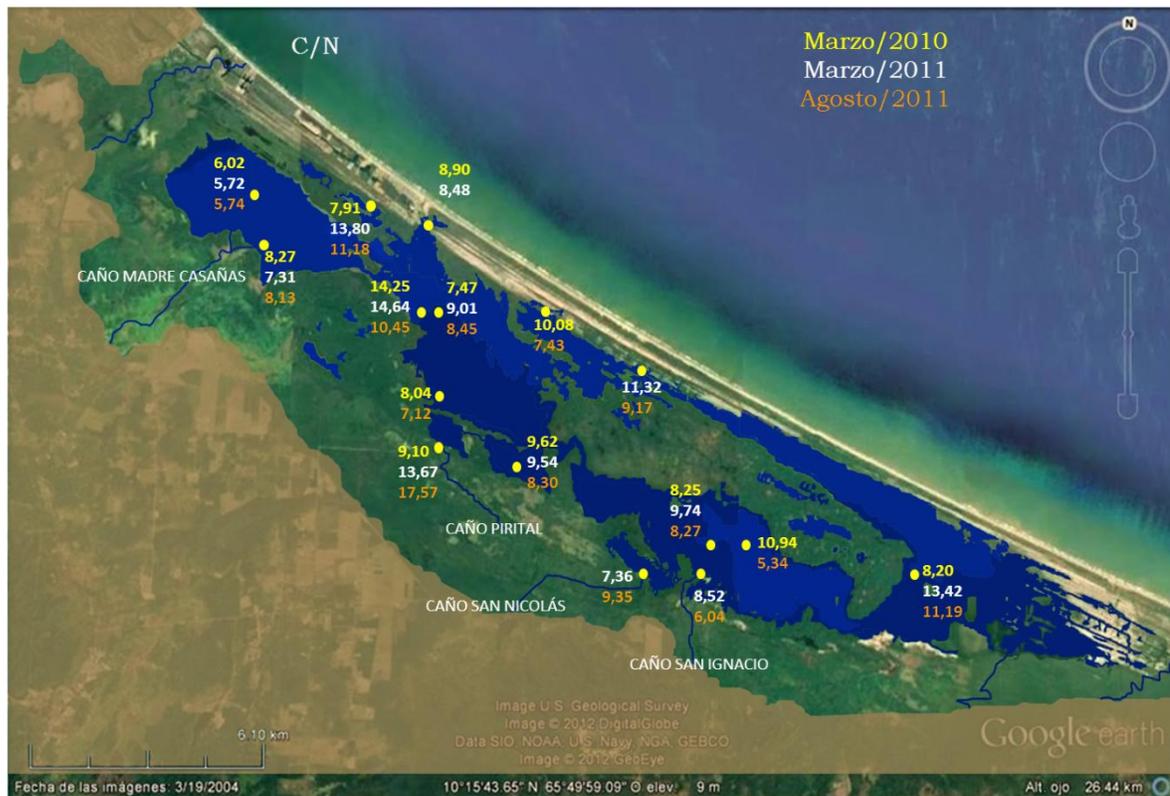


Figura 14. Distribución espacial de la relación C/N en las muestras de sedimentos del PNLT

La materia orgánica existente en el sedimento puede tener dos orígenes, procedente del fitoplancton (origen autóctono) y procedente de las plantas superiores (origen alóctono). Un valor elevado de la relación C/N se debe al aumento de la entrada de materia orgánica por parte de los manglares y su alta velocidad de sedimentación, en condiciones hidrodinámicas bajas [28,41].

Existen diferentes criterios para la relación C/N, por lo tanto no es adecuado hacer una interpretación rígida de estos intervalos. Usualmente, se han establecido valores de C/N por debajo de 10-12 para MO del fitoplancton, superior a 20 para MO de plantas

superiores y entre 10-20 para una mezcla de ambas. Mientras que, valores entre 11,8 y 33,3 son característicos de sedimentos carbonatados, en los cuales los compuestos nitrogenados no son preservados como materia particulada, lo que implica que la degradación de estos compuestos es acelerada ^[28,42].

En el caso de los sedimentos de la Laguna de Tacarigua, se obtiene un valor promedio de 9,61 lo que podría indicar que el origen de la materia orgánica proviene del fitoplancton, en gran medida algas, que se caracterizan por ser los productores primarios más importantes. Sin embargo, para Caño El Mono, Caño Pirital y Marapatá, con valores superiores a 11, principalmente en el periodo de lluvia correspondiente a los meses de marzo y agosto de 2011, el origen de la MO se puede atribuir a una mezcla del fitoplancton y de plantas superiores. En la figura 15 que relaciona la concentración de CO y la relación C/N, presenta la existencia de una correlación positiva; puede indicarse además de que la variación C/N está controlada por la concentración de carbono orgánico.

La relación C/N obtenida por Bonilla y Cedeño (1989) ^[4] para los sedimentos superficiales de la Laguna de Tacarigua tiene un valor promedio de 26,5, y está relacionado con la alta concentración de carbono orgánico. Por ser alta esta relación, indica la existencia de los procesos de descomposición, con una gran contribución orgánica de la influencia terrígena; mientras que para los sedimentos superficiales de la Península y Golfo de Paria, la relación promedio C/N obtenida por Martínez (2009) ^[28] fue 23,67 con un mínimo de 10,65 y un máximo de 67,78, lo que indica un origen autóctono de la materia orgánica en mayor proporción para la Península, por el contrario para el Golfo es una mezcla de MO de origen autóctono y alóctono. En cuanto a sistemas a nivel mundial, se encuentran los sedimentos superficiales de la Bahía costera Bohai obtenido por Gao et al (2012) ^[39] con una relación promedio de 21,3, un mínimo de 10,8 y un máximo de 42,6, atribuyendo el origen de MO a material terrestre.

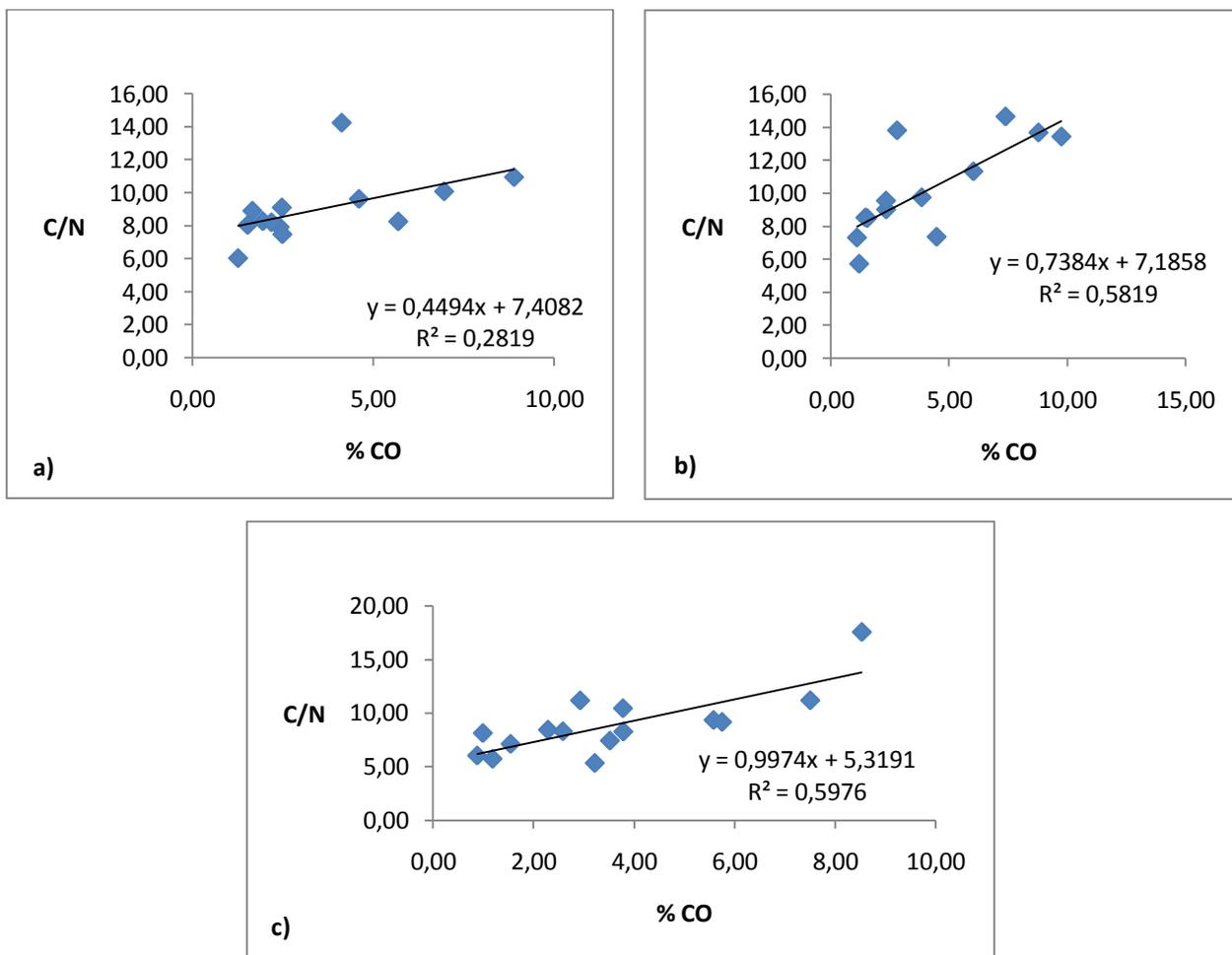


Figura 15. Correlación entre la concentración de CO y C/N en las muestras de sedimentos del PNLT. a) CO frente a C/N marzo-2010; b) CO frente a C/N marzo-2011; y c) CO frente a C/N agosto-2011

A partir de los resultados obtenidos, se logró estudiar la distribución espacial y temporal de los elementos C, N y S en los sedimentos de fondo de la Laguna de Tacarigua, así como su probable fuente de acuerdo a diversos factores como la dinámica del sistema lagunar, las actividades que se llevan a cabo en las zonas adyacentes y la relación C/N.

6.- CONCLUSIONES

- La zona occidental de la laguna se caracterizó por presentar los valores más bajos de C y N mientras que, la zona oriental presentó las concentraciones más altas de estos elementos. Este comportamiento se puede atribuir tanto a la dinámica propia del sistema lagunar como a las diversas actividades realizadas en la cuenca del río El Guapo.
- Las mayores concentraciones de CO (10%) probablemente se deba a la existencia de una alta proporción de materia orgánica asociada a los manglares, así como al desarrollo de actividades antrópicas realizadas en ciertas zonas adyacentes a la laguna.
- Las concentraciones de Cl obtenidas en este estudio, las cuales pueden estar asociadas a restos de conchas y esqueletos carbonatados, son bajas comparadas con las concentraciones obtenidas para CO, lo que evidencia el control del CO sobre el CT.
- Todo parece indicar que los manglares y las algas son la fuente primordial de N en este ecosistema, aunado a las actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en ciertas zonas adyacentes a la laguna, asociadas al uso de agroquímicos.
- Los valores de ST oscilaron entre 1-6%, a excepción de los puntos Caño San Nicolás (12%) y Caño Pirital (15%), que en periodo de lluvia, presentaron valores atípicos de ST, lo que indica una acumulación anormal de este elemento en estas zonas, probablemente debido a la formación de compuestos organo-sulfurados que favorecen la preservación de la materia orgánica en el sedimento.

- La relación promedio C/N fue 9,61; lo que podría indicar que el origen de la materia orgánica proviene probablemente del fitoplancton.

7.- RECOMENDACIONES

- Determinar la concentración de P en los sedimentos, a fin de establecer la relación existente entre el fósforo y la materia orgánica mediante la relación C/P e inferir el origen de la misma.
- Realizar la caracterización de la materia orgánica en los sedimentos de fondo de la Laguna de Tacarigua, para ampliar la información relacionada con los posibles compuestos orgánicos que constituyen dicha materia orgánica.
- Establecer la relación entre la materia orgánica y las concentraciones de metales presentes en la laguna, de manera de inferir si existe relación en cuanto a su posible acumulación.
- Realizar un estudio de los niveles de azufre en el sector El Placer y Laguna Grande, a fin de tratar de inferir el origen de los valores determinados en esta investigación.

8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Álvarez R., Mendoza L. y Vernet G. (2003). Factores de formación de las lagunas costeras del suroeste del caribe colombiano. Acta Científica Venezolana. Vol. 54. No. 3 Caracas.
- [2] Isava F. (1996). Caracterización de la comunidad bacteriana asociada a la interfase agua-sedimento, niveles de sedimentación y su importancia ecológica, en la Laguna de Tacarigua, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p. 150
- [3] Lentino M. y Bruni A. (1994). Humedales Costeros de Venezuela: Situación ambiental. Publicado por Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela. 1era. Edición. p. 76-79
- [4] Conde J. (1996). Un perfil de Laguna de Tacarigua, Venezuela: una laguna tropical estuarina costera. Venezuela. Interciencia Vol. 21. No.5. p. 282-292.
- [5] Arreola J. (2009). Propuestas de Manejo para tres Lagunas Costeras Prioritarias del Noroeste de México. Trabajo de investigación. Guaymas, Sonora. p.104
- [6] BirdLife International (2012). Important Bird Areas factsheet: Parque Nacional Laguna de Tacarigua. Extraído en mayo de 2012 desde: <http://www.birdlife.org>
- [7] Díaz S. (2012). Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p.147.
- [8] González J. (2012). Estudio de la abundancia de los elementos Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn en la fracción limo-arcilla (lodo) de los sedimentos de fondo de Laguna Grande, El Cazote y Laguna Arena del Complejo Lagunar Laguna

de Tacarigua, Edo. Miranda. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p.238.

[9] Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987). Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2da Edición. San José, Costa Rica. p. 45-113

[10] Sánchez O., Herzig M., Peters E., Márquez R. y Zambrano L. (2007). Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. 1era Edición. México. p. 294

[11] Nichols G. (2009). Sedimentology and Stratigraphy. Second Edition. Wiley-Blackwell. p. 90-205

[12] Méndez, J. (2006). Petrología- Ambientes sedimentarios. Caracas. PDVSA. INTEVEP. p. 225-269

[13] Tarbuck E., Lutgens F. y Tasa D. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física. Pearson Educación S.A. Madrid. p. 176-226

[14] Iriondo M. (2006). Introducción a la Geología. Editorial Brujas. 3era Edición. p. 73 – 77

[15] Rodríguez M. D., Rosa del Carmen. (2000). Aportaciones al conocimiento del estado medioambiental de hidrosistemas de interés internacional situados en Castilla – La Mancha. Ediciones de la Universidad de Castilla – La Mancha, Tesis Doctoral No. 105, p. 20

[16] Bernal G. y Betancur J. (1996). Sedimentología de lagunas costeras: Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales. Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR. Vol. 25. Santa Marta, Colombia. p. 49-76

[17] Valverde T., Meave J., Carabias J. y Cano-Santana, Z. (2005). Ecología y medio ambiente. 1era Edición. Pearson Educación. México. p. 240

- [18] Calixto R., Herrera L. y Hernández V. (2008). Ecología y medio ambiente. 2da Edición. Cengage Learning Editores, S.A. México. p.232
- [19] Brown T., Lemay H., Bursten B. y Burdge J. (2004). Química. La ciencia central. Pearson Educación, 9na. Edición. México. p. 702-733, 900.
- [20] Seoáñez M. (2000). Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos. Ingeniería del Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. p. 71-79
- [21] Imagen de Ciclo del Carbono: <http://sapp.uv.mx>
- [22] Harrison J. (2003). The Nitrogen Cycle of Microbes and Men. Vision learning. Vol. EAS-2. No. 4.
- [23] Imagen del Ciclo del Nitrógeno: <http://www.miliarium.com>
- [24] Cupery D. (2011). Historical Nitrogen Impacts to Narragansett Bay: A Sediment Core Analysis. Brown University. Center for Environmental Studies. Thesis
- [25] Imagen del Ciclo del Azufre: <http://www.100ciaquimica.net>
- [26] Barceló A., Lemus M. e Izaguirre E. (2008). Parámetros geoquímicos en sedimentos superficiales de la región marino-costera de Punta de Piedras, Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta. Boletín del Instituto de Oceanografía. Venezuela. Vol. 47. No. 1. p. 33-40
- [27] González F. (2009). Estudio geoquímico de los elementos C, N y P en los sedimentos de fondo, depositados en el Golfete de Cuare, Estado Falcón. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p. 94
- [28] Martínez M. (2009). Geoquímica de C, N y P en sedimentos superficiales de la región marino-costera al norte y sur de la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela.

Maestría en Ciencias marinas mención Oceanografía química. Universidad de Oriente.
p.131

[29] Romero L. (2009). Determinación de las especies de azufre en sedimentos Superficiales del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. p. 70

[30] Burbano A. (2011). Distribución espacial de carbono y nitrógeno en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p.71

[31] Nasser K. (2012). Estudio de la distribución de carbono, nitrógeno, fósforo y azufre en los sedimentos de fondo de la Cuenca del Río Tuy, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias. UCV. p.121

[32] Silva N. y Rojas N. (2003). Contenido de carbono orgánico, nitrógeno orgánico y diagénesis temprana en sedimentos superficiales de la zona de canales australes de Chile. Boca del Guafo (43°47'S) a Canal Pulluche (45°49'S). Escuela de ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile. Oceanográfica CIMAR No. 8. p.9

[33] Zhou J., Wu Y., Kang Q. y Zhang J. (2007). Spatial variations of carbon, nitrogen, phosphorous and sulfur in the salt marsh sediments of the Yangtze Estuary in China. Estuarine, Coastal and Shelf Science No. 71. p. 47-59.

[34] Montalvo J. (2006). Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Serie oceanológica No. 2. p.23-33

[35] Calva L., Pérez A. y Márquez A. (2006). Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-

Panzacola, Chiapas. Revista Científica de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Hidrobiológica. Vol. 16. No. 002. p. 127-136

[36] Calva L. y Torres R. (2011). Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del golfo de México. Uciencia Vol. 27. No. 2. p.133-144.

[37] Jackson M. (1976). Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S.A. España. p. 254-273

[38] Calva L. y Torres R. (2000). Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos de tres lagunas costeras del Golfo de México. Hidrobiológica Vol. 10. No. 2. p.101-114.

[39] Gao X., Yang Y. y Wang C. (2012). Geochemistry of organic carbon and nitrogen in surface sediments of coastal Bohai Bay inferred from their ratios and stable isotopic signatures. Marine Pollution Bulletin No. 64. p.1148-1155

[40] Bonilla & González. (1992). Algunos aspectos geoquímicos de los Sedimentos de la Laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela. Boletín del Instituto de Oceanografía Venezuela. Universidad de Oriente. Vol. 31. No. 1&2. p. 27-44

[41] De la Lanza G., Flores F., Pulido S. y Penié I. (2011). Concentration of nutrients and C:N:P ratios in Surface Sediments of a Tropical Coastal Lagoon complex affected by Agricultural runoff. Uciencia Vol. 27. No. 2. p.145-155

[42] Fuentes M. (2000). Nitrógeno, fósforo y cociente C/N en los sedimentos superficiales de la laguna de Chacopata, Sucre, Venezuela. Revista de Biología Tropical Vol. 48. No. 1. p.261-268

9.- APÉNDICE

Apéndice 9.1.

Tabla 5. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de marzo de 2010.

| Laguna Interna | Puntos | MARZO/2010 | | | | |
|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | % CT ± 0,02 | % CO ± 0,02 | % CI ± 0,02 | % ST ± 0,05 | % NT ± 0,01 |
| El Guapo | Caño Tuy | 2,66 | 2,41 | 0,25 | 2,23 | 0,30 |
| | Guapo | 1,37 | 1,26 | 0,11 | 2,65 | 0,21 |
| | Caño Madre Casañas | 2,88 | 1,95 | 0,94 | 1,11 | 0,24 |
| El Placer | Caño El Mono | 4,80 | 4,12 | 0,68 | 3,91 | 0,29 |
| | El Placer | 2,90 | 2,48 | 0,41 | 3,08 | 0,33 |
| | Las Lapas | 1,72 | 1,53 | 0,20 | 2,35 | 0,19 |
| | Caño Piritál | 2,88 | 2,47 | 0,41 | 3,98 | 0,27 |
| | Carambola | 4,82 | 4,60 | 0,23 | 6,37 | 0,48 |
| Laguna Grande | Laguna Grande | 6,67 | 5,68 | 0,98 | 4,98 | 0,69 |
| | Manatí | 10,23 | 8,88 | 1,34 | 4,16 | 0,81 |
| El Cazote | Marapatá | 2,54 | 2,18 | 0,36 | 2,92 | 0,27 |
| Laguna Arena | Túnel del Amor | 7,25 | 6,95 | 0,30 | 4,31 | 0,69 |
| La Boca | La Boca | 1,83 | 1,66 | 0,18 | 0,58 | 0,19 |

Apéndice 9.2.

Tabla 6. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de marzo de 2011.

| Laguna Interna | Puntos | MARZO/2011 | | | | |
|----------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | % CT ± 0,02 | % CO ± 0,02 | % CI ± 0,02 | % ST ± 0,05 | % NT ± 0,01 |
| El Guapo | Caño Tuy | 2,98 | 2,80 | 0,19 | 3,19 | 0,20 |
| | Guapo | 1,26 | 1,19 | 0,07 | 2,36 | 0,21 |
| | Caño Madre Casañas | 1,26 | 1,10 | 0,16 | 1,13 | 0,15 |
| El Placer | Caño El Mono | 8,63 | 6,66 | 1,25 | 6,53 | 0,50 |
| | El Placer | 2,39 | 2,34 | 0,05 | 3,1 | 0,26 |
| | Caño Pirital | 11,08 | 8,77 | 2,31 | 14,54 | 0,64 |
| | Carambola | 3,05 | 2,33 | 0,72 | 3,57 | 0,24 |
| Laguna Grande | Caño San Nicolás | 6,65 | 4,47 | 2,18 | 11,9 | 0,61 |
| | Caño San Ignacio | 1,62 | 1,46 | 0,16 | 0,94 | 0,17 |
| | Laguna Grande | 4,37 | 3,84 | 0,53 | 4,01 | 0,39 |
| El Cazote | Marapatá | 9,94 | 9,18 | 0,19 | 4,12 | 0,73 |
| Laguna Arena | Club Miami | 6,22 | 5,36 | 0,20 | 3,93 | 0,53 |
| La Boca | La Boca | 1,62 | 1,53 | 0,09 | 1,44 | 0,18 |

Apéndice 9.3.

Tabla 7. Concentración de CT, CO, CI, NT y ST en las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente al mes de agosto de 2011.

| Laguna Interna | Puntos | AGOSTO/2011 | | | | |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | % CT \pm 0,02 | % CO \pm 0,02 | % CI \pm 0,02 | % ST \pm 0,05 | % NT \pm 0,01 |
| El Guapo | Caño Tuy | 3,31 | 2,93 | 0,38 | 4,55 | 0,26 |
| | Guapo | 1,27 | 1,19 | 0,09 | 2,35 | 0,21 |
| | Caño Madre Casañas | 1,08 | 0,99 | 0,09 | 0,63 | 0,12 |
| El Placer | Caño El Mono | 4,17 | 3,78 | 0,39 | 4,78 | 0,36 |
| | El Placer | 2,64 | 2,29 | 0,35 | 3,24 | 0,27 |
| | Las Lapas | 1,81 | 1,55 | 0,26 | 2,43 | 0,22 |
| | Caño Pirital | 9,37 | 8,53 | 0,84 | 7,85 | 0,49 |
| | Carambola | 2,96 | 2,59 | 0,37 | 4,75 | 0,31 |
| Laguna Grande | Caño San Nicolás | 6,77 | 5,58 | 1,19 | 12,13 | 0,60 |
| | Caño San Ignacio | 1,09 | 0,88 | 0,21 | 0,13 | 0,15 |
| | Laguna Grande | 4,38 | 3,79 | 0,59 | 4,81 | 0,46 |
| | Manatí | 5,21 | 3,22 | 1,99 | 4,39 | 0,60 |
| El Cazote | Marapatá | 9,13 | 7,51 | 1,62 | 4,68 | 0,67 |
| Laguna Arena | Club Miami | 7,21 | 5,75 | 1,46 | 3,78 | 0,63 |
| | Túnel del Amor | 5,19 | 3,52 | 1,67 | 4,43 | 0,47 |

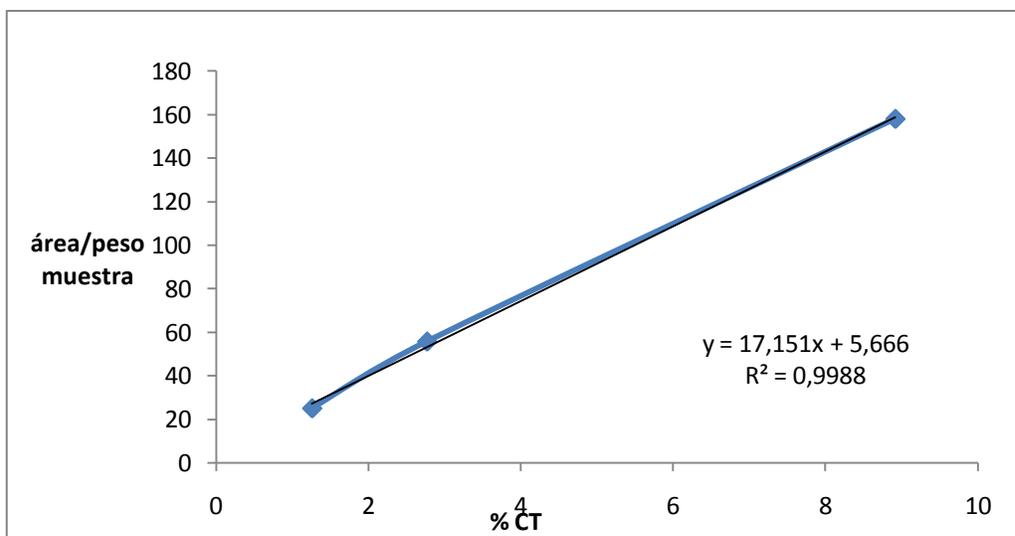
Apéndice 9.4.

Tabla 8. Concentración de los patrones certificados en la determinación de CT, CO, y NT.

| | % CT – GBW 07309 | | % CO – GBW 07-309 | | % NT – NIST LECO 502-309 | |
|--------------------|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------------|----------|
| | Teórico | Obtenido | Teórico | Obtenido | Teórico | Obtenido |
| Patrón Certificado | 1,61 ± 0,08 | 1,69 | 1,61 ± 0,08 | 1,59 | 0,78 ± 0,02 | 0,70 |

Apéndice 9.5.

Figura 16. Curva de calibración con los patrones de concentraciones de 1,26%, 2,77% y 8,92% de CT.



Apéndice 9.6.

Tabla 9. Relación C/N para las muestras de sedimentos del PNLT correspondiente a los tres periodos de muestreo.

| Laguna Interna | Puntos | C/N | | |
|----------------|--------------------|------------|------------|-------------|
| | | Marzo/2010 | Marzo/2011 | Agosto/2011 |
| El Guapo | Caño Tuy | 7,91 | 13,80 | 11,18 |
| | Guapo | 6,02 | 5,72 | 5,74 |
| | Caño Madre Casañas | 8,27 | 7,31 | 8,13 |
| El Placer | Caño El Mono | 14,25 | 14,64 | 10,45 |
| | El Placer | 7,47 | 9,01 | 8,45 |
| | Las Lapas | 8,04 | -- | 7,12 |
| | Caño Pirital | 9,10 | 13,67 | 17,57 |
| | Carambola | 9,62 | 9,54 | 8,30 |
| Laguna Grande | Caño San Nicolás | -- | 7,36 | 9,35 |
| | Caño San Ignacio | -- | 8,52 | 6,04 |
| | Laguna Grande | 8,25 | 9,74 | 8,27 |
| | Manatí | 10,94 | -- | 5,34 |
| El Cazote | Marapatá | 8,20 | 13,42 | 11,19 |
| Laguna Arena | Club Miami | -- | 11,32 | 9,17 |
| | Túnel del Amor | 10,08 | -- | 7,43 |
| La Boca | La Boca | 8,90 | 8,48 | -- |

Apéndice 9.7.

Tabla 10. Precisión de las técnicas analíticas empleadas en cada elemento.

| | CT | CO | NT | ST |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Promedio réplicas | 1,82 | 1,24 | 0,25 | 0,65 |
| Desviación estándar | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,05 |
| CV (%) | 1,04 | 1,92 | 4,08 | 7,94 |