

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



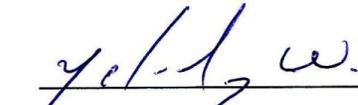
**ESTUDIO GEOQUÍMICO DE C, N, P, EN LA FRACCIÓN
LIMO-ARCILLA DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO DE LAS LAGUNAS DE UNARE
Y PÍRITU, EDO. ANZOÁTEGUI**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por la **Br. Karelys
Milagros Umbría Salinas** como
requisito para optar al Título de
Licenciada en Geoquímica.

Caracas, octubre, 2016

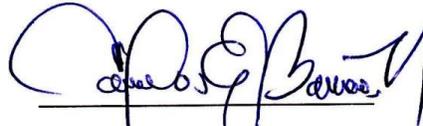
ACTA

Los abajo firmantes, designados por la Universidad Central de Venezuela como integrantes del Jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: **"ESTUDIO GEOQUÍMICO DE C, N, P, EN LA FRACCIÓN LIMO-ARCILLA DE LOS SEDIMENTOS DE FONDO DE LAS LAGUNAS DE UNARE Y PÍRITU, EDO. ANZOÁTEGUI"** presentado por la Br. Karelys Milagros Umbría Salinas, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar al título de Licenciada en Geoquímica.



Prof. Williams Meléndez

Tutor



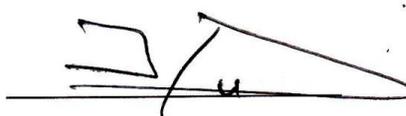
Prof. Carlos Barrios

Tutor



Prof. Adriana Millán

Jurado



Prof. José Vicente Gutiérrez

Jurado

*A Dios por ser el motor de todo
lo que hago, a mi madre que representa
el pilar de todo en mi vida,
a mi padre que desde el cielo me guía
y acompaña en cada paso...*

Madre gracias por tu apoyo y tu amor Incondicional!

*Más que mío, este logro... Es tu logro
Gracias por luchar conmigo para cumplir con esta gran meta...*

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada a Dios, quién se encargó de darme la fuerza necesaria para seguir adelante en cada situación y ante cualquier obstáculo, por iluminar mi carrera.

A mi inigualable Universidad Central de Venezuela, que a pesar de todos los problemas me permitió hoy estar alcanzando esta gran meta. A la facultad de Ciencias por brindarme todas las herramientas necesarias para crecer no sólo en el ámbito profesional sino en el personal, así como me ha enseñado a seguir adelante y defender mis ideales. Al instituto de Ciencias de la Tierra, por abrir sus puertas y permitirme desarrollar mi Trabajo Especial de Grado, así mismo agradezco a todas y cada una de las personas que laboran dentro del mismo, por contribuir a alcanzar ésta meta y desarrollar la presente investigación.

Ahora, sumando un poco de sentimentalismo, primero que nada agradezco sobre todas las cosas e infinitamente a MI MADRE, por brindarme siempre lo mejor de sí, y acompañarme en cada paso que doy, por lo que ésta meta, así como mía es de ella. Eres el ser que representa mi soporte, mi apoyo, mis fuerzas, mi todo, y es así desde siempre! Eres la mejor mami del mundo! Gracias por dar lo mejor de ti para que yo salga adelante! Te amo. También agradezco a mi papá que se que desde el cielo, obra para que mi camino este y siga estando lleno de luz. Porque se que Tú! Papá! Siempre has estado conmigo.

Agradezco a mi papá José por ser el hombre que es, y darme esa figura paterna que me reconforta siempre para seguir adelante, quien me brinda su apoyo y su abrazo para todo lo que necesite, y sé que así será siempre. A mi madrina por ser mi segunda madre, y por quererme tanto y dar todo de ella por mí hoy y siempre! Eres ejemplo de fuerza y fortaleza en mi vida! A mis hermanos por ser parte de mí, y brindarme su apoyo siempre, por siempre estar ahí para mí, sea lo que sea que necesite.

A ti, Astolfo Valero, por representar parte esencial en mi vida, y en mi carrera profesional. Por regañarme siempre, y por darme esos empujoncitos por salir hacia delante cada vez que sentía ganas de tirar la toalla. Gracias por brindarme todo tu apoyo y tu amor, y hacer de mí tu niña consentida... Tu apoyo ha sido fundamental! Te amo.

Gracias a mis suegros, por dejarme formar parte de su familia, y también brindarme su apoyo... Jamás olvidaré los corre corre que les hemos pasar Astolfo y yo! Y todas las veces que nos consienten. Mil gracias por todo.

Gracia a mis tutores, por brindarme sus conocimientos. Gracias profesor Williams por jalarnos las orejas y darnos tantos consejos, por brindarme su confianza, apoyo y cariño; usted para mí es de los mejores profesores. Gracias profesor Carlos también por brindarme su confianza y consejos, así como su amistad.

Gracias a todos los profes no sólo de Geoquímica, sino también de Ingeniería, que más allá de contribuir con mi formación académica, contribuyeron en mi formación como persona, dándome consejos, jalándome las orejas y sencillamente apoyándome en diversas circunstancias.

A Franco Palmiotto, por brindarme su ayuda en los análisis y elaboración de los mapas de mi investigación, así como por su paciencia y tiempo dedicado, muchísimas gracias. Gracias a Adriana, Sr. Fernando, Luis Vilchez, Gersi, Jenifer por brindarme también parte de su tiempo y ayudarme con el desarrollo de ésta investigación.

Gracias a Luanda, Kevin, Luis, Andrés, Elías, Génesis por brindarme su ayuda, conocimientos, y amistad, por haber compartido tanto en la carrera conmigo, y por haber contribuido a ser quién soy hoy. Fue una fortuna haberlos conocido, y a pesar de cualquier circunstancia los quiero un montón y siempre contarán conmigo.

Gracias a mis compañeros de carrera, especialmente Grace, Anais, Ronald, Carla, por brindarme su apoyo y ser tan solidarios conmigo, también cuenten conmigo para lo que necesiten.

Gracias a toooooodas las personas, que no alcanzo a nombrar, y que sin embargo saben que me apoyaron y contribuyeron conmigo, en mi formación académica y mi formación como persona! Muchísimas gracias.

RESUMEN

En función de determinar la concentración y distribución espacial de C, N, P, en la fracción limo-arcilla, de los sedimentos de fondo provenientes de las lagunas de Unare y Píritu, Edo. Anzoátegui, y sus posibles fuentes, se recolectaron un total de 31 muestras entre ambos sistemas, obteniéndose 13 para Unare y 18 para la Laguna de Píritu. Dichas muestras fueron a continuación refrigeradas hasta su posterior tamizado en el laboratorio usando un tamiz de 63 μ m, con el fin de obtener la fracción limo-arcilla para proceder a realizar las diferentes determinaciones, obteniéndose de ello que la mayor proporción de dicho sedimento vino dada por material lodo.

El carbono total (CT) fue determinado mediante el uso de una analizador elemental cuya técnica se basa en la combustión seca, el carbono inorgánico (CI) fue determinado a través análisis termogravimétrico, mediante el cual adicionalmente se determinó el contenido de materia orgánica (MO); y por su parte el CO se determinó a partir de la diferencia entre CT y CI. Adicionalmente la determinación de NT se realizó mediante el método de Kjeldahl que se basa en la conversión del nitrógeno presente en las muestras a sulfato de amonio; y por último el contenido de PT presente, fue determinado mediante el método colorimétrico desarrollado por Murphy y Riley.

Los valores de CI, CO, MO, CT dentro del material limo-arcilla oscilaron para la Laguna de Unare, entre 0,28 y 1,01 \pm 0,05%; 0,19 y 2,86 \pm 0,05%; 5,90 y 16,13 \pm 0,68%; y 0,56 y 3,67 \pm 0,10% respectivamente. Así mismo para el caso de Píritu dichos valores vienen dados por 0,59 y 1,54 \pm 0,05%CI; 0,32 y 3,60 \pm 0,05%CO; 8,41 y 21,53 \pm 0,68%MO; y 1,07 y 4,94 \pm 0,10%MO; teniendo a modo general mayores concentraciones de dichas especies hacia la zona más interior de ambas lagunas, o hacia las zonas que representan entrada de dicho material al sistema, siendo éstas dadas por la boca de las lagunas, así como por el Río Unare. El NT y PT viene dado por fuentes naturales y antrópicas, siendo los valores de Píritu mayores que los de Unare, pudiéndose deberse a la mayor influencia antrópica sobre la segunda laguna. Píritu presenta valores de NT entre 0,18 y 0,40 \pm 0,003%, mientras que para Unare el mismo oscila entre 0,17 y 0,58 \pm 0,003%. Para el caso de PT varía entre 290 y 625 \pm 21ppm en la Laguna de Unare, y entre 213 y 1012 \pm 21%ppm para el caso de Píritu.

Por otro lado las relaciones C/N y C/P permiten inferir que en ambos sistemas trabajados la MO presente proviene de diversas fuentes, dadas por material orgánico natural, así como por material antrópico.

Del mismo modo la correlación entre CO y NT fue buena para el caso de Unare obteniéndose una zonación dentro de la laguna en función del origen de la MO presente, y así mismo asociándose el NT mayormente a la fracción orgánica. Para el caso de Píritu la correlación fue buena a modo general hacia la zona central, con ausencia para este caso de una zonación dentro del sistema, teniéndose diversas fuentes de NT para la misma.

La correlación entre CO y PT, por su parte es negativa, permitiendo ello atribuir dicho contenido de PT principalmente a fuentes externas a ambos sistemas, como lo representa el guano aportado por aves, como la entrada de material antrópico.

Adicionalmente, se realizó además, la estimación de CO a partir del contenido de MO, a partir de factores de conversión entre ambas especies, teniéndose el factor de Van Bemmelen, así como uno determinado por Hurtado (2015), y en ambos casos los valores de CO son muy mayores que los determinados por diferencia; de ello cabe acotar que dicha variación se atribuye a la naturaleza de las muestras, por lo que dichos valores no son válidos para la presente investigación. Y por último se realizó una correlación entre la Mo y las concentraciones de diferentes metales pesados en el sistema, obteniéndose a modo general una correlación negativa.

Índice de contenido

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
1. Objetivo general	4
2. Objetivos específicos.....	4
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1. Aspectos básicos.....	5
1.1. Lagunas Costeras	5
1.2. Sedimentos	7
1.3. Procesos sedimentarios	8
1.4. Tamaño de grano.....	10
1.5. Carbono	13
1.6. Nitrógeno	15
1.7. Relación inter-elemental C/N.....	17
1.8. Fósforo.....	17
1.9. Relación inter-elemental C/P	19
1.10. Distribución de los sedimentos dentro de las lagunas costeras	20
1.11. Interacción agua-sedimento.....	21
1.12. Problemas ambientales debido al exceso de nutrientes	25
2. ANTECEDENTES	26

3.	ZONA DE ESTUDIO	31
3.1.	Laguna de Unare	32
3.2.	Laguna de Píritu.....	33
IV.	MARCO METODOLÓGICO	34
1.	Etapa de pre-campo	34
2.	Etapa de Campo.....	34
3.	Etapa de laboratorio	35
3.1.	Tratamiento físico de las muestras.....	35
3.2.	Etapa de laboratorio.....	36
4.	Etapa de tratamiento estadístico de los datos.....	48
V.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	49
1.	Validación de los resultados	49
2.	Plan de muestreo y parámetros fisicoquímicos determinados <i>in situ</i>	50
3.	Cuantificación de las fracciones granulométricas dentro del sedimento de fondo	54
4.	Carbono Inorgánico (CI)	57
5.	Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO).....	60
6.	Carbono Total (CT).....	70
7.	Relación entre Carbono Total (CT) y la fracción orgánica (CO) e inorgánica (CI) del mismo	73
8.	Nitrógeno Total (NT) y su relación con Carbono Orgánico (CO)	74

9. Fósforo Total (PT) y su relación con Carbono Orgánico (CO).....	81
VI. CONCLUSIONES	91
VII. RECOMENDACIONES	92
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
IX. APÉNDICES	101

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Escala de Udden-Wentworth	11
Tabla 2. Relación C/N con la materia orgánica	17
Tabla 3. Relación C/P con la materia orgánica	19
Tabla 4. Quintuplicado de muestra aleatoria, para determinar precisión	50
Tabla 5. Valores obtenidos para estándares utilizados en los análisis químicos realizados	50
Tabla 6. Puntos de muestreo, coordenadas y parámetros fisicoquímicos, correspondientes a la Laguna de Unare	52
Tabla 7. Puntos de muestreo, coordenadas y parámetros fisicoquímicos, correspondientes a la Laguna de Píritu	53
Tabla 8. Determinación granulométrica para las lagunas de Unare y Píritu	55
Tabla 9. Concentración de Cl en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	57
Tabla 10. Concentración de Cl en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu	59
Tabla 11. Concentración de CO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	61
Tabla 12. Concentración de CO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu	63
Tabla 13. Contenido de MO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	65
Tabla 14. Contenido de MO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de de Píritu	65
Tabla 15. Comparación entre CO determinado por termogravimetría, y CO estimado a partir del factor de Van Bemmelen, y del factor	68

determinado por Hurtado (2015)

Tabla 16. Concentración de CT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	71
Tabla 17. Concentración de CT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu	72
Tabla 18. Coeficiente de correlación entre CT y CO para las lagunas de Unare y Píritu	74
Tabla 19. Concentración de NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	75
Tabla 20. Coeficiente de correlación entre CO y NT para la Laguna de Unare	76
Tabla 21. Concentración de NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu	78
Tabla 22. Coeficiente de correlación entre CO y NT para la Laguna de Píritu	79
Tabla 23. Relación entre CO y NT en las muestras de sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu	81
Tabla 24. Concentración de PT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare	82
Tabla 25. Concentración de PT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu	83
Tabla 26. Relación entre CO y PT en las muestras de sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu	85
Tabla 27. Coeficientes de correlación entre CO y PT para las lagunas de Unare y Píritu	88
Tabla 28. Coeficientes de correlación entre Fe, Mn, Cu, Zn y Ni, con respecto a la fracción orgánica del sedimento, para las lagunas de Unare y Píritu	90

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Ciclo del Carbono	14
Figura 2. Ciclo del Nitrógeno	16
Figura 3. Ciclo del Fósforo	18
Figura 4. Mapa de las lagunas de Unare y Píritu	31
Figura 5. Determinación de Cl	37
Figura 6. Determinación de MO	38
Figura 7. Determinación de CT	40
Figura 8. Etapa 1 del método de Kjeldahl. Digestión de la muestra	41
Figura 9. Etapa 2 del método de Kjeldahl. Destilación de la muestra	42
Figura 10. Etapa 3 del método de Kjeldahl. Titulación de la muestra	43
Figura 11. Preparación de patrones de fósforo, para Murphy y Riley	45
Figura 12. Preparación de solución binaria, para Murphy y Riley	46
Figura 13. Digestión de muestras para medir PT	46
Figura 14. Determinación de PT mediante el método de Murphy y Riley	47
Figura 15. Puntos de muestreo en la Laguna de Unare	51
Figura 16. Puntos de muestreo en la Laguna de Píritu	52

Figura 17.	Variación espacial de CI en la Laguna de Unare	58
Figura 18.	Variación espacial de CI en la Laguna de Píritu	60
Figura 19.	Variación espacial de CO en la Laguna de Unare	62
Figura 20.	Variación espacial de CO en la Laguna de Píritu	64
Figura 21.	Variación espacial de MO en la Laguna de Unare	66
Figura 22.	Variación espacial de MO en la Laguna de Píritu	66
Figura 23.	Relación entre CO determinado por termogravimetría, y CO a partir de la estimación mediante el factor de conversión de Van Bemmelen	69
Figura 24.	Relación entre CO determinado por termogravimetría, y CO a partir de la estimación mediante el factor de conversión de Hurtado (2015)	69
Figura 25.	Variación espacial de CT en la Laguna de Unare	71
Figura 26.	Variación espacial de CT en la Laguna de Píritu	73
Figura 27.	Correlación entre CT y CO para las lagunas de Unare y Píritu	74
Figura 28.	Variación espacial de NT en la Laguna de Unare	76
Figura 29.	Correlación entre CO y NT para la Laguna de Unare	77
Figura 30.	Variación espacial de NT en la Laguna de Píritu	79
Figura 31.	Correlación entre CO y NT para la Laguna de Píritu	80

Figura 32.	Variación espacial de PT en la Laguna de Unare	82
Figura 33.	Correlación entre CO y NT para la Laguna de Píritu	85
Figura 34.	Correlación entre CO y PT para las lagunas de Unare y Píritu	87
Figura 35.	Correlación entre Mn y MO y PT para la Laguna de Unare	90

I. INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras, son ambientes sedimentarios transicionales, que se revisten de gran importancia ya que en ellas se desarrollan excelentes ecosistemas, de los que se sirven tanto diversas especies a nivel de flora y fauna, así como toda la población establecida en las áreas adyacentes. Estos ambientes sedimentarios son trampas de sedimentos inorgánicos y de la materia orgánica proveniente de las altas tasas de productividad primaria y secundaria que genera la flora y fauna allí presente, lo que les permite un alto desarrollo del ecosistema, el cual funciona como refugio de fauna silvestre, reservorio de especies estuarinas, refugio de aves migratorias y zona de humedales (Kjerfve, 1994; Márquez et al., 2008).

Las características indicadas anteriormente permiten que estos sistemas ofrezcan múltiples beneficios de importante valor social y económico, y que por consiguiente contribuyan a satisfacer un amplio espectro de necesidades y objetivos, tanto para las personas, la sociedad y la economía en general, debido a que brindan suministro, regulación y purificación del agua, y reposición de aguas subterráneas, así como también desempeñan papeles importantes en relación con el reciclaje de nutrientes, cambio climático, seguridad alimentaria, seguridad laboral y una serie de beneficios culturales, entre ellos conocimientos, recreación y turismo (ten Brink P. *et al.*, 2013).

Venezuela, consciente de la importancia de estos ecosistemas, se incorporó en el año 1988, a la Convención Ramsar, comprometiéndose a velar por la preservación de ambientes de tipo estuarinos; dentro de los cuales se enmarca el sistema constituido por las lagunas de Tacarigua, Unare y Píritu; y en función de ello es importante indicar que a dicho sistema además de material de origen inorgánico, como por ejemplo metales livianos y pesados, se pudiese estar incorporando, a través de aguas y sedimentos, una importante cantidad de materia orgánica, constituida principalmente por C, N, y P, los cuales están considerados entre los denominados macro-nutrientes, lo que les imprime un papel muy significativo en el ciclo de la vida de los organismos vivos, ya que son fundamentales tanto en las estructuras (aminoácidos, proteínas,

ácidos nucleicos del ADN, ATP, estructura ósea) como en los procesos metabólicos de estos organismos.

Por otra parte, también es necesario mencionar que estos elementos al igual que los metales, se encuentran asociados a la fracción limo-arcilla de los sedimentos, ya que la misma es capaz de atraerlos debido a la alta capacidad reactiva que la caracteriza, de este modo los sedimentos presentes, en conjunto con las condiciones del sistema serán capaces tanto de sorber o poner en disponibilidad diferentes especies químicas, incluyendo las que actúan como nutrientes, así como también de permitir el intercambio de los mismos a través de la interfase agua-sedimento, el cual es un proceso importante que afecta a la composición química y el nivel trófico de los sistemas acuáticos, especialmente en aguas poco profundas, tales como estuarios y ambientes marino-costeros (Klump y Martens, 1981, tomado de Ignatieva, 1999).

En el siglo XX a nivel mundial, la extensión de los humedales costeros disminuyó entre 62-63%, y esta pérdida persiste en el siglo XXI (Davidson, 2014). Este fenómeno pudiese estar ocurriendo en el caso del sistema de Unare y Píritu, en donde el equilibrio del ecosistema se ha visto más susceptible a ser alterado debido a los rigores de una desmedida actividad antrópica, producto del crecimiento acelerado de las poblaciones e industrias asentadas en sus alrededores, lo cual se puede evidenciar en la mala gestión de proyectos urbanísticos, industrialización, construcción de infraestructuras con fines recreacionales, mayor demanda de pesca (tanto artesanal como comercial), vertido de efluentes domésticos e industriales, y actividades de agricultura y ganadería que conllevan la entrada de elementos como el C, N, P, y a su vez dichas actividades traen como consecuencia directa un aumento progresivo de las concentraciones de muchas especies químicas y la sobreacumulación de materia orgánica dentro del sistema, lo que puede conllevar a procesos de eutrofización, escasez de oxígeno, y disminución de la profundidad y de la calidad de la masa de agua que lo constituye (Camargo y Alonso, 2007).

Partiendo de lo anteriormente descrito, la principal consecuencia de la entrada de mayor cantidad de material, enriquecido en C, N, P, proveniente principalmente de actividades antrópicas en las adyacencias, hacia las lagunas de Unare y Píritu es que pueda ocurrir la pérdida del equilibrio ecológico que estas presentan, lo cual acabaría a su vez con el importante valor social y económico que representan, así como también con el papel de gran importancia que tienen tales sistemas como zonas de humedales, y hábitat y reservorio de gran biodiversidad de especies a nivel de flora y fauna.

En atención a lo expuesto anteriormente, cabe destacar que en años anteriores, se comenzaron a realizar estudios en el ámbito geoquímico ambiental en las lagunas de Unare y Píritu, donde sólo dos de ellos hace referencia a especies nitrogenadas y fosforadas, concluyendo que existe un posible aporte antrópico de las mismas (Fermín, 2002; López, 2002), mientras que el resto de los trabajos enfatiza en los metales pesados como potenciales agentes contaminantes (Senior *et al.*, 1999; Fermín, 2002; Martínez, 2002; López *et al.*, 2006; Márquez *et al.*, 2008), los cuales muestran como resultados la existencia de altas concentraciones de dichos metales considerados potencialmente tóxicos; sin embargo, no llegan a establecer de modo definitivo si los sistemas en cuestión estarían contaminados para ese momento.

De este modo, se propone realizar un estudio geoquímico en el ámbito ambiental, en los sistemas de Unare y Píritu, haciendo énfasis en los elementos C, N, P, con el fin de originar datos en función de determinar si ambos sistemas están siendo actualmente alterados, y si tal alteración (en caso de existir) se debe a la influencia de los factores antrópicos, con el fin de proponer de parte de los entes correspondientes, medidas para fomentar la preservación y cuidado de ellos, cumpliendo además con las disposiciones de la Convención Ramsar, de la cual Venezuela es signataria; adicionalmente el hecho de comparar los resultados que se obtengan de este trabajo con los aportados por estudios anteriores y que sirven como indicio de que ambos sistemas pudieran estar siendo alterados por el hombre, permitirá establecer si la alteración en caso de existir, es producto de un avance de la influencia por parte de los factores externos sobre las condiciones ambientales de las lagunas.

II. OBJETIVOS

De acuerdo al planteamiento del problema expuesto, para el presente trabajo de investigación, se proponen los siguientes objetivos:

1. Objetivo general

Determinar la concentración y distribución espacial de C, N, P, en la fracción limo-arcilla, de los sedimentos de fondo provenientes de las lagunas de Unare y Píritu, Edo. Anzoátegui, y sus posibles fuentes.

2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la calidad del sistema a través de los parámetros físico-químicos (pH y conductividad) medidos en cada punto de muestreo.
- ✓ Cuantificar la fracción granulométrica de limo-arcilla, presente en los sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu.
- ✓ Determinar la concentración de los elementos C (total y orgánico), N total y P total en la fracción limo-arcilla, así como su variación espacial dentro del sistema.
- ✓ Identificar las posibles fuentes de los elementos de estudio, según sus concentraciones y relaciones inter-elementales (C/N y C/P).

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el siguiente capítulo, se desarrollarán diversos aspectos teóricos necesarios para una mejor comprensión del presente trabajo, los mismos se han compilado de diversos autores; y engloban aspectos como lo son las lagunas costeras y sus características, así mismo la importancia de los sedimentos en estos sistemas naturales, y por último el comportamiento de los elementos de interés (C, N, P).

1. Aspectos básicos

A continuación se desarrollan algunos conceptos teóricos que fundamentan la presente investigación.

1.1. Lagunas Costeras

Las lagunas costeras se pueden definir como ambientes sedimentarios transicionales, representados por un cuerpo de agua superficial marina con profundidades típicas entre 1-3m (siendo siempre inferior a los 5m), ubicados tierra adentro, orientados paralelos y próximos a la costa; ellas se encuentran separadas del mar por una barrera de tipo arenosa (y menos común conglomerática o mezcla de ambas), pero conectadas al mismo mediante una o más bocas de tipo permanente o intermitente, ya que pueden cerrarse debido a la depositación de sedimentos producto de la acción de las olas y la deriva litoral; estos sistemas pueden o no estar sujetos a la mezcla de las mareas; y su salinidad puede variar desde aguas dulces hasta aguas hiper-salinas, dependiendo del balance hídrico y de las condiciones climáticas locales. Ellas además pueden variar sustancialmente en tamaño (alcanzan superficies de hasta 10.200km²), su forma en términos morfológicos, la forma de la barrera, y el alcance de la erosión y la depositación desde su formación inicial (Pritchard, 1952; Phleger, 1969; Bird, 1994; Kjerfve, 1994).

Estas lagunas ocupan 13% de las áreas costeras a nivel mundial; y fueron formadas como resultado de la elevación del nivel del mar (principalmente durante el Holoceno o Pleistoceno), mientras que la construcción de las barreras costeras se

atribuye a procesos marinos. En la escala de tiempo geológico, son sólo relieves característicos de corta duración (Mee ,1978; Kjerfve, 1994).

De igual forma, se caracterizan por presentar una columna de agua verticalmente homogénea debido a la mezcla por vientos superficiales y a las mareas, y por presentar además corrientes de marea, producidas por la entrada y salida de la misma; así como corrientes debidas al flujo de los ríos que drenan hasta ellas; y corrientes debidas a la acción del viento (Bird ,1994 Nichols y Boon, 1994). En general, las lagunas costeras son valiosas para la pesca y la acuicultura, ya que representan trampas de sedimentos inorgánicos y materia orgánica, por lo que sirven como sumideros o filtros de materiales, además de que exhiben altas tasas de productividad, tanto primaria como secundaria (Kjerfve, 1994).

En las zonas templadas húmedas, estos sistemas están constantemente refrescándose por las aguas de lluvias y la escorrentía, y adquieren así típicamente regímenes de estuario; en los trópicos húmedos, las lagunas reciben grandes cantidades de agua y sedimentos fluviales (especialmente de tipo arcilla y limo), y presentan como consecuencia una buena extensión de manglares; mientras que en zonas áridas se propician las condiciones de hiper-salinidad por el casi nulo aporte de aguas dulces o frescas (Bird ,1994).

1.1.1. Principales factores geomorfológicos que actúan dentro de lagunas costeras

Los sistemas de lagunas costeras, serán afectados por diversos factores geomorfológicos, que vienen dados por, la configuración de la entrada que controla el intercambio de agua, incluyendo el material disuelto y suspendido que lleve ésta consigo; el tamaño de la misma, ya que este determina las tasas de lavado y tiempos de residencia del material, y por lo tanto la calidad del agua; la orientación de la laguna con respecto a la orientación del viento, ya que este tendrá una acción mayor en las lagunas más grandes, sobre todo cuando el eje longitudinal de la misma esté alineada con la dirección predominante del viento; la topografía del fondo, debido a que la misma juega un papel muy importante en la orientación de la circulación de las mareas y de

este modo controla el transporte advectivo; y por último, la profundidad media imperante, la cual es uno de los factores más importantes, debido a que en relación a ella, surgen varias características hidráulicas e hidrográficas del sistema, como consecuencia directa (Smith, 1994).

1.2. Sedimentos

Luego de aclarar los aspectos básicos sobre las lagunas costeras, y girando más hacia el caso puntual del presente trabajo de investigación, es necesario determinar el rol de los sedimentos y sus principales características del sistema en estudio.

Los sedimentos son granos o partículas no consolidados, que pueden resultar de la meteorización y erosión de las rocas, o pueden originarse como resultado de procesos químicos o bioquímicos (Tarbuck y Lutgens, 2005; Méndez, 2006; Nichols, 2009). De allí, que ellos puedan clasificarse en función de su origen.

1.2.1. Sedimentos no clásticos o químicos:

Es material formado por agentes químicos o biológicos, a partir de especies que son transportadas en solución hasta lagos, lagunas y mares, entre otros; su formación requiere determinadas condiciones físico-químicas que propicien su precipitación, y además son denominados bioquímicos, cuando dicha formación está relacionada a la intervención de organismos acuáticos (Tarbuck y Lutgens, 2005).

1.2.2. Sedimentos clásticos o detríticos

Es un material que se compone por clastos sólidos, los cuales son principalmente detritos erosionados de una roca parental, ya sea ésta de naturaleza ígnea, metamórfica o sedimentaria; los términos sedimentos detríticos y sedimentos siliciclásticos también se utilizan para este material (Nichols, 2009).

1.3. Procesos sedimentarios

En función del origen de los sedimentos, surgen diferentes procesos sedimentarios que además de actuar sobre ellos, son los responsables de originarlos (meteorización y erosión) y transportarlos hasta sistemas como las lagunas costeras u otros sistemas naturales, en donde se propicie su depositación y acumulación, por lo tanto es bueno recordar en qué consisten dichos procesos.

1.3.1. Meteorización

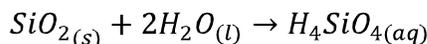
Es un término que envuelve procesos químicos, físicos, y biológicos; se define como la alteración que sufren las rocas al alcanzar niveles en o cerca de la superficie terrestre, debido a cambios en las condiciones físico-químicas del ambiente, las cuales pasarán a ser diferentes a las que prevalecían durante su formación; la meteorización conlleva la producción de residuos y partículas disueltas, además de la formación de minerales nuevos y estables a las nuevas condiciones físico-químicas, y del mismo modo los minerales más estables o resistentes químicamente son sólo liberados de la fábrica por descomposición de la roca (Boggs, 2006).

1.3.1.1. La meteorización física o mecánica:

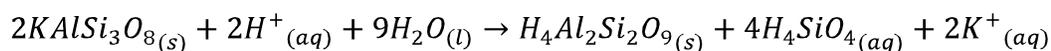
Es un proceso de alteración netamente mecánico, en donde ocurre fracturamiento y fragmentación de las rocas debido a una variedad de causas, pero sin la participación de reacciones químicas, y consecuentemente sin cambios significativos en su composición, química o mineral. Dentro de los procesos que la causan, están la congelación-descongelación, la incidencia solar, la cristalización de sales, el humedecimiento-secado alternado, la presión-descompresión, la hidratación que causa aumentos de volumen, el crecimiento de las raíces de las plantas en las grietas de las rocas, y la formación de madrigueras e ingestión de suelos y materiales de roca sueltos, por gusanos u otros organismos (Boggs, 2006; Nichols, 2009).

1.3.1.2. La meteorización química

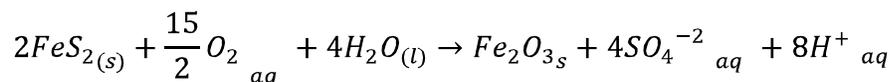
Implica cambios que pueden alterar la composición química y mineralógica de las rocas. Los minerales reaccionan con el agua y gases atmosféricos disueltos (oxígeno, dióxido de carbono), causando que algunos componentes de los minerales se disuelvan y sean removidos en solución. Otros constituyentes minerales se recombinan in situ y cristalizan para formar nuevas fases minerales (minerales secundarios). Dentro de la meteorización química imperan procesos de solución simple o disolución congruente (ecuación 1), la hidrólisis (ecuación 2), la oxidación-reducción (ecuación 3), la hidratación (ecuación 4), y la quelatación (ecuación 5) (Boggs, 2006).



Ecuación 1. Disolución de cuarzo



Ecuación 2. Transformación de ortoclasa a caolinita



Ecuación 3. Oxidación de piritita



Ecuación 4. Hidratación de feldespato



Ecuación 5. Quelatación

1.3.2. **Erosión y transporte:**

Ambos procesos actúan conjuntamente, acarreado los granos y el material en suspensión y solución, derivados de la meteorización, y son llevados a cabo a través de agentes dinámicos y exógenos, como las corrientes de agua o hielo, el viento o la acción de seres vivos; y durante su acción ocurren procesos erosivos, que pueden alterar la morfología de los granos minerales (Tarbuck y Lutgens, 2005; Méndez, 2006).

1.3.3. Depositación y acumulación:

Por último, el material tras ser transportado hasta diversos sistemas sedimentarios, incluyendo las lagunas costeras, sufre un proceso de asentamiento de las partículas en movimiento debido a un cambio de velocidad en el medio de transporte y consecuentemente pueden darse lugar acumulaciones, las cuales son formaciones de capas de material debido a sucesivos eventos de depósito (Montijo, 2008).

1.4. Tamaño de grano.

Por otro lado, dicho material transportado y acumulado, puede ser caracterizado según el tamaño de grano; el cual, refleja los procesos de meteorización y erosión, que han actuado sobre tal sistema. Existen diversas clasificaciones para el tamaño de grano, entre las que se tiene la propuesta por Udden (1898), y modificada y ampliada por Wentworth (1922) (tabla 1); es una escala geométrica en la que cada valor es dos veces mayor que el valor anterior, en sentido creciente (Boggs, 2006).

Tabla 1. Escala Udden-Wentworth, que muestra además los equivalentes en unidades phi, milímetros, y los tamices estándar correspondientes (Tomado de Boggs, 2006)

Malla del tamiz	Diámetro de grano (mm)	Escala phi ϕ	Nombre	
5	> 256	< -8,00	Peñones	Gravas
	128	-7,00	Gujarros	
	64	-6,00		
	32	-5,00		
	16	-4,00		
	8	-3,00		
	4	-2,00		
10	2	-1,00	Gránulos	Arenas
18	1	0,00	Muy gruesas	
35	0,5	1,00	Gruesas	
60	0,25	2,00	Medias	
120	0,125	3,00	Finas	
230	0,063	4,00	Muy finas	
	0,031	5,00	Gruesos	Limos
	0,0156	6,00	Medios	
	0,0078	7,00	Finos	
	0,0039	8,00	Muy finos	
	< 0,0039	< 8,00	Arcillas	

Para interés del presente trabajo, es necesario resaltar la fracción limo-arcilla de los sedimentos, haciendo énfasis en sus características y propiedades, teniendo así que el limo se define como el material de tamaño de grano entre 0,031 y 0,0039mm de diámetro. Este rango de tamaño se subdivide a su vez en grueso, medio, fino y muy fino. Los granos gruesos de limo son visibles a simple vista o con una lupa de mano. El limo fino es más fácilmente distinguible de arcillas por el tacto, ya que se siente 'arenoso', mientras que la arcilla se siente "suave" (Nichols, 2009).

Por su parte, las arcillas corresponden al material textural más fino de las partículas sedimentarias clásticas (<0,0039mm). Las partículas individuales no son discernibles a simple vista y sólo pueden ser resueltas con un microscopio óptico de alta potencia. Los minerales de arcilla son un grupo de minerales de filosilicatos, que son los principales constituyentes de las partículas de arcillas (Nichols, 2009).

Cuando las partículas de tamaño arcilla y limo se mezclan en proporciones desconocidas como los principales constituyentes de sedimentos no consolidados, se denominan como lodo; y en dicho material, el cuarzo es el mineral más común, seguido de otros minerales importantes, como lo son los feldespatos, moscovita, calcita y óxidos de hierro; además de grandes cantidades de minerales de arcilla (caolinita, montmorillonita, illita y clorita), las cuales se forman comúnmente como productos derivados de los feldespatos y otros minerales de silicatos. Los minerales de arcilla, tienen una estructura cristalina en capas similar a la de las micas, una gran área superficial y una alta capacidad de adsorber elementos sobre sus superficies (Nichols, 2009).

Por otra parte, es importante destacar que tal composición es la correspondiente a la fase inorgánica de esta fracción de sedimentos, pero del mismo modo, asociada a ella, se puede conseguir, una fase constituida por un alto contenido de material orgánico. Dentro de ésta fase orgánica, están englobados los elementos de interés del presente trabajo, que corresponden a C, N y P; y la importancia de tales elementos radica directamente en su papel como nutrientes para diversos organismos, ya que los utilizan en sus diversas funciones metabólicas básicas.

Estos elementos están incorporados dentro de la materia orgánica, y sus orígenes en las lagunas costeras son muy diversos pudiendo provenir de fuentes autóctonas como el fitoplancton, las algas y microorganismos macrófitos acuáticos y también de fuentes alóctonas como la vegetación terrestre (celulosa, lignina, carbohidratos, entre otros), pantanos de agua dulce y la contaminación orgánica de las partes altas de la cuenca hidrológica (escorrentía de actividades agrícolas, afluentes domésticos) (De La Lanza-Espino *et al.*, 2011).

La materia orgánica particulada y disuelta, después de su oxidación, puede también ser una fuente importante de nutrientes (Smith y Mackenzie, 1987; Knoppers, 1994). Es importante destacar, que los procesos de reciclado interno en la interfase agua-sedimento (SWI, por sus siglas en inglés) actúan como una fuente secundaria de nutrientes para la columna de agua superior (Jorgensen, 1996; Kormas et al, 2001; Tyler y McGlathery., 2003; Belias et al, 2007; De Vittor et al, 2012); y que adicionalmente el material orgánico que sobrevive a la degradación en la columna de agua, es el que se incorpora en los sedimentos, donde puede ser más o menos conservada o sometida a una mayor degradación biológica, destacando además que la MO tiene una gran afinidad para ser sorbida por las arcillas en suspensión y, finalmente, se deposita en el sedimento donde es parcialmente mineralizada, pasando a formar parte del sedimento o formando nuevos compuestos como sustancias húmicas (Hakanson y Jansson, 1983; De la Lanza-Espino *et al.*, 2011).

Ahora, es necesario, puntualizar sobre cada elemento de interés, y para ello cabe destacar que los mismos son regidos por los ciclos biogeoquímicos, los cuales en función de sus componentes, son divididos en endógenos y exógenos, teniendo que los primeros implican procesos asociados al subsuelo y rocas de diversos tipos, mientras que los segundos, se producen en gran parte de la superficie de la Tierra teniendo además un componente atmosférico (Misra, 2012; McKinney *et al.*, 2013).

1.5. Carbono

El carbono es el elemento fundamental de todas las sustancias orgánicas. Su concentración en los organismos es superior al 15-20% y se presenta principalmente en los hidratos de carbono, en los lípidos y en las proteínas (Smith y Smith, 2001). Este elemento está regido por un ciclo biogeoquímico (Figura 1), responsable de su flujo entre los diferentes componentes del ambiente.

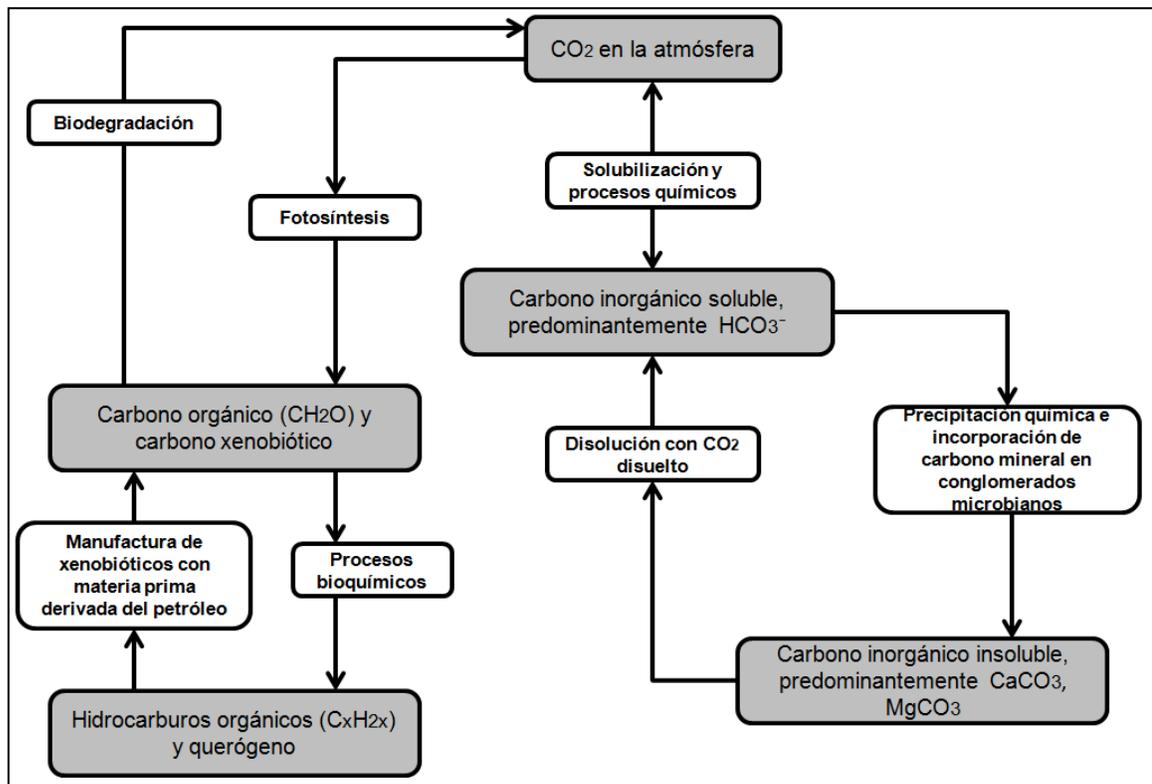


Figura 1. Ciclo del Carbono (Tomado y editado de Manahan, 2007)

El ciclo del carbono, es resumido por 4 procesos básicos: la fotosíntesis, donde las plantas (productores o autótrofos) toman el CO₂ de la atmósfera para efectuar la fotosíntesis; la respiración, que es la función mediante la cual todos los seres vivos regresan CO₂ a la atmósfera; de igual forma la acción de los microorganismos, debido a que muchas bacterias (*Bacillus*, *Chlostridium*, *Pseudosomas*) y hongos (*Aspergillus*, *Penicillum*, *Rhizopus*) participan en este ciclo, degradando la celulosa; y finalmente la combustión de carbón o hidrocarburos, ya que mediante este proceso se libera CO₂ a la atmósfera, donde vuelve a estar biodisponible para las plantas (De La Llata, 2003).

De modo más específico, y para fines del presente trabajo de investigación, se tiene que en el sistema de estudio, la movilidad del carbono viene dada principalmente por la interacción del mismo con el CO₂ atmosférico; tal interacción se puede ver desde tres puntos de vista, el primero viene dado, por los procesos de fotosíntesis que realizan las plantas del sistema, donde ellas toman parte del CO₂ para poder dar lugar a la producción primaria; el segundo punto, viene dado por la respiración, llevada a cabo

tanto por las plantas como por los diferentes organismos que hacen vida dentro del sistema, lo cual les permite expeler CO₂ de vuelta a la atmósfera.

Como tercer punto, se tiene que otra fracción del CO₂ atmosférico es combinada con agua formando ácido carbónico, el cual es capaz de reaccionar con material expuesto, como las rocas, y generar el ion bicarbonato, que al ser soluble, es transportado mediante las aguas, hasta alcanzar diferentes sistemas naturales, incluyendo los lagunar-costeros, donde bajo ciertas condiciones dicho bicarbonato puede ser tomado por organismos para formar sus partes esqueléticas, o puede ser precipitado de manera química, como carbonatos.

1.6. Nitrógeno

El Nitrógeno constituye 78% del volumen de la atmósfera terrestre, donde se encuentra en forma de moléculas de N₂ (nitrógeno molecular o dinitrógeno) (Rankama y Sahama, 1954); y al desempeñar un papel muy importante en diversos procesos biológicos, resulta muchas veces representando el nutriente limitante. Bajo condiciones reductoras la especie dominante es el amonio, y sólo cuando los valores de pH son relativamente altos la especie dominante pasa a ser el amoníaco; mientras que en condiciones de oxidación, el nitrógeno se puede encontrar como nitrato o nitrito (Nelson, 2008).

La fuente natural del nitrógeno, viene dada por la materia orgánica y sus productos de descomposición, incluyendo residuos animales; mientras que por su parte el factor antrópico ha duplicado la cantidad de nitrógeno en el medio ambiente a nivel mundial entre 1960 y 1990, teniendo así como principales fuentes antrópicas productos derivados de actividades industriales (ácido nítrico, y sus sales), plantas de tratamiento de aguas residuales, los combustibles fósiles, y el uso de fertilizantes sintéticos que conduce a que parte del nitrógeno se filtre hacia las aguas; y del mismo modo una fuente adicional de dicho elemento, es la fijación de nitrógeno por ciertas especies de cianobacterias (Rankama y Sahama, 1954; Knoppers, 1994; NRC, 2000, extraído de Newton *et al.*, 2003; Paerl *et al.*, 2002).

El ciclo del nitrógeno (figura 2), describe los procesos dinámicos a través del cual el nitrógeno se intercambia entre la atmósfera, la materia orgánica, y compuestos inorgánicos (Manahan, 2001), todo ello acompañado de diversas variables de naturaleza físico-química.

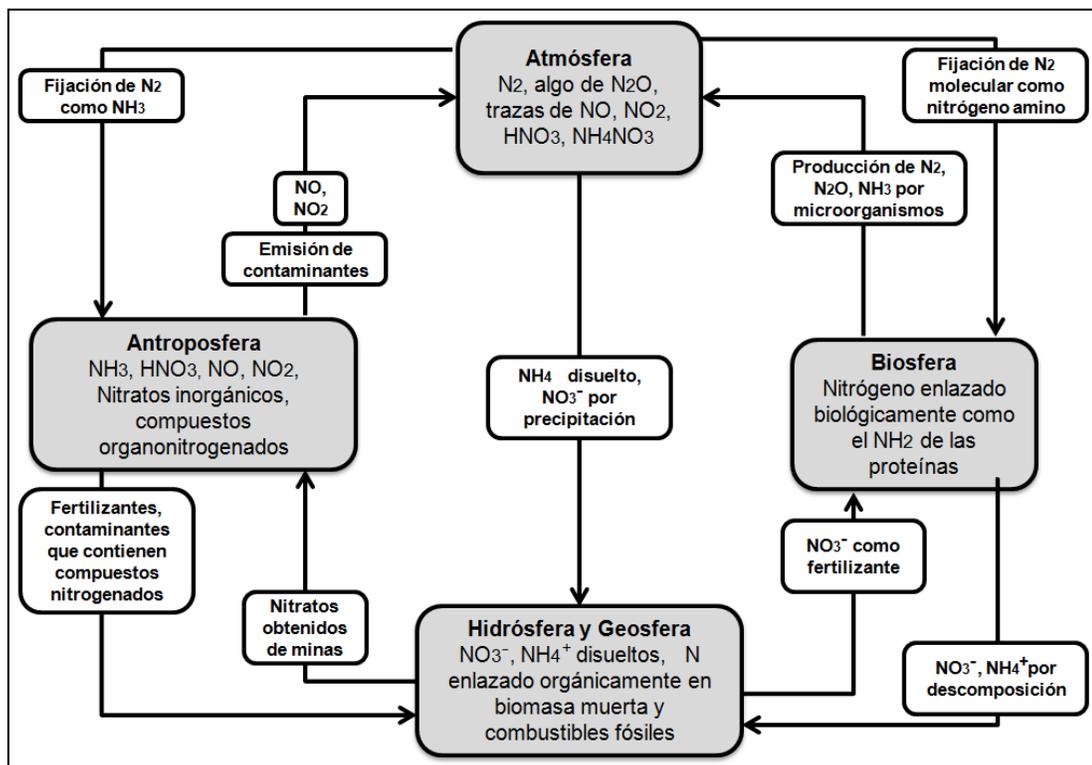


Figura 2. Ciclo del Nitrógeno (Tomado y editado de Manahan, 2007)

Dentro de las lagunas costeras, la movilidad del nitrógeno viene principalmente dada por la toma del mismo desde la atmósfera por parte de organismos (fijación del nitrógeno), y su posterior fijación por bacterias para hacerlo parte de sus proteínas y otros compuestos, que posteriormente al ser descompuestos, permiten la acumulación de nitrógeno dentro del sistema; del mismo modo el aporte antrópico de este elemento, sufre los mismos procesos de descomposición y acumulación, con la diferencia de que este material entra al sistema a partir de aguas residuales o de escorrentía que drenan hasta la laguna. Además, es necesario enfatizar los procesos de nitrificación y desnitrificación, ya que ellos forman una especie de equilibrio que puede controlar consecuentemente la cantidad de nitrógeno presente en el sistema.

1.7. Relación inter-elemental C/N

En función de las diferentes fuentes de las que puede provenir la materia orgánica (MO) presente en el sistema, y de la relación natural entre el C y el N que la misma presenta, surge la relación C/N, que permite identificar la fuente de la misma (tabla 2), debido a que las plantas terrestres tienen relación alta, mientras el material planctónico tienen una relación baja (Emery, 1969). Del mismo modo cabe destacar, que dicha relación puede en algunos casos enmascarse debido a importantes entradas antrópicas que contengan dichos elementos, y puede alterarse por nitrógeno inorgánico presente, en forma de amoníaco o como iones amonio fijados en MO (Waples, 1983; De la Lanza-Espino *et al.*, 2011;). Como consideraciones ante tal enmascaramiento, es necesario tener el mayor conocimiento del área de estudio y además establecer también la relación C/P, ya que la misma permite de igual manera discernir entre posibles fuentes.

Tabla 2. Relación C/N con la materia orgánica (Tomado de Ogrinc *et al.* 2008)

Fuentes de materia orgánica	C/N
Fitoplancton	5 – 8
Micrófitas	10 – 30
Plantas terrestres	> 50

1.8. Fósforo

Por su parte, el fósforo constituye el 0,12% de la corteza terrestre (Fassbender y Bornemisza, 1987); y a pesar de representar uno de los principales nutrientes de la ecología acuática, es el menos abundante entre los nutrientes esenciales, por lo que su ausencia limita el crecimiento de los organismos (Schindler, 1977, extraído de Dekun *et al.*, 2013). La importancia del mismo, radica en que es el factor más limitante para la producción primaria en la mayoría de los ambientes de agua dulce, sin embargo, un

acelerado aumento de la carga de fósforo en los sistemas naturales es crucial para los procesos de eutrofización, ya que grandes cantidades de fósforo se metabolizan en el agua y luego se depositan en los sedimentos (Hakanson y Jansson, 1983).

Su principal fuente natural viene dada por los depósitos minerales de rocas fosfóricas que contienen el mineral apatito ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$), las cuales aportan este elemento, principalmente, en forma de ortofosfato, mediante la meteorización y erosión; sin embargo también se puede encontrar naturalmente como fosfato de hierro y aluminio, en forma amorfa, y como restos orgánicos. Por otro lado, existen fuentes antrópicas, las cuales incluyen aguas servidas, domésticas e industriales, y escorrentías agrícolas y domésticas (Fuentes, 2001; Manahan, 2001).

Su movilidad y los procesos que sufre en la naturaleza, vienen dados por su ciclo (figura 3), el cual se caracteriza por no presentar ningún componente gaseoso:

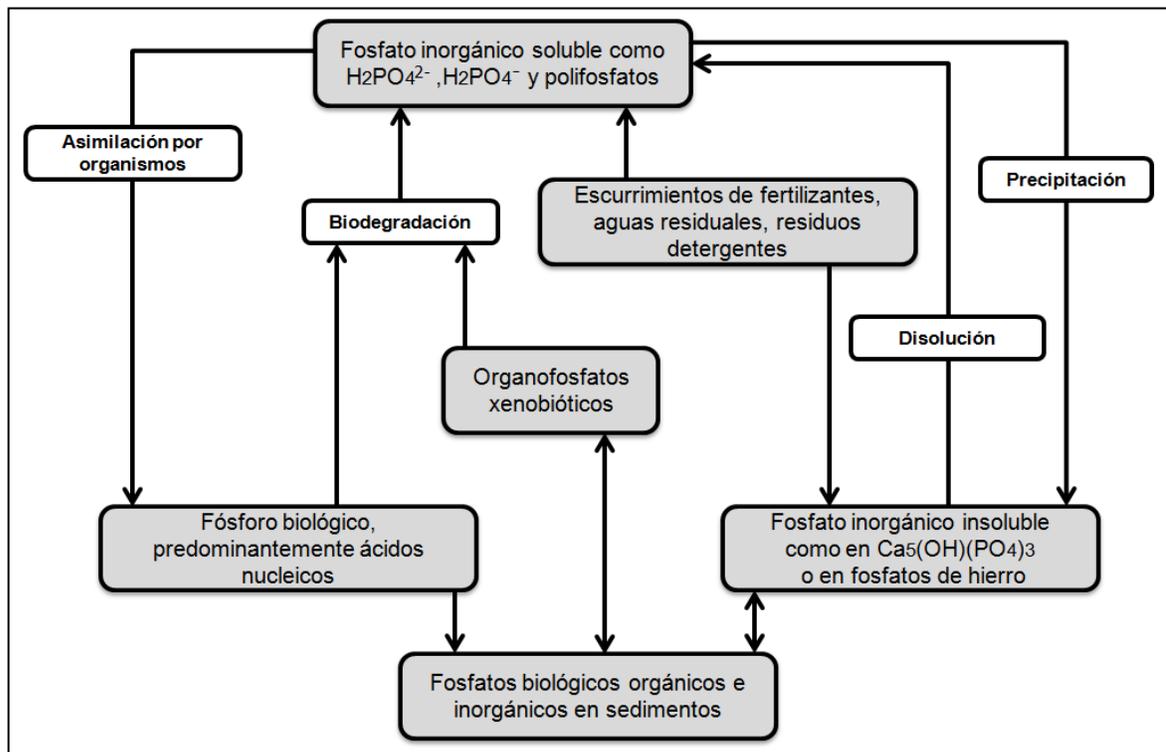


Figura 3. Ciclo del Fósforo (Tomado y editado de Manahan, 2007)

Dentro del ciclo del fósforo, es necesario destacar que la meteorización de las rocas añade fosfato gradualmente al suelo, y posteriormente este es lixiviado hacia las aguas, desde donde se facilita su entrada hacia los sistemas naturales, incluyendo las lagunas costeras. Este puede ser captado por organismos productores e incorporado a moléculas orgánicas, para ser luego ingerido por los consumidores y distribuirse en la cadena alimenticia; del mismo modo, es importante mencionar que otra parte el fósforo vuelve al suelo mediante la posterior descomposición de la materia orgánica o por parte de la excreción de los consumidores (Campbell y Reece, 2007).

1.9. Relación inter-elemental C/P

Como se dijo anteriormente, en función de la relación inter-elemental C/P se puede identificar fuentes de la MO presente dentro del sistema (Tabla 3), resultando más óptima si se trabaja en conjunto con la relación C/N.

En el mismo orden de ideas, existe una estrecha relación entre el fósforo disponible para los microorganismos y el contenido de carbono orgánico presente en el sedimento, lo que indica el importante efecto de la MO sobre la disponibilidad del fósforo, debido a que los compuestos orgánicos en los sedimentos incrementan el fósforo disponible debido a que recubren los óxidos de hierro y aluminio, formando una cubierta protectora que reduce la adsorción del fósforo (Havlin *et al*, 1999).

Tabla 3. Relación C/P con la materia orgánica (Tomado y editado de Ramírez y Rose, 1992)

Fuentes de materia orgánica	C/P
Bacterias	5 – 8
Animales	10 – 30
Hongos	15 – 50

1.10. Distribución de los sedimentos dentro de las lagunas costeras

Una vez, aclaradas las características relacionadas a los constituyentes de la fracción lodo del sedimento, y a los elementos en estudio, se hace necesario describir, como se van a encontrar distribuidos los sedimentos dentro del sistema de estudio.

En términos generales, la distribución ideal del sedimento dentro de las lagunas costeras, viene dada por la energía del medio acuático, y la influencia de las diversas corrientes que actúen dentro del mismo, es así, que hacia las entradas y márgenes del sistema, donde la velocidad de la corriente es alta, se encontrará el material más grueso; mientras que hacia el centro del sistema, donde generalmente la energía y las corrientes son disipadas gradualmente, se encontrará material más fino. En algunas lagunas se propicia hacia el interior de la misma una mayor disminución de la energía por la presencia de bancos de arena, y consecuentemente ello propicia la reducción de la turbulencia y una acumulación de sedimento fino (en el orden de la fracción lodo) (Phleger, 1981; Bird, 1994; Nichols y Boon, 1994).

Sin embargo, dicha distribución ideal, no siempre ocurre, debido a las diversas corrientes y a las condiciones propias del sistema, y en función de dicha variabilidad se han propuesto tres tipos de patrones de textura (o distribución) posible en los sedimentos dentro de las lagunas costeras, teniendo así, un primer patrón dado por lodo en las cuencas centrales y arena en los márgenes, lo cual es común en lagunas obstruidas y restringidas micro-mareales; un segundo patrón dado por arena en las partes centrales y lodo a lo largo de los márgenes, el cual se propicia en lagunas obstruidas o restringidas micro-mareales donde el suministro de sedimentos finos es bajo, y el piso de la misma está sujeto a la acción de fuerte oleaje que impide la depositación de limo y arcilla en el centro, por lo cual el mismo es transportados por las corrientes hasta ser depositado en márgenes protegidos; y un tercer y último posible patrón dado por arena gruesa hacia los canales de entrada y lodo en las superficies mareales y márgenes, el cual ocurre en lagunas agujereadas meso y macro-mareales (Nichols y Boon, 1994).

1.11. Interacción agua-sedimento

Por último, es de vital importancia, enfatizar que la mayoría de los fenómenos químicos importantes asociados con sistemas naturales, no se producen en solución, ni netamente en el sedimento, sino que más bien ocurren, en la interfase que forman ambos componentes; y es así, como algunos residuos peligrosos se depositan en los sedimentos dentro de sistemas acuáticos, de los que pueden luego pasar al agua a través de procesos químicos o físicos y generar efectos de contaminación graves (Manahan, 2001). Y en función de la interacción y el equilibrio agua-sedimento, se hace necesario resaltar los diversos parámetros y procesos físico-químicos que van a jugar un papel importante.

1.11.1. Parámetros físico-químicos

La interacción agua-sedimento, es afectada por los siguientes parámetros físico-químicos:

1.11.1.1. Temperatura

La temperatura que presente la columna de agua influirá en la solubilidad, y por lo tanto, en la movilización y disponibilidad de los diferentes elementos presentes. A bajas temperaturas se da un incremento en la fijación de carbono orgánico en la columna agua, trayendo un medio más acidificado, y por lo tanto la movilización de ciertas especies químicas; del mismo modo el aumento de la temperatura dentro de los sistemas naturales se favorece por ausencia de vientos fuertes y de precipitaciones, así como por renovación escasa del agua (Siegel, 2002; Ferrain *et al.*, 2010).

1.11.1.2. Alcalinidad

En general, las especies básicas responsables de la alcalinidad en las aguas, son los iones carbonato, bicarbonato e hidróxidos, y en menor cantidad el amoníaco, ácidos orgánicos y bases conjugadas de fósforo, silicio y boro. Respecto a la relación de la

alcalinidad con el pH, es importante distinguir entre la alta basicidad, que se manifiesta por un pH elevado, y la alta alcalinidad, que es la capacidad de aceptar protones; así, mientras que el pH es un factor de intensidad, la alcalinidad es un factor de capacidad (Manahan, 2001).

1.11.1.3. Acidez

La acidez generalmente resulta de la presencia de ácidos débiles tales como H_2PO_4^- (dihidrogenofosfato), CO_2 , H_2S , proteínas, ácidos grasos, y de los iones metálicos ácidos como el Fe^{3+} (Manahan, 2001).

1.11.1.4. pH

El pH puede alterar la carga superficial de las caras de los minerales de arcilla, de la materia orgánica y de los óxidos de Fe y Al y por consiguiente su capacidad para sorber diversos elementos dentro de los sistema, la cual generalmente aumenta con el incremento del pH (Adriano, 2001).

1.11.1.5. Potencial REDOX

Las reacciones redox en agua implican la transferencia de electrones entre especies químicas. En las aguas naturales, aguas residuales, y el suelo, las reacciones más importantes de oxidación-reducción se llevan a cabo por organismos vivos. En muchos casos éstas reacciones pueden involucrar cambios en el pH o la temperatura dentro de los ambientes naturales. El Eh junto al pH pueden considerarse como las principales variables que controlan las reacciones geoquímicas en ambientes geológicos y acuáticos (Adriano, 2001; Manahan, 2001; Berkowitz, 2008).

1.11.1.6. Salinidad – Conductividad:

La salinidad de las lagunas es controlada por el intercambio de agua con agua de mar, y la cantidad de agua dulce entrante. Cuando los sistemas fluviales llegan a sistemas lagunar-costeros, la salinidad disminuye desde la entrada hasta la

desembocadura del río. Por lo general, el agua salada dentro de las lagunas costeras, se presenta en forma de cuña, por debajo del agua dulce; contrariamente, cuando el sistema, no presenta entrada de agua dulce, se propician condiciones de hipersalinidad (Reineck y Singh, 1975).

1.11.2. Procesos físico-químicos

Del mismo modo que los parámetros físico-químicos están presentes y afectan el equilibrio en la interfase agua-sedimento, lo hacen diversos procesos de la misma naturaleza, como lo son:

1.11.2.1. Sorción:

Es el proceso de atraer y retener en la superficie de un sólido, moléculas o iones de un líquido o un gas; tal fenómeno se puede subdividir según la naturaleza del mismo, en absorción si el proceso es de naturaleza química, y se ejerce atracción sobre un fluido con el que se está en contacto, de modo que las moléculas de este penetren en ella; o bien, en adsorción, cuando el fenómeno de sorción es de naturaleza física, y se basa en la incorporación de compuestos orgánicos o inorgánicos sobre las superficies de las partículas, ya sea en suelo, sedimentos, o material en suspensión, pudiéndose además medir por un coeficiente de partición, el cual establece la relación de la concentración del compuesto sobre el sólido y el agua que rodea el sólido; y finalmente está la desorción, que indiferentemente de la naturaleza, conduce a la separación de moléculas o iones de la superficie de un cuerpo a partir de otro cuerpo (Manahan, 2007).

1.11.2.2. Precipitación:

Es la formación de sólidos mediante procesos de nucleación, en sistemas acuáticos, producto de un incremento en la concentración de las especies; es decir, por sobresaturación del medio. Este proceso está determinado por la naturaleza de las

especies presentes y las características fisicoquímicas del medio (Yariv y Cross, 1979; Rayner-Canham, 2000).

1.11.2.3. Co-precipitación:

Es el proceso por el cual los compuestos solubles, son separados del medio acuoso como resultado de la precipitación de otro elemento más abundante. Durante la coprecipitación ocurren procesos de adsorción, formación de cristales mixtos, oclusión y atrapamiento mecánico (Thornber, 1992).

1.11.2.4. Floculación:

Ocurre cuando las partículas pequeñas suspendidas en el agua, forman agregados o flóculos más grandes; un flóculo de sedimento se compone así, de muchas pequeñas partículas primarias y su velocidad de sedimentación es normalmente más alta que la de partículas individuales contenidas dentro del flóculo (Middleton *et al.*, 2003).

De igual forma, también existe la biofloculación, que se debe a que polímeros orgánicos pueden sorberse en la superficie de las partículas de sedimento, y originar así grandes agregados con alto contenido orgánico; y la formación de gránulos fecales, que es cuando algunos organismos se alimentan de partículas de sedimentos de grano fino y posteriormente los excretan como gránulos o pseudo-gránulos fecales (van Leussen, 1994, extraído de Middleton *et al.*, 2003; Edelvang y Austen, 1997, extraído de Middleton *et al.*, 2003).

1.11.2.5. Formación de complejos

En los sistemas naturales acuáticos, es un proceso que se da debido a que los iones metálicos siempre están unidos a las moléculas de agua, formando iones hidratados; además, pueden estar presentes otras especies, que se unen al ión metálico con más fuerza que la del agua. Más específicamente, un ión metálico en el agua puede combinarse con una especie o compuesto denominado ligando, para formar un complejo o compuesto de coordinación. (Manahan, 2001).

Un segundo tipo de complejo, son los compuestos organometálicos, que difieren de los anteriores, ya que en ellos la unión del metal ocurre con un ligando orgánico, mediante un enlace carbono-metal; y además de ligandos, existen los denominados agentes quelantes, que tienen más de un átomo que pueden estar unidos a un ión metálico central a la vez para formar una estructura de anillo (Manahan, 2001).

1.12. Problemas ambientales debido al exceso de nutrientes

Finalizando la sección correspondiente a los aspectos teóricos que concierne el presente trabajo de investigación, cabe mencionar el principal problema que podría acarrear el exceso de estas especies nutrientes dentro de los sistemas naturales acuáticos, como es el caso de las lagunas costeras.

1.12.1. Eutrofización:

La eutrofización es un proceso con implicaciones severas en la biodiversidad y en las relaciones ecológicas dentro de los sistemas; es un proceso natural que se presenta cuando la productividad de un cuerpo de agua (laguna, estuario, mar costero) aumenta como resultado del sobre-enriquecimiento de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) y estimula el crecimiento de algas (Herrera-Silveira *et al.* 2011).

Los problemas típicos de la eutrofización observados alrededor del mundo, impactan directamente en la comunidad biótica, ya que tal proceso conlleva incremento en las concentraciones de clorofila *a* (indicador del fitoplancton), florecimientos de algas nocivos y tóxicos, reducción del oxígeno y transparencia, así como alta biomasa de macroalgas (verdes filamentosas y algas rojas) y pérdida de la vegetación acuática sumergida y fauna bentónica; siendo así un efecto negativo sobre la salud del ecosistema y los servicios ambientales que ofrecen (Herrera-Silveira *et al.* 2011).

2. ANTECEDENTES

A continuación, en ésta sección, se presentan diversos estudios realizados en relación al tema de la presente investigación, siendo así todos ellos, concernientes a la determinación de C, N, y P, sistemas acuáticos y al análisis de muestras de sedimentos de tales sistemas.

Los sistemas naturales acuáticos, haciendo énfasis en las lagunas costeras, presentan dentro de sus componentes diversos elementos, comprendiendo dentro de ellos a C, N y P, los cuales son aportados ya sea mediante fuentes autóctonas o alóctonas, naturales o antrópicas; y es en función de dichas fuentes que surgen las relaciones inter-elementales, C/N y C/P, que permiten determinar y discernir entre ellas, aplicándose en muestras de suelos o sedimentos, en función de las relaciones naturales que existen entre tales elementos dependiendo de donde provengan, sin hacer distinción entre un sistema u otro; esto es demostrado por **Hou et al. (2013)** al determinar la relación C/N para sedimentos superficiales del Lago Daihai en China, la cual mostró valores entre 8,2 y 12,1, indicando un aporte de MO de tipo terrestre.

En el mismo orden de ideas, es necesario mencionar que el utilizar las relaciones inter-elementales C/N y C/P debe realizarse con cuidado, y haciendo además uso de la mayor cantidad de información disponible sobre el sistema de bajo estudio, ya que dependiendo de las características propias del mismo tal relación puede no ser aplicable, como ocurre en el caso de **Padrón (2015)**, quién concluye que la relación C/P no es aplicable para el caso de los sedimentos de fondo del río Aroa, debido a que obtiene valores para la misma entre 353 y 4059, los cuales son consecuentemente atribuidos a una muy baja concentración de fósforo en los sedimentos estudiados.

Del mismo modo, la distribución espacial de C, N, P y S, debe presentar mayores concentraciones hacia las zonas donde se encuentre las fuente de los mismos dentro del sistema, esto se puede ver en el caso de **Velázquez (2013)**, donde al estudiar la fracción limo-arcilla de los sedimentos de varias zonas de la isla de Margarita, obtuvo que para la Laguna Las Marites, el CT (con un promedio de 7,28%) presentaba sus

mayores concentraciones hacia las zonas más someras donde de manera natural son liberados nutrientes, mientras que el CO (entre 1,40 y 7,33%) y el NT (entre 0,24 y 0,78%) presentaban el mismo comportamiento entre sí, asociándose ambos a fuentes naturales, dadas por el aporte asociado a zonas de manglar y a su correspondiente productividad, por otro lado, sugiere además un aporte por fuentes antrópicas, derivado de una planta de tratamiento ya clausurada aledaña a zona, así como a las aguas residuales domésticas de las poblaciones vecinas; del mismo modo se determinó en su estudio, que para la Laguna La Restinga, el CT (un promedio de 6,79%), el CO (entre 0,78 y 13,80%) y NT (entre 0,14 y 1,43%) también presentaban mayores concentraciones hacia las zonas donde se encontraba su fuente, en este caso, las zonas de manglares.

Los sistemas fluviales, al representar en muchos casos una importante entrada de aguas dulces hacia los sistemas lagunar-costeros, se hacen importantes ya que pueden transportar gran cantidad de elementos, y entre ellos los de interés en ésta investigación, tal como ocurre en el río Tuy, donde **Nasser (2012)**, al estudiar la distribución de C, N, P y S, en sus sedimentos de fondo, concluye que el mismo presentaba un promedio de 0,14% de NT, y de 727 $\mu\text{g/g}$ de PT, y atribuye éstas concentraciones a fuentes antrópicas, como lo son los asentamientos urbanos, y las aguas residuales de actividades industriales y agrícolas; de igual forma determinó CT, y ST obteniendo valores promedio de 1,44% y 0,209%; respectivamente.

Es importante destacar, que las características de un sistema lagunar costero contaminado, serán diferentes a las presentes en sistemas naturales no contaminados, ya que el equilibrio del mismo, se altera o perturba; esto se puede apreciar en el estudio realizado por **De La Lanza-Espino et al. (2011)**, donde se determinan los contenidos de nutrientes y las proporciones C:N:P, en sedimentos de un complejo lagunar costero tropical contaminado, al noroeste de México, obteniéndose valores muy altos de los mismos, teniéndose para la Bahía de Altata valores de CT entre 662 y 974 $\mu\text{mol/g}$, de NT entre 11 y 75 $\mu\text{mol/g}$ y de PT entre 11 y 27 $\mu\text{mol/g}$; mientras que para la Laguna Ensenada del Pabellón, se obtienen para CT valores entre 2340 y 4080 $\mu\text{mol/g}$, para

NT de 121 a 635 $\mu\text{mol/g}$, y entre 18 y 40 $\mu\text{mol/g}$ para PT; dichos autores sabiendo de la existencia de la fuerte contaminación del sistema estudiado, atribuyen los altos valores obtenidos a escorrentías agrícolas y descarga de industrias alrededor de la zona.

En otro orden de ideas, pero en función del sistema de trabajo, se tiene que **Brun (2013)**, realiza un estudio geoquímico de los elementos C, N y S, en los sedimentos de fondo de la Laguna de Tacarigua, la cual junto a las de Unare y Píritu, conforma un complejo lagunar; correspondiente a dicho estudio, los resultados muestran para tres diferentes períodos (marzo, 2010; marzo, 2011; agosto, 2011) unas concentraciones promedio de CT (4,04%; 4,70%; 4,36%), CO (3,55%; 4,08%; 3,61%), Cl (0,49%; 0,62%; 0,77%), NT (0,38%; 0,37%; 0,39%) y ST (3,28%; 4,67%; 4,33%) respectivamente, que pueden ser usadas como primer valor de comparación o referencia, una vez obtenidos los datos del presente trabajo, debido básicamente a la relación entre ambos sistemas, y a las características similares de los mismos. Además se tiene que la Laguna de Tacarigua, debido al aporte de diversos afluentes y a la intrusión de agua marina en aguas más dulces, presenta mucha variabilidad de los parámetros físico-químicos (**Díaz, 2012**).

Por otra parte, se tiene que **Senior et al. (1999)**, realizaron un estudio oceanográfico y de calidad de las aguas y sedimentos del Río Unare y las lagunas de Unare y Píritu, en donde concluyeron que el río aporta hacia ambas lagunas una alta cantidad de MO fosforada, N y P derivado de fuentes antrópicas que drenan hasta el mismo, tal conclusión se debe a que ellos determinaron que el río presentaba altas concentraciones de NT (entre 89,96 y 94,25 $\mu\text{mol/L}$) debido a aguas servidas y PT (entre 3,21 y 3,99 $\mu\text{mol/L}$); así mismo determinan que ambas lagunas presentaban sedimentos superficiales que en su mayoría correspondían a la fracción fina de tipo arcilloso, teniendo la laguna de Unare un promedio de 86,96% de arcilla; 9,45% de limo; y 3,59% de arena; y la de Píritu 83,77% de arcillas; 11,62% de limo y 4,62% de arena. El mismo estudio concluye además que ambas lagunas tienen propiamente un alto contenido de MO y un pH también alto (entre 8,17 y 8,39), que demuestran una elevada productividad en ambos sistemas.

Es **Martínez (2002)**, quién concluye que las lagunas de Píritu y Unare son sistemas marino-costeros que presentan gran impacto antrópico, lo que a su vez está deteriorando la calidad de sus aguas, y que además están siendo afectadas por las corrientes cargadas de contaminantes del río Unare; así como demuestra que también en ambos sistemas hay altos valores de elementos metálicos en la fracción disponible del sedimento, el Cd (entre 5,82 y 6,53 $\mu\text{g/g}$ para Píritu, y entre 2,86 y 3,01 $\mu\text{g/g}$ para el caso de Unare) supera el valor establecido para sedimentos no contaminados, al igual que determinó valores altos de Cu (entre no detectado y 10,20 $\mu\text{g/g}$), Cr (entre no detectado y 6,89 $\mu\text{g/g}$), Zn (entre 9,44 y 23,87 $\mu\text{g/g}$) y Ni (entre 0,40 y 5,42 $\mu\text{g/g}$) dentro de dichos sistemas.

Por su parte, se tiene que la Laguna de Píritu, para 2006 presentó evidencias de posible contaminación, cuando **López et al. (2006)**, determinaron en sedimentos superficiales los valores de algunos metales, en su estado intercambiable, para determinar así su posible disponibilidad dentro del sistema, obteniendo para el Cd valores < 0,56 $\mu\text{g/g}$ y para el Pb un promedio de 1,4 $\mu\text{g/g}$, asociándolos a actividades antrópicas; no siendo así el caso de Fe (<1,67%) y Cr (<0,26 $\mu\text{g/g}$) asociados a un origen litogénico con muy bajo aporte antrópico; además dichos autores concluyen que el Cd y el Pb se encontraban mayormente disponibles para ser asimilados por diversos organismos.

De manera análoga, para el caso de la laguna de Unare, se tiene también evidencia de posible contaminación, debido a que **Fermín (2002)**, al estudiar los sedimentos superficiales de tal laguna, determinó valores de NT elevados en casi toda la laguna (3,90-9,54mg/g), atribuidos a aguas servidas con entradas directas hacia la laguna y hacia los ríos Chávez y Cautaro que también la alimentan; valores de PT con variaciones espaciales (desde 0,04 hasta 0,18mg/g), siendo sin embargo ambos considerados bajos y como no contaminantes; y la distribución de la concentración de metales como Cu, Cd, Zn, Pb, Fe, Mn, Cr, Ni y Hg, obteniendo que a un primer grupo dado por Cu, Zn, Fe, Cr y Ni, corresponde a un origen litogénico, mientras que a un segundo grupo (Cd, Pb, Mn y Hg), corresponde a un origen antrópico.

Del mismo modo, se tiene que una segunda evidencia del deterioro de la laguna de Unare, viene dada por **Márquez et al. (2008)**, quienes realizaron un estudio de cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos, además de material en suspensión y sedimentos superficiales de dicha laguna, en donde concluyeron que tal sistema presentaba en el agua bajos valores de metales pesados, siendo estos $<0,001\mu\text{mol/L}$ para Cd; entre 0,004 y $0,012\mu\text{mol/L}$ para Cr; entre 0,0012 y $0,0075\mu\text{mol/L}$ para Cu; entre 0,104 y $0,530\mu\text{mol/L}$ para Fe; entre 0,004 y $0,060\mu\text{mol/L}$ para Pb; y de 0,002 a $0,028\mu\text{mol/L}$ para Zn; mientras que para el caso de los sedimentos superficiales se obtuvo que tales concentraciones de metales fueron decreciendo en función de cada metal $\text{Mn } (516,37\mu\text{g/g}) > \text{Zn } (127,49\mu\text{g/g}) > \text{Ni } (52,41\mu\text{g/g}) > \text{Cr } (51,69\mu\text{g/g}) > \text{Cu } (41,13\mu\text{g/g}) > \text{Pb } (29\mu\text{g/g}) > \text{Cd } (1,51\mu\text{g/g})$, sobrepasando todos en gran magnitud a los niveles considerados como contaminantes por otros autores, lo cual refleja un importante deterioro ecológico de tal ecosistema, que puede acarrear futuramente la pérdida del mismo.

Considerando ahora los problemas ambientales que pueden originarse por exceso de nutrientes dentro de los sistemas acuáticos, **Lukawska et al. (2014)** concluyen que dicho fenómeno origina a su vez un alto aporte de MO a dichos sistemas, contribuyendo con dicha sobreacumulación de elementos como C, N, P y S.

3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en la costa norte de Venezuela, específicamente al norte del estado Anzoátegui, en contacto con el Mar Caribe, y viene dada por las lagunas de Unare y Píritu (figura 4); que en conjunto con la laguna de Tacarigua, se encuentran comprendidas dentro de la cuenca sedimentaria Tuy-Cariaco, constituida por rocas sedimentarias de tipo caliza, asociadas a lutitas y areniscas, del Cretácico Superior y del Terciario; y las barreras de ambas se formaron por un mismo fenómeno de depositación asociado al río Unare (Senior *et al.*, 1999).



Figura 4. Mapa de las lagunas de Unare (izquierda) y Píritu (derecha), al norte del estado Anzoátegui (Tomado de Google Earth, 2016)

A modo general, en función de la hidrografía del sistema, se puede decir que ambas lagunas presentan afluentes de regímenes intermitentes, exceptuando los ríos Unare, Chávez y Cautaro; mientras que en función de la geomorfología se define que la zona presenta un relieve que varía de llano a ondulado, con altitudes de 0 a 400msnm; y por último en relación a la vegetación, dicha zona presenta amplias extensiones de matorral seco asociadas a uso agrícola, y manglares que crecen sobre la zona protectora de las

lagunas de Unare y Píritu, y abarcan alrededor de 3,1km² (Rodríguez y González, 2001).

El clima predominante en el sistema de estudio, es de bosque seco tropical, con precipitaciones crecientes en sentido noreste-sureste, además se caracteriza por presentar un régimen pluvial monomodal, con dos períodos bien definidos, uno seco (finales de noviembre-principios de mayo) con posibles precipitaciones mínimas entre febrero y marzo, y otro lluvioso (finales de mayo-principios de noviembre), durante el cual precipita más del 80% del total anual de 700mm³ (Senior *et al.*, 1999; Rodríguez y González, 2001).

3.1. Laguna de Unare

La Laguna de Unare, es representada por un cuerpo de agua somera, y se encuentra localizada en la región nor-oriental de Venezuela, más específicamente en la costa nor-este del estado Anzoátegui, entre las coordenadas 08°44'08" y 10°06'27" de latitud norte y 65°12'49" y 65°75' 40" de longitud oeste. Se caracteriza por presentar una extensión de 22 km en dirección este-oeste a lo largo del litoral y un ancho de aproximadamente 6km en dirección norte-sur; así como, una barrera arenosa, que la separa del Mar de Caribe, con un ancho entre 300 y 600m, y que presenta dos bocas de comunicación con el mar, denominadas Boca Mora y Boca Nueva (Senior *et al.*, 1999; Martínez, 2002).

Dicha laguna, en época de sequía presenta un área cubierta de agua entre 41 y 44km², con profundidades entre 0,3 y 0,5m, y en dicha época además se cierra la comunicación que mantiene con el mar, debido al aporte arenoso de la corriente marina; mientras que en época de lluvia dicho cierre se reabre, y además se surten ambas lagunas de agua dulce presentando Unare, un área cubierta de agua de 60 a 64km², con una profundidad media entre 1,5 y 1,7m (Senior *et al.*, 1999; Martínez, 2002).

En general tal sistema, recibe un gran aporte de sedimentos fluviales, provenientes de los ríos Cautaro, Chávez y Unare (único que se mantiene en época de sequía) y de

las Quebradas Seca y Cararache (Martínez, 2002). Del mismo modo es afectada por la Corriente Ecuatorial del Norte, llamada también de Guayana, con dirección predominante Oeste (Senior *et al.*, 1999).

3.2. Laguna de Píritu

La Laguna de Píritu, se ubica específicamente en la parte nor-occidental del Estado Anzoátegui, entre 10°02'43" y 10°03'40" de latitud norte, y 65°00'40" y 65°09'01" de longitud oeste, y presenta una longitud máxima de 16,5km en dirección este-oeste, y una anchura máxima de 5km en dirección norte-sur; cubre una superficie total de 37km², siendo por su extensión catalogada como la tercera laguna litoral del país (Senior *et al.*, 1999).

Dicha laguna, se encuentra separada del mar por una barra también de tipo arenosa de 100 a 300m de ancho. En el extremo oriental de la barra se abre una boca de unos 200m de ancho que permite la comunicación con el mar y se tapa regularmente, debido a la alta sedimentación, por lo cual requiere de un dragado, que permita recuperar la comunicación entre el agua de la laguna y el agua del mar; su profundidad media es de 0,5m en época de lluvia, pero en época de sequía disminuye volviéndose casi laminar. A diferencia de Unare, Píritu presenta un sólo aporte fluvial, dado por el río Unare (Senior *et al.*, 1999; Martínez, 2002).

IV. MARCO METODOLÓGICO

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación, el trabajo metodológico seguido se dividió en cuatro etapas, y las mismas serán desarrolladas detalladamente a continuación:

1. Etapa de pre-campo

Durante ésta etapa se establecieron los diferentes aspectos teóricos que permitieron comprender de manera clara las diversas características que presentan los elementos C, N y P dentro de los sistemas naturales acuáticos, enfatizando en los ambientes lagunar-costeros.

Se recopiló material sobre el área de estudio, incluyendo mapas, revistas, artículos, entre otros, que permitieron conocer las distintas características y factores que actúan sobre la zona de estudio, y de acuerdo a ello se pudo proponer un muestreo de tipo sistemático, constituido por un mallado para ambas lagunas, con el fin de cubrir mayor área y poder realizar la interpolación de los datos químicos. Por último, en ésta etapa se preparó todo el material y equipo necesario para llevar a cabo el muestreo, lo cual incluyó la calibración de la sonda multi-paramétrica usada para las mediciones de los diferentes parámetros físico-químicos.

2. Etapa de Campo

Se llevó a cabo una sola campaña de muestreo, a finales del mes de junio del presente año (2016); la misma consistió en el traslado a la zona de estudio, donde se realizó la captación de las muestras de sedimentos de fondo, y así mismo se determinaron de manera simultánea los parámetros físico-químicos (pH y conductividad); tales mediciones se realizaron con ayuda de una sonda multi-paramétrica calibrada, marca Thermo Scientific Orion 5 Star (ver apéndice 1).

El muestreo llevado a cabo en el presente trabajo de investigación fue de tipo sistemático, y dado para el caso de la Laguna de Unare por un mallado de

aproximadamente 2x2km, en función de sus dimensiones, mientras que por la misma razón el mallado para la Laguna de Píritu, fue dado por 1,5x1,5km. Las muestras fueron captadas utilizando una draga marca Petersen (ver apéndice 2) (1Kg de muestra en húmedo) y colocadas en bolsas plásticas previamente rotuladas e identificadas, así como conservadas a bajas temperaturas (<5°C) hasta su traslado al laboratorio. Cada punto de muestreo fue ubicado en el mapa respectivo, con ayuda de un sistema de posicionamiento global (GPS).

3. Etapa de laboratorio

Esta etapa del trabajo se sub-dividió en dos etapas, la primera correspondiente al tratamiento físico de las muestras, y la segunda al tratamiento químico respectivo para la determinación de cada elemento de interés:

3.1. Tratamiento físico de las muestras

En esta sección, y con el fin de cumplir con el segundo objetivo planteado en el presente estudio, las muestras fueron tamizadas vía húmeda, utilizando para ello tamices de acero inoxidable (<62,5µm), obteniéndose así de manera individual la fracción lodo (limo-arcilla). De igual forma se determinó el contenido de material de tamaño de grano mayor e igual a las arenas (>62,5 µm).

Cada fracción obtenida para cada muestra, fue secada con ayuda de una estufa marca Memmert U60 (40-60°C), posteriormente se determinó el porcentaje de la fracción lodo respecto a la totalidad de las muestras. Y finalmente la fracción lodo correspondiente a cada muestra fue pulverizada y homogenizada para proceder a realizar las determinaciones químicas que corresponden a carbono total (CT), carbono inorgánico (CI), carbono orgánico (CO), nitrógeno total (NT), y fósforo total (PT).

3.2. Etapa de laboratorio

Para validar y dar calidad a los resultados obtenidos, se realizaron cinco réplicas de una muestra aleatoria, en función de determinar valores de precisión de los métodos empleados; así mismo se realizaron determinaciones de cada especie de interés en estándares certificados.

3.2.1. Determinación de Carbono Inorgánico (CI)

El porcentaje de CI se determinó a través del método de termogravimetría, para lo cual se pesaron alrededor de 2,0g de muestra en crisoles de porcelana, y a continuación fueron sometidos a una rampa de calentamiento dada por: 450°C – 2horas, 550°C – 2horas, 950°C – 2horas, dentro de una mufla, marca TEMCO, modelo 1300, en donde tras alcanzar las diversas temperaturas se procedió a realizar la cuantificación de la pérdida de masa a cada una de ellas, con el fin de obtener en la primera rampa la pérdida de masa asociada al porcentaje de materia orgánica; en la segunda, la pérdida asociada al agua de las arcillas presentes, y en la tercera y última, la pérdida asociada a la fracción de carbonatos.

Una vez realizada la determinación de la pérdida de masa a 950°C, mediante la ecuación 6, se determinó el porcentaje de CI presente en las muestras (figura 5).

$$\%CI = \frac{Masa_{(perdida\ a\ 950^{\circ}C)} \times PM_{(C)}}{PM_{CO_2} \times Masa_{(muestra)}} \times 100$$

Ecuación 6. Determinación de CI

Donde

Masa_(perdida a 950°C) = masa de muestra perdida a 950°C

PM_(C) = peso molecular de carbono (12,0067g/mol)

PM_(CO₂) = peso molecular del dióxido de carbono (44,0095g/mol)

Masa_(muestra) = masa inicial de la muestra

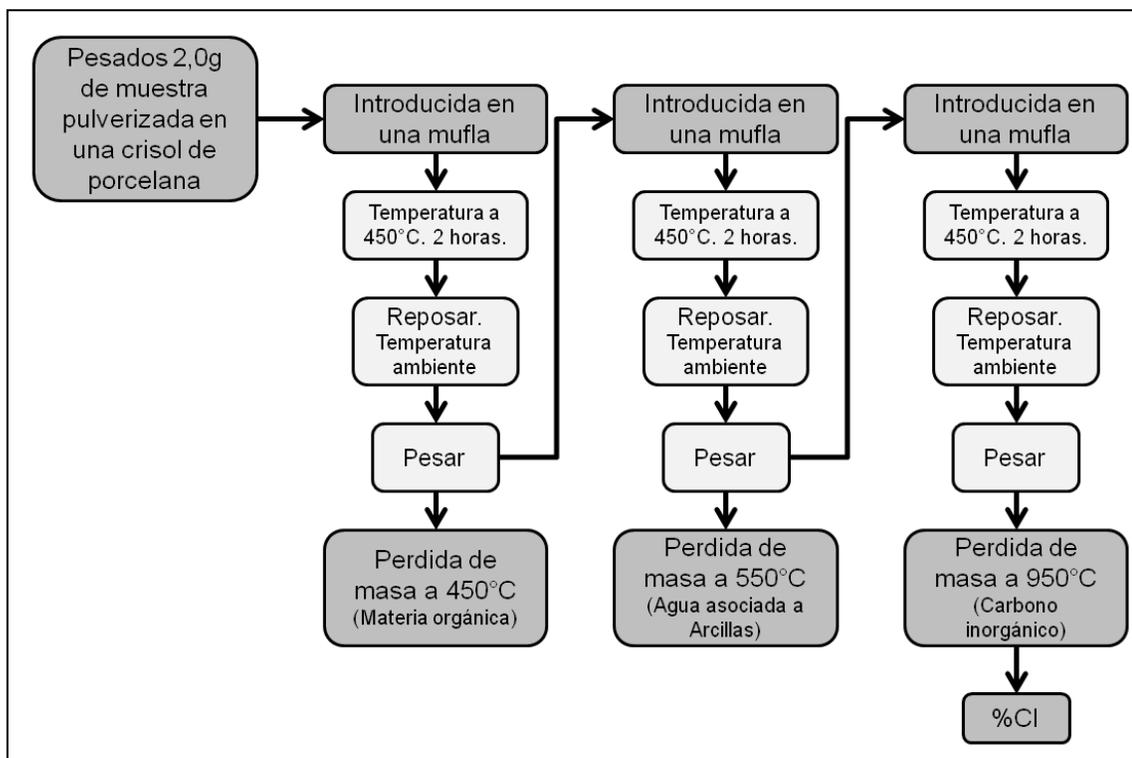


Figura 5. Determinación de Cl

3.2.2. Determinación de Materia Orgánica (MO)

Adicionalmente, mediante la rampa utilizada en el análisis termogravimétrico se determinó el porcentaje de materia orgánica (MO) asociada a las muestras, a través de la masa perdida a 450°C (figura 7), y haciendo uso de la ecuación 7:

$$\%MO = \frac{Masa_{(perdida\ a\ 450^{\circ}C)} \times 100}{Masa_{(muestra)}}$$

Ecuación 7. Determinación de MO

Donde

$Masa_{(perdida\ a\ 450^{\circ}C)}$ = masa de muestra perdida a 450°C

$Masa_{(muestra)}$ = masa inicial de la muestra

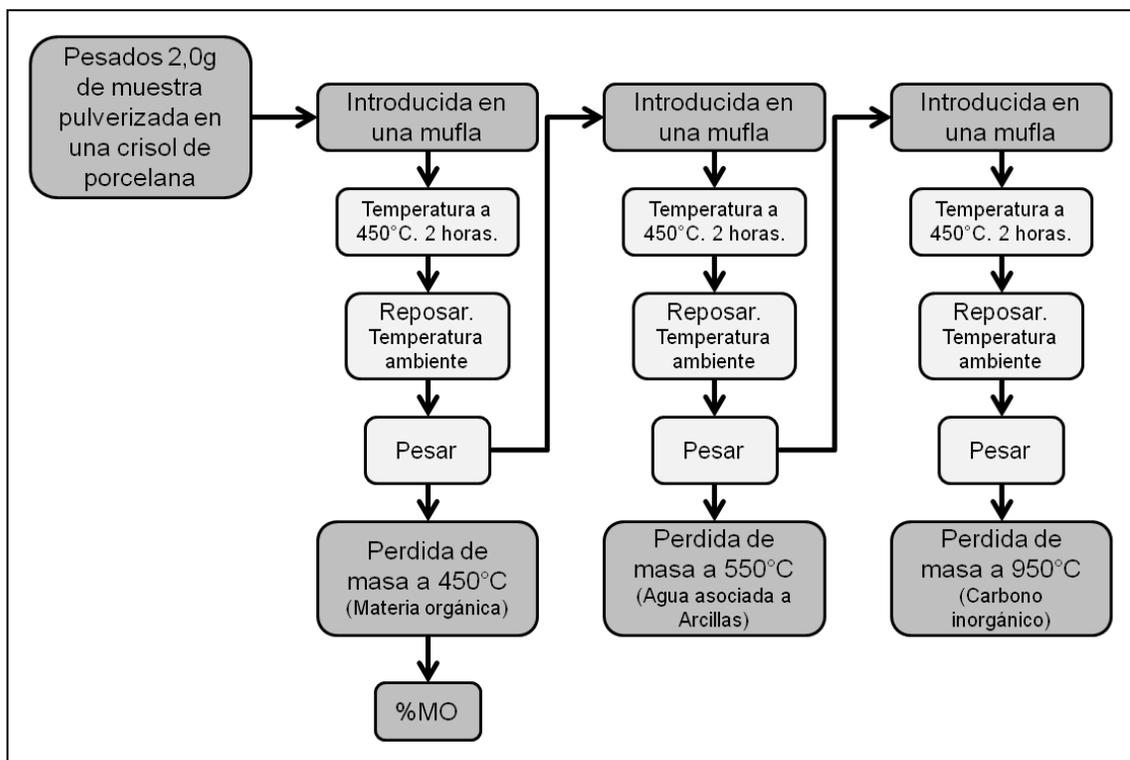


Figura 6. Determinación de MO

3.2.3. Determinación de Carbono Orgánico (CO)

El carbono orgánico (CO), fue determinado mediante la diferencia entre el CT medido con el analizador elemental LECO, y el CI medido a partir de los análisis termogravimétricos (ecuación 8).

$$\%CO = CT_{LECO} - CI_{termogravimetría}$$

Ecuación 8. Determinación de CO por diferencia

Donde

$CT_{(LECO)}$ = porcentaje de CT obtenido a partir del analizador elemental

$CI_{(termogravimetría)}$ = porcentaje de CI obtenido a partir del análisis termogravimétrico.

Adicionalmente, y como valor agregado al presente trabajo de investigación, se realizó una segunda determinación de CO, haciendo uso del factor de conversión

conocido como factor de Van Bemmelen a partir del %MO obtenido a partir del análisis termogravimétrico (ecuación 9). Del mismo modo se realizó la estimación del CO a partir de otro factor de conversión entre MO y CO (1,67), determinado por Hurtado (2015) al trabajar sobre el Golfo de Cariaco.

$$\%CO = \frac{\%MO}{f}$$

Ecuación 9. Estimación de CO a partir de factores de conversión

Donde

%MO = porcentaje de MO obtenido a partir del análisis termogravimétrico.

f = factor de conversión entre MO y CO = 1,724 para Van Bemmelen (Tabatabai, 1996) =1,67 para Hurtado.

3.2.1. Determinación de Carbono Total (CT)

En este caso, la determinación se realizó mediante el método de combustión seca, empleando un analizador elemental, marca LECO, modelo C-144 (ver apéndice 3); Para llevar a cabo dicho análisis se colocaron alrededor de 0,2g de muestra pulverizada en celdas de porcelana, a la cual se le agregó una pequeña cantidad de trióxido de tungsteno (WO_3), el cual actúa como catalizador de la combustión. Posteriormente la mezcla fue introducida en el horno con una temperatura de 1350°C, una presión de gas (oxígeno) de 40 psi, y una corriente de 19amp (Martínez y Martínez, 2011; Burbano, 2012).

Este procedimiento provocó la oxidación de carbono (C) a dióxido de carbono (CO_2), el cual fue detectado mediante una celda infrarroja que mide la absorción correspondiente a la vibración de “stretching” o estiramiento del doble enlace C=O. A partir de esta absorción, el sistema computarizado convirtió el resultado de la absorción en porcentaje de CT presente en la muestra (figura 5) (Martínez y Martínez, 2011; Burbano, 2012).

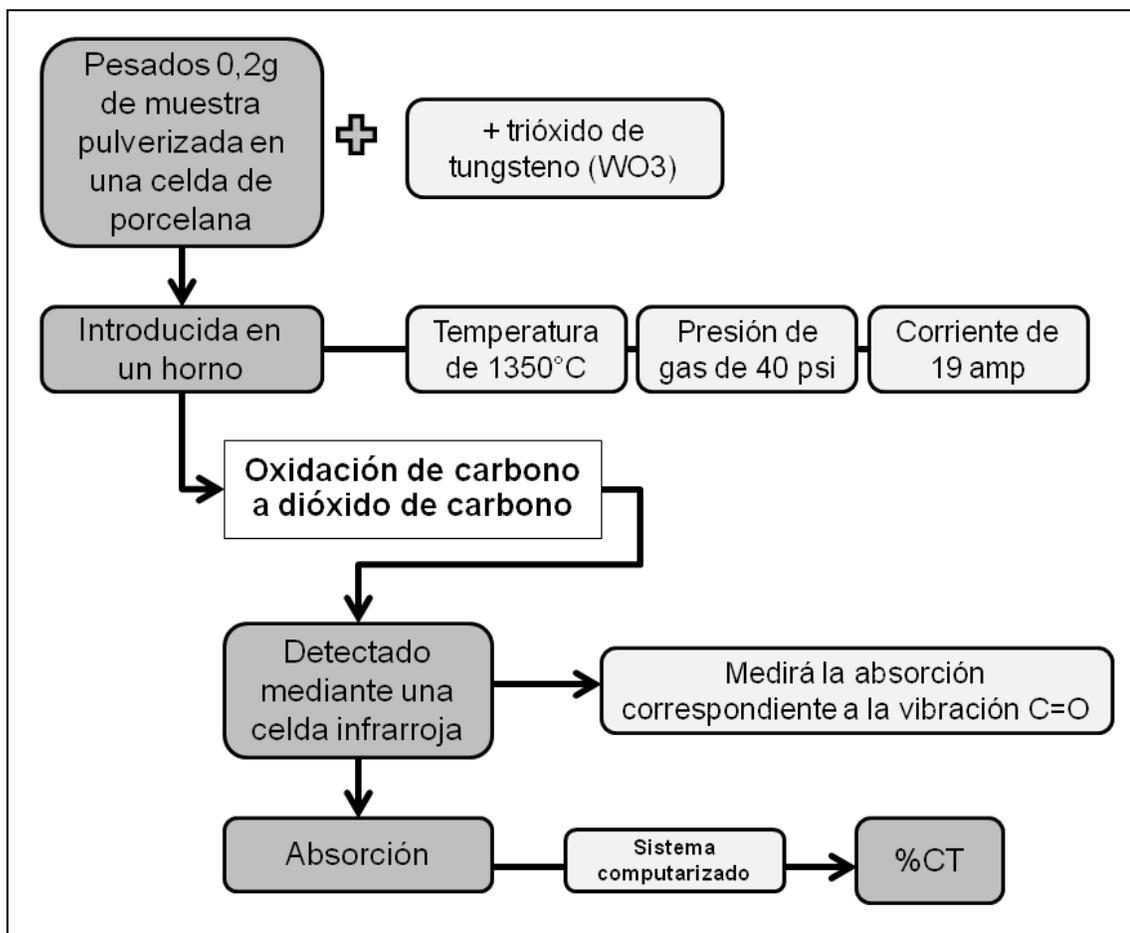


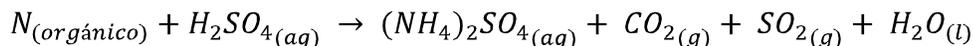
Figura 7. Determinación de CT

3.2.2. Determinación de Nitrógeno Total (NT)

La determinación de nitrógeno total (NT) se realizó mediante el método de Kjeldahl, modificado por Jackson (1976), el cual está basado en la conversión de nitrógeno a sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄). Es un método comprendido por tres procesos, la digestión de la muestra, y su posterior destilación y titulación (Jackson, 1976).

Para la **digestión de la muestra** (figura 8), se procedió a pesar 0,2g de sedimento pulverizado y se trasvasó a los tubos de Kjeldahl; luego se preparó catalizador Kjeldahl, pulverizando y homogenizando una mezcla de sulfato de potasio y sulfato de cobre II (relación 1:10), y se agregó del mismo 1,1g a cada uno de los tubos digestores. Luego

se agregaron 3mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado junto con dos perlas de ebullición (ecuación 10). Seguidamente, los tubos de digestión se colocaron con la trampa de humos en un bloque digestor marca VELP SCIENTIFICA, modelo DK (ver apéndice 4), con una rampa de calentamiento gradual desde 90 hasta 360°C (Paso 1 – 90°C-30 min; Paso 2 – 180°C-30 min; Paso 3 – 270°C-30 min; Paso 4 – 360°C-90 min) por aproximadamente cuatro horas; al transcurrir este tiempo los tubos se sacaron del bloque digestor y se dejaron reposar al aire libre hasta que alcanzaron temperatura ambiente (Jackson, 1976).



Ecuación 10. Digestión Kjeldahl

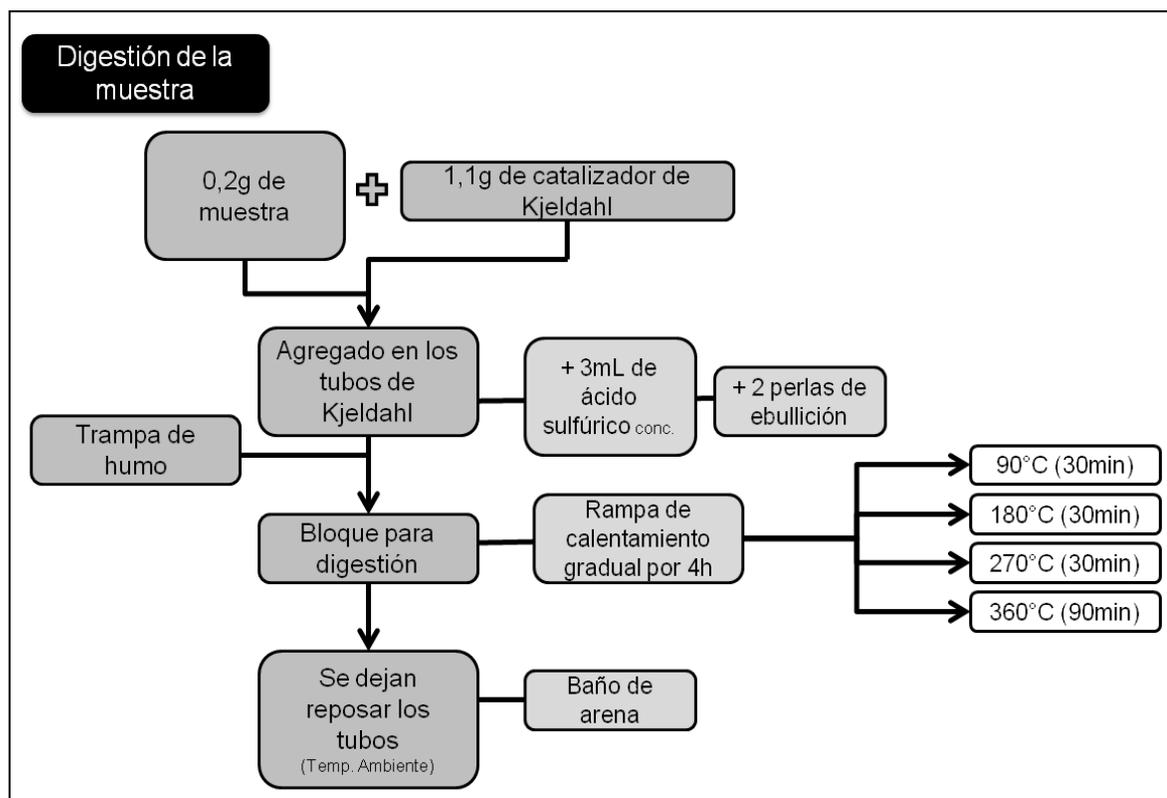
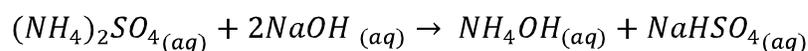


Figura 8. Etapa 1 del método de Kjeldahl. Digestión de la muestra

Posteriormente en este segundo sub-proceso se llevó a cabo la **destilación** de la muestra (figura 9), ensamblando dentro de una unidad de destilación automática de

Kjeldahl, marca VELP SCIENTIFICA, modelo UDK 149 (ver apéndice 5), los tubos Kjeldahl contenedores de la digestión de las muestras y acoplado al mismo una fiola contenedora de 10mL de ácido bórico (H_3BO_3) al 2% junto a cinco gotas de indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol en una relación 1:5); en dicho proceso el amonio (NH_4^+) fue transformado en amoníaco (NH_3) y liberado de la solución por destilación del vapor, en presencia de exceso de álcali (20mL de NaOH al 35%) (Ecuación 11). La destilación terminó de manera automática por el equipo, transcurridos 3min (tiempo en el que el equipo garantiza la completa liberación del amonio (NH_4^+)) (Jackson, 1976).



Ecuación 11. Destilación Kjeldahl

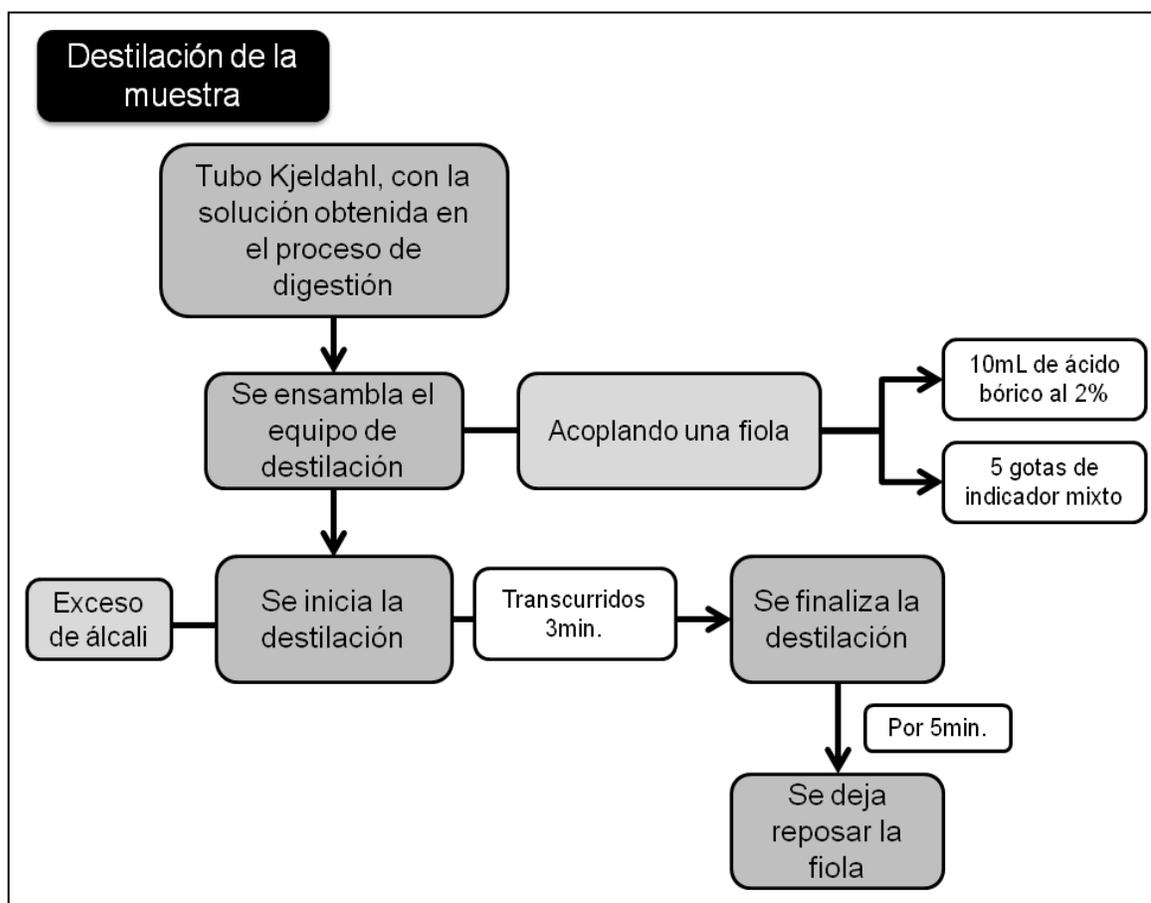
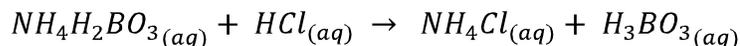


Figura 9. Etapa 2 del método de Kjeldahl. Destilación de la muestra

Como tercer paso del método Kjeldahl, se llevó a cabo **una titulación ácido-base** (figura 10) empleando ácido clorhídrico (HCl) estandarizado 0,0097M, en la que el ión borato (BO_3^-) fue neutralizado con los protones del medio, formándose ácido bórico (H_3BO_3) y cloruro de amonio (NH_4Cl) (ecuación 12). Para dicha titulación se determinó el punto de equivalencia empleándose de manera simultánea indicador mixto y un electrodo para pH, para así garantizar la confiabilidad de dicho punto equivalente.



Ecuación 12. Titulación ácido base de Kjeldahl

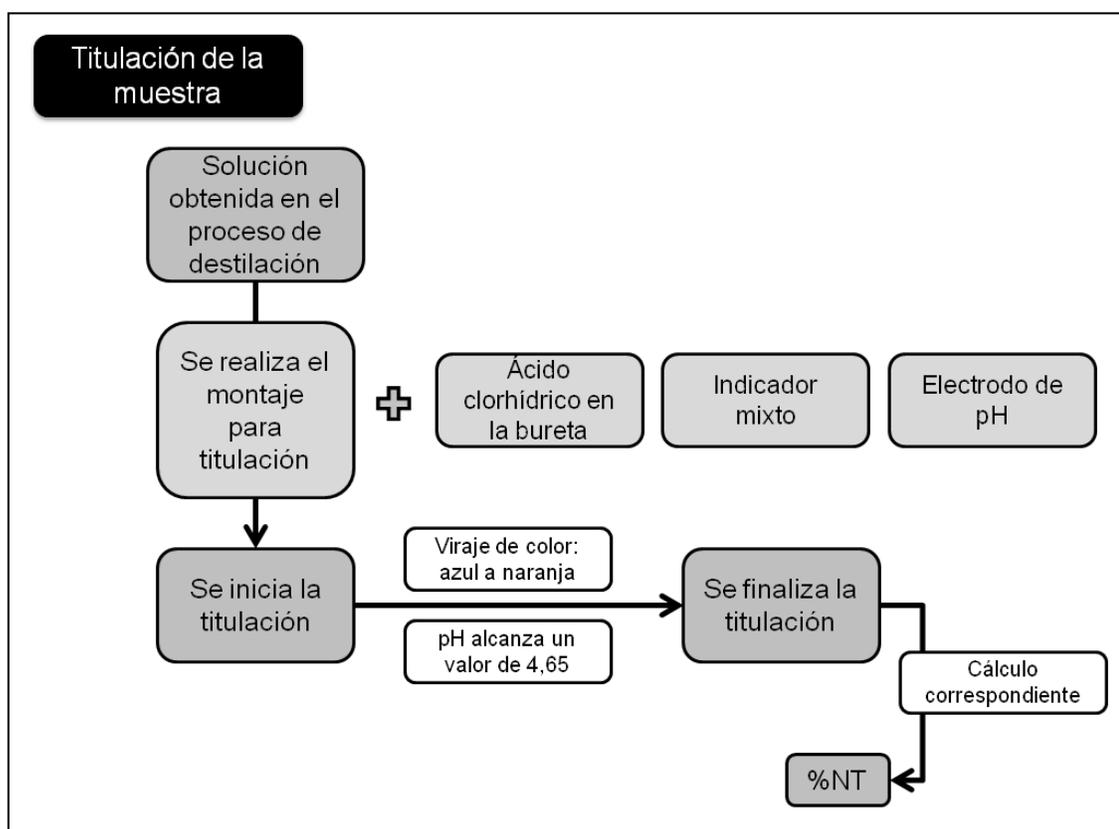


Figura 10. Etapa 3 del método de Kjeldahl. Titulación de la muestra

Mediante esta titulación se determinó la cantidad de NT en la muestra directamente, calculando los moles de ácido clorhídrico consumidos durante la titulación y relacionándolos con la masa inicial de la muestra utilizada (Jackson, 1976); dicha relación se muestra en la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{Vol. HCl_{(muestra)} - Vol. HCl_{(blanco)} \times M_{(HCl)} \times PM_{(N)} \times 100}{Masa_{(Muestra)} (g)}$$

Ecuación 13. Determinación de %N a través del método de Kjeldahl (Tomado de Jackson, 1976)

Donde:

Vol. HCl_(muestra) = volumen de HCl usado en la valoración de la muestra

Vol._(blanco) = volumen de HCl consumido en la valoración del blanco

M_(HCl) = concentración del HCl (0,0097mol/L)

PM_(N) = peso molecular del nitrógeno (14,0067g/mol)

3.2.3. Determinación de Fósforo Total (PT)

Para la determinación del fósforo se utilizó el método colorimétrico desarrollado por Murphy y Riley (1962); para ello inicialmente se preparó una solución patrón de fósforo, pesando 2,1976g de la sal fosfato di-ácido de potasio (KH₂PO₄) y disolviéndola en 0,5L de agua destilada, obteniéndose consecuentemente un patrón de fósforo de 1000,0mg/L P. A partir de esta solución madre se realizó una dilución de la misma, tomando una alícuota de 2,5mL y llevándola a un volumen de 0,5L de agua destilada y así se obtuvo una nueva solución patrón de 5,0mg/L. A continuación se tomaron diversas alícuotas con el fin de realizar las diluciones necesarias para realizar la curva de calibración (figura 11) (Murphy y Riley, 1962).

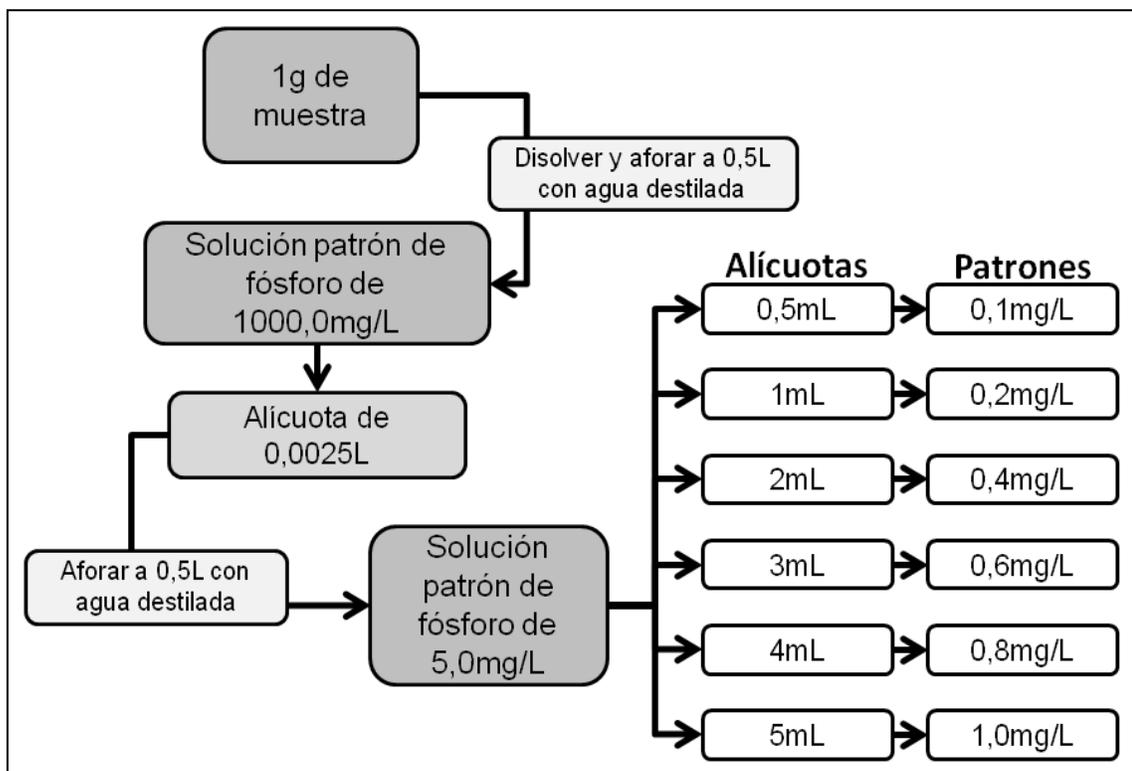


Figura 11. Preparación de patrones de fósforo para Murphy y Riley

Para determinar PT en las muestras, se llevó a cabo primero un proceso de digestión, el cual consistió en agregar en tubos digestores alrededor de 1g de muestra y a continuación 2mL de solución binaria, cuya preparación fue la siguiente: en un beaker de 500mL se adicionaron 120mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 95% y se colocó el mismo en una plancha de agitación dentro de una campana de extracción, luego se agregaron 0,0246g de pentóxido de vanadio (V_2O_5) y por último 30mL de ácido perclórico ($HClO_4$) concentrado, para dejar dicha mezcla en agitación constante con ayuda de agitadores magnéticos por un período de 24 horas (figura 12) (Murphy y Riley, 1962).

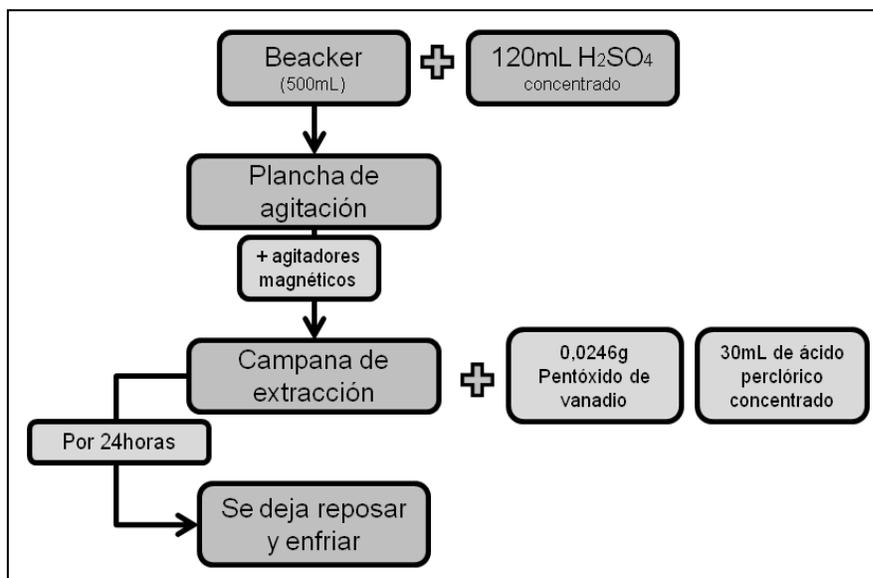


Figura 12. Preparación de solución binaria para Murphy y Riley

A continuación, una vez agregada la solución binaria, los tubos fueron sometidos a una temperatura de 180°C dentro de un bloque digestor, por un tiempo de 2 horas, y luego se dejaron reposar y enfriar las soluciones resultantes por un lapso de 20 min., hasta ser diluidas con agua destilada, y posteriormente filtradas y aforadas a 50mL (figura 13) (Murphy y Riley, 1962).

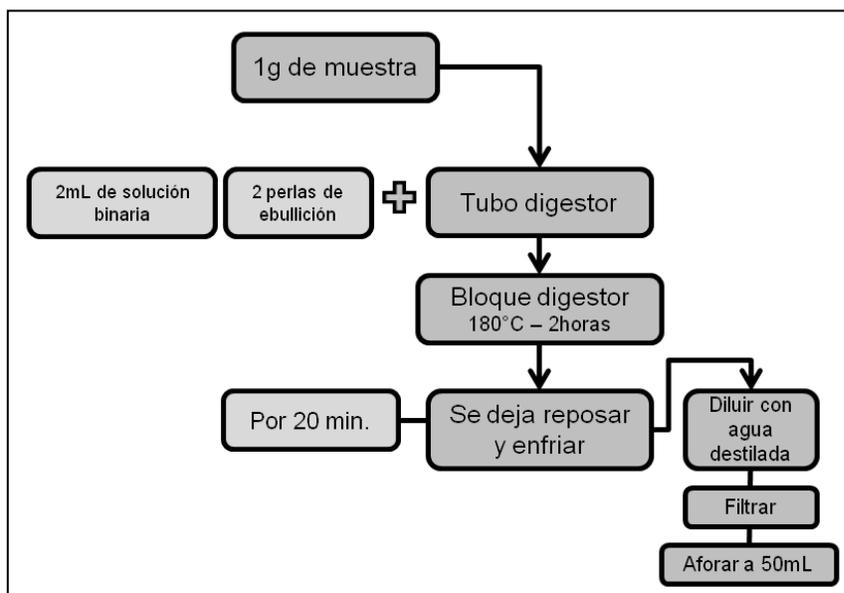


Figura 13. Digestión de muestras para medir PT

Posteriormente se procedió a formar el complejo de fósforo, para ello lo primero fue tomar una alícuota de 5mL (3mL para el caso de muestras más concentradas) de la muestra, la cual fue transferida a un balón de 25mL, en donde se determinó el pH con el fin de ajustarlo con ayuda de HCl 5N y NaOH 5N en presencia del indicador p-nitrofenol en caso de ser necesario, luego se agregaron 8mL del reactivo de Murphy & Riley, que permitió la formación de un complejo azulado, indicando la presencia de fósforo; la preparación de este reactivo (100mL del mismo), constó de agregar 50mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 2,5M, 15mL de molibdato de amonio ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$), 0,528g de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) diluido en 10mL de agua destilada y 5mL de tartrato de potasio y antimonio ($C_4H_4KO_7Sb$), para luego aforar y agitar (figura 14) (Murphy y Riley, 1962).

Finalmente la mezcla se aforó a 25mL con agua destilada y se dejó en reposo hasta que se tornó coloreada (15-20 minutos). A continuación se trasvasó la muestra a una celda de cuarzo con la cual se procedió a medir la absorbancia de dicha solución haciendo uso de un espectrofotómetro de doble haz, marca UNICO, modelo 1100RS, a 900nm, con un rango de longitud de onda entre 180 y 1100nm, haciendo una curva de calibración a partir de un patrón primario de fósforo de 5,0mg/L (figura 14) (Murphy y Riley, 1962).

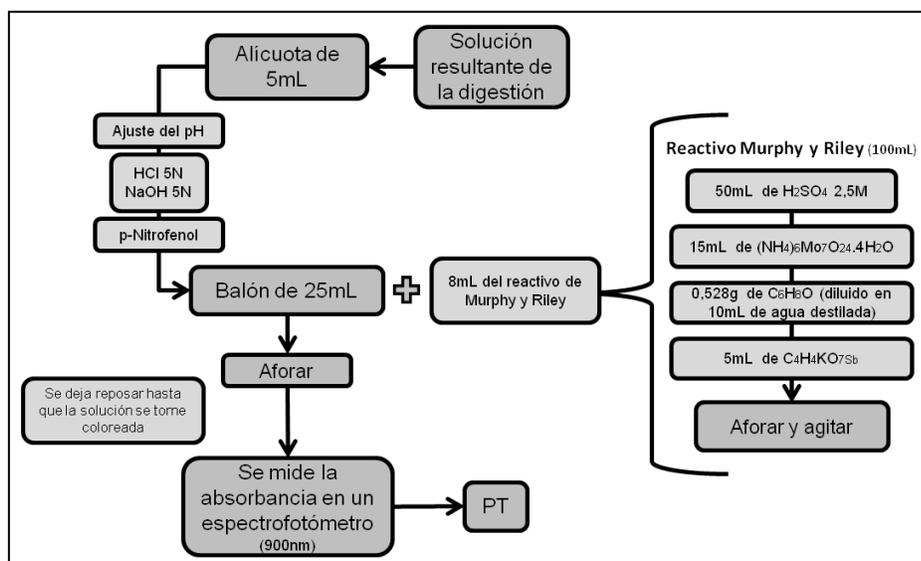


Figura 14. Determinación de PT, mediante el método de Murphy y Riley

4. Etapa de tratamiento estadístico de los datos

La misma se llevó a cabo con el fin de dar confiabilidad y veracidad a los datos obtenidos en la presente investigación, aplicando herramientas pertenecientes a la estadística descriptiva. Es así, como en cada análisis se realizó la determinación de cada elemento en una muestra por quintuplicado de manera no consecutiva sino en intervalos de aproximadamente cada 8 muestras para evaluar la precisión de los datos y la reproducibilidad del método; así mismo se determinó cada elemento para un estándar certificado con el fin de obtener valores de exactitud en las determinaciones elementales. En el caso de Cl y MO, se utilizó para el análisis termogravimétrico un estándar de carbonato (%Cl=44%); en la determinación de CT, para llevar control de las mediciones se utilizó un estándar control *STREAM SEDIMENT 361-07309* (%CT=1,510%) y para la determinación de dichas concentraciones se utilizó un estándar *LECO SOIL for CNS* con valores de C=8,92±0,08%, N=0,77±0,003% y S=0,088±0,004%; en relación a la determinación de NT se emplearon tres estándares, todos marca *LECO SOIL for CNS*, teniéndose para el primero %NT=0,12%, para el segundo %NT=0,23±0,013% y para el tercero %NT=0,78±0,02%; y en la determinación de PT, se empleó un estándar *STREAM SEDIMENT NCS DC 73307* de 670±23ppm de P.

V. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir de las mediciones de los parámetros fisicoquímicos hechas en campo y los análisis químicos realizados sobre la fracción limo-arcilla de los sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu, estado Anzoátegui; todo ello con el fin de establecer la variabilidad espacial de dichos elementos a lo largo del sistema de estudio y sus posibles fuentes. Del mismo modo serán presentados los datos referentes a la precisión y exactitud de las determinaciones realizadas.

En primer lugar, se expondrá la ubicación de los diferentes puntos de muestreo trabajados en cada laguna, así como los datos fisicoquímicos obtenidos *in situ* para los mismos. Posteriormente serán presentadas las concentraciones de carbono inorgánico (CI), carbono orgánico (CO), porcentaje correspondiente al contenido de materia orgánica (MO), carbono total (CT), nitrógeno total (NT), y fósforo total (PT); seguido de ello se procederá a discutir las correlaciones entre ellos.

1. Validación de los resultados

Inicialmente es necesario hacer énfasis en los resultados obtenidos en lo referente a la validación de los datos, con el fin de darles confiabilidad y calidad a los mismos, obteniéndose ello a partir de la determinación por quintuplicado de cada especie en una muestra aleatoria dada en todos los casos por la muestra 1 de la Laguna de Píritu (MSLP1), así como de la determinación de cada especie en estándares certificados, los cuales fueron tratados y analizados en iguales condiciones que las muestras de cada sistema.

Para el caso de la precisión de los diversos métodos, se presentan en la tabla 4 los valores obtenidos de cada especie en las cinco réplicas, los cuales a su vez permitieron determinar el error asociado a cada método.

Tabla 4. Quintuplicado de muestra aleatoria, para determinar precisión

Muestra	%CI	%CO	%MO	%CO (Van Bemmelen)	%CO (Hurtado)	%CT	%NT	ppmP
MSLP1.1	0,78	0,37	10,15	5,9	6,1	1,1	0,191	551
MSLP1.2	0,76	0,39	9,88	5,7	5,9	1,1	0,14	595
MSLP1.3	0,87	0,28	8,62	5,0	5,2	1,1	0,190	579
MSLP1.4	0,86	0,29	8,90	5,2	5,3	1,3	0,187	594
MSLP1.5	0,86	0,29	9,89	5,7	5,9	1,1	0,189	NO
MSLP1.6	-	-	-	-	-	1,2	-	-
Promedio	0,83	0,32	9,5	5,5	5,7	1,2	0,188	580
Desviación estándar	± 0,05	± 0,05	± 0,7	± 0,4	± 0,4	± 0,1	± 0,003	± 21

Por otra parte, los valores obtenidos para cada especie en estudio a partir de los estándares utilizados, se presentan en la tabla 5, donde se puede observar que dichos valores obtenidos entran dentro del intervalo aceptado de cada estándar, permitiendo así dar veracidad a los análisis químicos desarrollados.

Tabla 5. Valores obtenidos para estándares utilizados en los análisis químicos realizados

Especie	Estándar certificado	Valores reales	Valores determinados
CI - MO	Estándar de Carbonato	12%CI	11,2%CI
CT	Control: STREAM SEDIMENT 361-07309	1,51%CT	1,52%CT
NT	<i>LECO SOIL for CNS (1)</i>	0,12%NT	0,11%NT
	<i>LECO SOIL for CNS (2)</i>	0,23±0,13%NT	0,20%NT
	<i>LECO SOIL for CNS (3)</i>	0,78±0,02%NT	0,76%NT
PT	<i>STREAM SEDIMENT NCS DC 73307</i>	670±23ppmP	641ppmP

2. Plan de muestreo y parámetros fisicoquímicos determinados *in situ*

La captación de muestras fue llevada a cabo cumpliéndose en la medida de lo posible con el muestreo planteado de manera inicial; sin embargo ocurrieron pequeñas variaciones del mismo debido a las condiciones de acceso a la zona de estudio.

Se capturaron un total de 31 muestras de sedimentos de fondo entre ambos sistemas, perteneciendo 13 de ellas a Unare, y 18 a Píritu (figura 15 y 16). En el caso particular de la Laguna de Píritu hay que resaltar que la época de sequía afectó notablemente el muestreo, puesto que la misma permitió el desarrollo de una barrera de material sedimentario y vegetal que cerró el acceso a la zona más occidental de la laguna, por lo que no se pudieron colectar más muestras de dicho sector.



Figura 15. Puntos de muestreo en la Laguna de Unare (Tomado de Google Earth, 2016)

Tabla 6. Puntos de muestreo, coordenadas y parámetros fisicoquímicos (medidos *in situ*), correspondientes a la Laguna de Unare

Punto	Longitud (E)	Latitud (N)	pH	Conductividad		Muestra	Hora
				Valor	Unidad		
1	242759	1119570	9,46	33,9	mS/cm	MSLU1	8:40 a.m
2	242690	1116830	9,40	32,2	mS/cm	MSLU2	9:00 a.m
3	244237	1115044	9,24	33,2	mS/cm	MSLU3	9:23 a.m
4	244837	1117067	9,17	32,7	mS/cm	MSLU4	9:34 a.m
5	245078	1118824	9,38	33,4	mS/cm	MSLU5	9:50 a.m
6	247021	1118596	9,39	33,6	mS/cm	MSLU6	10:13 a.m
7	247044	1116656	9,22	32,6	mS/cm	MSLU7	10:30 a.m
8	247102	1114728	9,28	32,5	mS/cm	MSLU8	10:45 a.m
9	250055	1116900	9,24	32,7	mS/cm	MSLU9	11:02 a.m
10	253053	1117410	9,50	24,5	mS/cm	MSLU10	11:26 a.m
11	255084	1117114	9,45	23,6	mS/cm	MSLU11	11:35 a.m
12	257181	1117054	8,24	4,9	mS/cm	MSLU12	11:52 a.m
13	258281	1117086	7,94	2,8	mS/cm	MSLU13	12:08 p.m
Promedio			9,15	27,1			



Figura 16. Puntos de muestreo en la laguna de Píritu (Tomado de Google Earth, 2016)

Tabla 7. Puntos de muestreo, coordenadas y parámetros fisicoquímicos (medidos *in situ*), correspondientes a la Laguna de Píritu.

Punto	Longitud (E)	Latitud (N)	pH	Conductividad		Muestra	Hora
				Valor	Unidad		
1	264164	1114577	8,59	57,7	mS/cm	MSLP1	8:33 a.m
2	263979	1114481	8,33	58,9	mS/cm	MSLP2	8:54 a.m
3	264437	1114017	8,83	52,5	mS/cm	MSLP3	9:12 a.m
4	265654	1113312	8,88	56,6	mS/cm	MSLP4	9:30 a.m
5	266183	1114317	8,63	64,1	mS/cm	MSLP5	9:50 a.m
6	267635	1114072	8,79	70,9	mS/cm	MSLP6	10:10 a.m
7	267352	1112608	8,95	70,9	mS/cm	MSLP7	10:27 a.m
8	267897	1112043	8,94	1,3	μS/cm	MSLP8	10:40 a.m
9	269043	1112240	8,93	74,9	mS/cm	MSLP9	10:52 a.m
10	269264	1113736	8,35	75,3	mS/cm	MSLP10	11:04 a.m
11	270741	1113468	9,01	80,9	mS/cm	MSLP11	11:22 a.m
12	270694	1111806	9,07	82,8	mS/cm	MSLP12	11:36 a.m
13	271515	1112703	9,20	84,0	mS/cm	MSLP13	11:48 a.m
14	272548	1113103	9,19	84,5	mS/cm	MSLP14	11:57 a.m
15	272480	1112137	9,13	85,2	mS/cm	MSLP15	12:04 p.m
16	273979	1112844	9,05	83,6	mS/cm	MSLP16	12:17 p.m
17	274892	1113062	9,05	100,0	mS/cm	MSLP17	12:30 p.m
18	275680	1113002	8,82	80,2	mS/cm	MSLP18	12:46 p.m
Promedio			8,87	70,24			

Como se puede observar en la tabla 6, para la Laguna de Unare los valores de pH oscilaron entre 7,94 y 9,50, mientras que los de conductividad variaron entre 2,8 y 33,9mS/cm, teniéndose valores promedio de 9,15 y 27,13mS/cm respectivamente, lo que demuestra que para dicho sistema las condiciones del medio son moderadamente básicas. Dichos valores de conductividad se deben al contenido de sales disueltas y ello se puede atribuir a la influencia marina, así como a la litología carbonática presente en la zona, destacándose Fm. Caratas con Miembro Tinajitas, Fm. Quebradon, Fm. Carapita y Fm. Peñas blancas (LEV, 1999); en el mismo orden de ideas cabe destacar que los valores de pH más bajos pertenecen a los puntos MSLU12 y MSLU13, ubicados hacia la zona oriental de la laguna, y ello puede deberse a que al ubicarse ambos a mayor distancia de la entrada de agua marina la influencia de la misma se ve disminuida, así como al lavado producto de la interacción entre el agua dulce acarreada por el Río Unare con la masa de agua que constituye la laguna.

Para el caso de la Laguna de Píritu, los valores de pH varían desde 8,33 hasta 9,20, mientras que los de conductividad van desde 52,5 hasta 100,0, con respectivos promedios de 8,87 y 70,24 (tabla 5); en dicha laguna los mayores valores de pH y mayor contenido de sales disueltas pertenecen a los puntos más cercanos a la entrada de agua marina (MSLP11 a MSLP18), ubicados en la zona más oriental de la barra (López, 2002); y por último, al igual que en el caso de Unare dichos valores para ambas variables son atribuidos a la influencia marina y a la litología propia de la zona.

3. Cuantificación de las fracciones granulométricas dentro del sedimento de fondo

Tras realizar el tamizado en húmedo se obtuvieron para cada laguna el porcentaje correspondiente a cada fracción granulométrica presente en el sedimento.

En la tabla 8, se puede observar como la mayor proporción del sedimento corresponde a material sedimentario de tamaño $<63\mu\text{m}$, teniéndose para el caso de Unare entre 61,24 y 99,63% de sedimento limo-arcilla (con un promedio de 93,72%), y para el caso de Píritu un intervalo de dicha fracción lodo desde 47,16 hasta 99,90% (con un promedio de 91,05%). En el caso de la Laguna de Unare, el punto MSLU13 presenta el menor porcentaje de material fino (61,24%), ubicándose el mismo hacia la zona de interacción entre la laguna y el Río Unare, lo cual es atribuible a la entrada de la carga sedimentaria del río, el cual transporta material más grueso.

Tabla 8. Determinación granulométrica para las lagunas de Unare y Píritu

Muestras Unare		%Fracciones	Muestras Píritu		%Fracciones
MSLU1	MSLU1A	98,89	MSLP1	MSLP1A	99,57
	MSLU1B	1,11		MSLP1B	0,43
MSLU2	MSLU2A	97,83	MSLP2	MSLP2A	98,01
	MSLU2B	2,17		MSLP2B	1,99
MSLU3	MSLU3A	96,38	MSLP3	MSLP3A	99,83
	MSLU3B	3,62		MSLP3B	0,17
MSLU4	MSLU4A	92,51	MSLP4	MSLP4A	99,90
	MSLU4B	7,49		MSLP4B	0,10
MSLU5	MSLU5A	93,75	MSLP5	MSLP5A	99,21
	MSLU5B	6,25		MSLP5B	0,79
MSLU6	MSLU6A	98,83	MSLP6	MSLP6A	95,83
	MSLU6B	1,17		MSLP6B	4,17
MSLU7	MSLU7A	92,62	MSLP7	MSLP7A	95,17
	MSLU7B	7,38		MSLP7B	4,83
MSLU8	MSLU8A	95,64	MSLP8	MSLP8A	97,48
	MSLU8B	4,36		MSLP8B	2,52
MSLU9	MSLU9A	97,61	MSLP9	MSLP9A	97,38
	MSLU9B	2,39		MSLP9B	2,62
MSLU10	MSLU10A	99,04	MSLP10	MSLP10A	99,23
	MSLU10B	0,96		MSLP10B	0,77
MSLU11	MSLU11A	99,63	MSLP11	MSLP11A	99,82
	MSLU11B	0,37		MSLP11B	0,18
MSLU12	MSLU12A	94,38	MSLP12	MSLP12A	50,59
	MSLU12B	5,62		MSLP12B	49,41
MSLU13	MSLU13A	61,24	MSLP13	MSLP13A	99,84
	MSLU13B	38,76		MSLP13B	0,16
			MSLP14	MSLP14A	99,40
				MSLP14B	0,60
			MSLP15	MSLP15A	79,90
				MSLP15B	20,10
			MSLP16	MSLP16A	81,31
				MSLP16B	18,69
			MSLP17	MSLP17A	99,32
				MSLP17B	0,68
			MSLP18	MSLP18A	47,16
				MSLP18B	52,84

Del mismo modo, para el caso de la laguna de Píritu, se tiene que los puntos con menor proporción de material fino vienen dados por las muestras MSLP12 y MSLP18 ubicado el primero hacia la parte sur-central y el segundo en la boca de la laguna, teniéndose que para MSLP12 la cercanía con la orilla fue mayor que en el resto del muestreo debido a las condiciones de acceso dentro del sistema, lo que permitió que dicha muestra se viera afectada por una mayor entrada de sedimento grueso derivado de la erosión de la costa; mientras que MSLP18 viene dado por un punto cercano a poblaciones establecidas en las áreas adyacentes, lo que permite que en el mismo se dé una entrada de material mayor a la fracción limo-arcilla producto de la erosión propia de las actividades humanas, así como a la entrada directa de aguas servidas hacia el sistema (Apéndice 6).

La distribución sedimentaria presente en ambas lagunas concuerda con la distribución teórica ideal dentro de los sistemas lagunar-costeros, puesto que la misma viene dada por material más grueso hacia las orillas y gradualmente más fino hacia el centro o zona interior de la laguna, debido a los factores hidrodinámicos que caracterizan estos sistemas, recordando el fundamental papel de la ausencia de corrientes o la baja energía del medio que presentan hacia el centro de las mismas. Del mismo modo dicha distribución sedimentaria también es concordante con la que se observa en la Laguna de Tacarigua (Brun, 2013) y con la encontrada en estudios previos dentro del sistema de Unare por Fermín (2002), quién al igual que en este caso desarrolla su investigación entre los meses de junio-julio y atribuye la distribución granulométrica presente en dicho período a una baja corriente del río, siendo su influencia sobre la laguna poco pronunciada, promoviendo la depositación de sedimentos de granos muy finos en toda la extensión lagunar.

De la misma forma, los resultados obtenidos para la distribución y constituyentes granulométricos dentro del sistema, son concordantes con los reportados por Hurtado (2015), quien presenta valores de más del 55% de material lodoso en las muestras del Golfo de Cariaco.

4. Carbono Inorgánico (CI)

Para la Laguna de Unare, los valores de CI oscilan entre 0,28 y 1,01 ± 0,05%, presentando un promedio de 0,76 ± 0,05% (tabla 9), así como una variación espacial dada por las mayores concentraciones hacia las orillas de la laguna (figura 17). Hacia la zona sur la fuente principal de CI pudiese estar dada por la litología carbonática presente, y hacia la parte norte, la entrada del mismo pasaría a ser principalmente el aporte marino hacia la laguna, dado por restos orgánicos; del mismo modo el material carbonático puede estarse viendo acumulado hacia las orillas debido a la baja energía del medio dentro del sistema lagunar, puesto que la misma puede no ser suficiente para transportar por mayor distancia dicho material.

Tabla 9. Concentración de CI en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	%CI (±0,05)	Muestra	%CI (±0,05)
MSLU1	0,83	MSLU8	1,01
MSLU2	0,90	MSLU9	0,94
MSLU3	0,86	MSLU10	0,59
MSLU4	0,82	MSLU11	0,49
MSLU5	0,84	MSLU12	0,28
MSLU6	0,96	MSLU13	0,59
MSLU7	0,81	Promedio	0,76

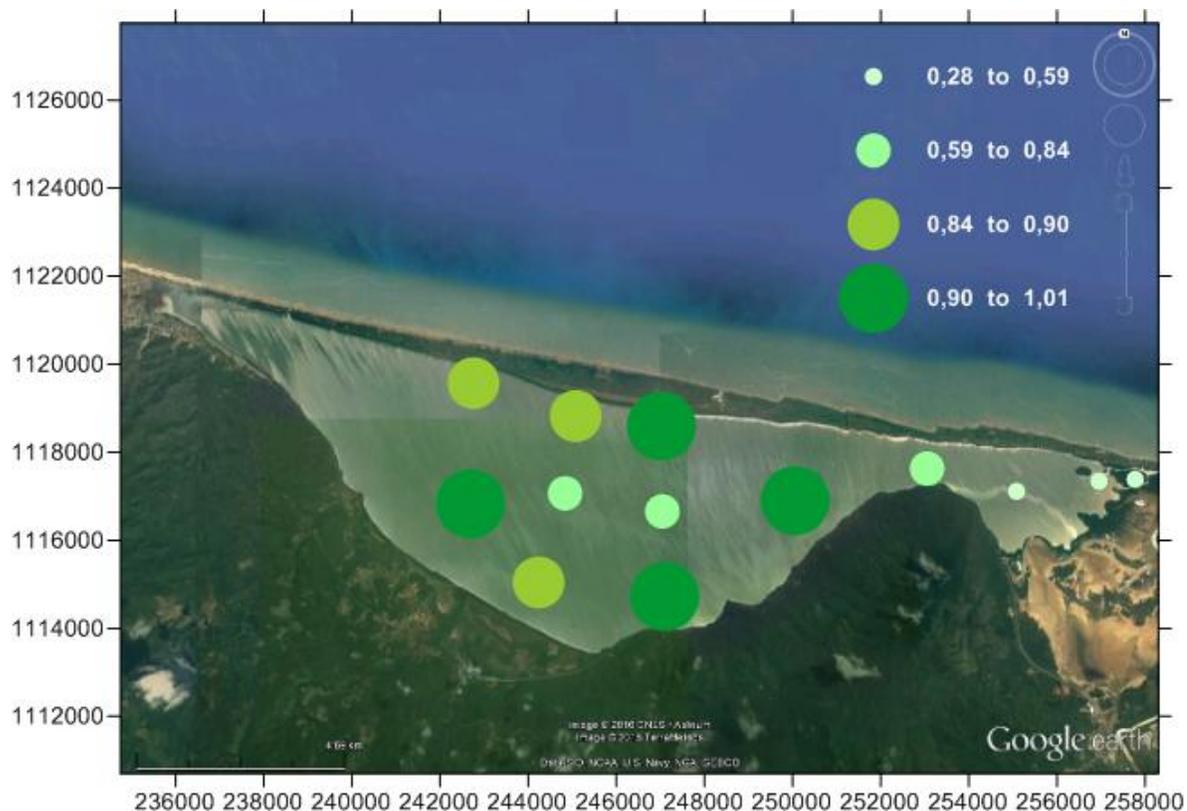


Figura 17. Variación espacial de CI en la Laguna de Unare

Los valores de CI obtenidos en la presente investigación guardan similitud con los reportados por Brun (2013) para la Laguna de Tacarigua en el período marzo-2010, por lo que se puede ver que el aporte de material carbonático está siendo uniforme hacia estos sistemas lagunar-costeros.

Cabe destacar que en la Laguna de Unare la fracción de material constituida por tamaño superior al limo-arcilla, es rica en material carbonático dado por conchas de organismos (Apéndice 7), lo que a su vez confirma la entrada de material carbonático de origen marino, haciendo la salvedad de que este a su vez presenta menor concentración en el material fino debido al tamaño de los bioclastos y a la falta de retrabajo del material sedimentario dentro de los sistemas costeros, una vez más debido a la baja energía del medio y a la dinámica propia de dichos sistemas.

Por su parte, la Laguna de Píritu, presenta valores de CI muy similares a la Laguna de Unare, puesto que en la primera los valores oscilan entre $0,59$ y $1,54 \pm$

0,05%, con un promedio de $0,93 \pm 0,05\%$ (tabla 10). Además en dicho sistema, la distribución espacial del Cl (figura 18) viene dada por mayores concentraciones ($1,54 \pm 0,05\%$) hacia el área más central de la laguna, y de manera gradual dicha concentración va disminuyendo hacia los extremos del sistema. Debe señalarse que la concentración de Cl en este caso puede atribuirse a la penetración de material marino a través de la barrera (Subero-Pino *et al.*, 2004).

Tabla 10. Concentración de Cl en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	%Cl ($\pm 0,05$)	Muestra	%Cl ($\pm 0,05$)
MSLP1	0,83	MSLP10	1,34
MSLP2	0,67	MSLP11	0,89
MSLP3	0,82	MSLP12	0,85
MSLP4	1,03	MSLP13	0,78
MSLP5	1,06	MSLP14	0,66
MSLP6	1,54	MSLP15	0,63
MSLP7	1,33	MSLP16	0,59
MSLP8	1,14	MSLP17	0,80
MSLP9	1,09	MSLP18	0,75
Promedio	0,93		

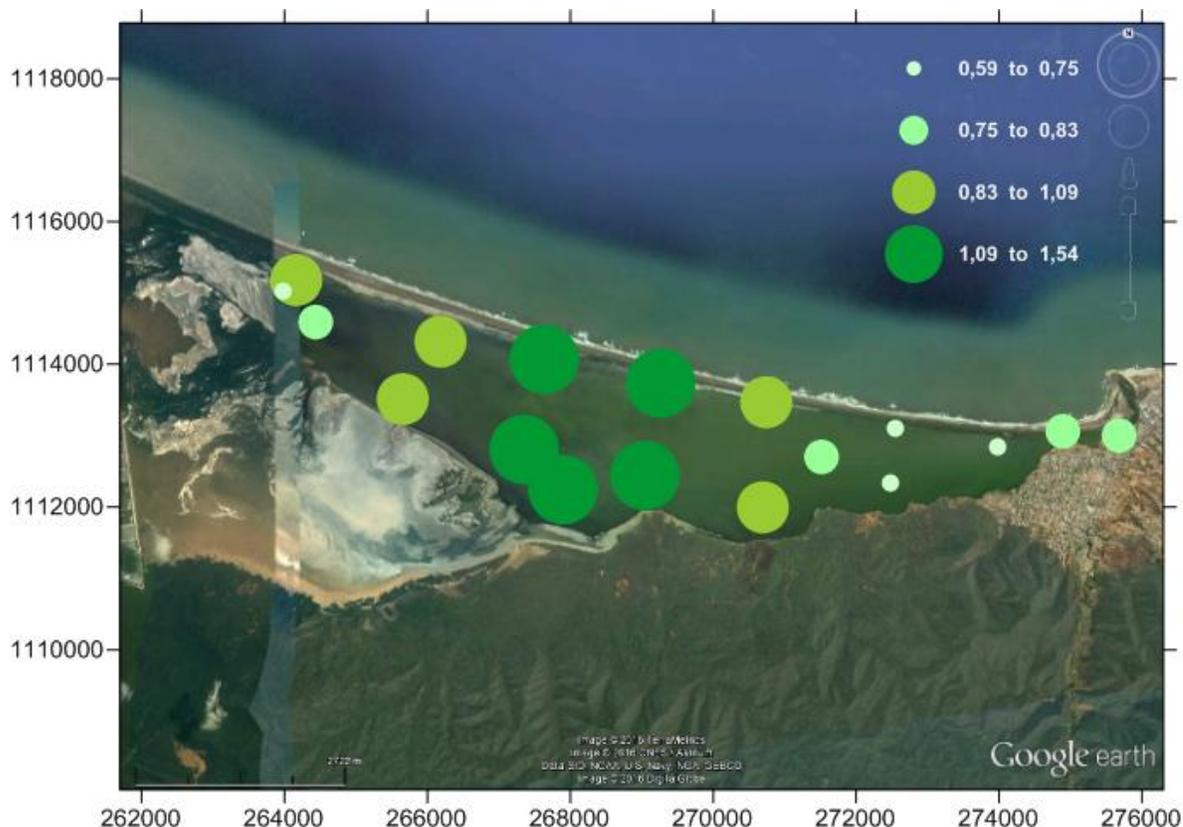


Figura 18. Variación espacial de Cl en la Laguna de Píritu

A modo general y debido al período de sequía, la concentración de Cl que se presenta dentro del sistema puede también asociarse a la alta evaporación de dicho período y consecuentemente a la precipitación de material carbonático en solución.

5. Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO)

Para CO, es necesario enfatizar que el mismo representa alrededor de un 58% de la MO, siendo así componente mayoritario de la misma, por lo que la relación entre ambas especies es muy estrecha (Tabatabai, 1996); es así como a partir de los valores de CT y Cl se determinó por diferencia el CO presente en las muestras.

Se obtuvo para la Laguna de Unare un intervalo de concentración de CO entre 0,19 y $2,86 \pm 0,05\%$, con un promedio de $1,64 \pm 0,05\%$ (tabla 11), y dicho intervalo de concentraciones se encuentra por debajo de valores reportados por Brun (2013), para la Laguna de Tacarigua (1,26-8,88% para marzo 2010; 1,10-9,75% para marzo 2011;

0,88-8,53% para agosto 2011), la cual en conjunto con las lagunas de Unare y Píritu conforman un importante complejo lagunar, lo que permite inferir que en Unare las condiciones de preservación de material orgánico son menores que en la Laguna de Tacarigua, y que a su vez el aporte de material orgánico, ya sea autóctono o alóctono es menor en este caso. Además es importante mencionar que la Laguna de Tacarigua presenta además un bosque de manglar muy denso en toda su extensión, lo que aporta gran cantidad de MO debido a la alta tasa de productividad.

Tabla 11. Concentración de CO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	%CO ($\pm 0,05$)	Muestra	%CO ($\pm 0,05$)
MSLU1	0,32	MSLU8	1,91
MSLU2	2,45	MSLU9	1,75
MSLU3	2,35	MSLU10	0,40
MSLU4	2,81	MSLU11	0,19
MSLU5	2,83	MSLU12	0,28
MSLU6	1,93	MSLU13	0,22
MSLU7	2,86	Promedio	1,64

El CO presentó dentro de la Laguna de Unare una distribución en la cual se encuentran las mayores concentraciones de CO y por ende las de MO hacia la zona central del cuerpo de agua (figura 19), lo cual es de esperarse en función de la distribución obtenida de las fracciones granulométricas dentro del sistema, recordando que la misma está caracterizada por una mayor proporción de material fino hacia el centro y la disminución del mismo hacia las orillas del sistema, y a su vez resaltando que a dicho material se asocia la MO en función de su alta reactividad y mayor área superficial.

Es importante destacar que en la Laguna de Unare, el punto MSLU12 ubicado hacia la entrada del Río Unare, presenta una leve variación en la concentración de CO con respecto a la disminución gradual que se aprecia desde el centro hacia dicha zona

de la laguna, ya que viene dado por un valor de $0,28 \pm 0,05\%$, y dicho fenómeno se puede atribuir a que en dicha zona dentro de la laguna se desarrollan actividades de pesca lo que genera desechos orgánicos, y del mismo modo es atribuible a la entrada de material acarreado por el drenaje proveniente del Río Unare, el cual se constituye de material derivado de los asentamientos poblaciones circundantes así como de la abundante vegetación que bordea dicho afluente. Así mismo cabe mencionar que dicha entrada de agua además de contribuir con la entrada de material al sistema permite simultáneamente una mayor oxigenación conllevando que no se preserve el material orgánico hacia la zona oriental.

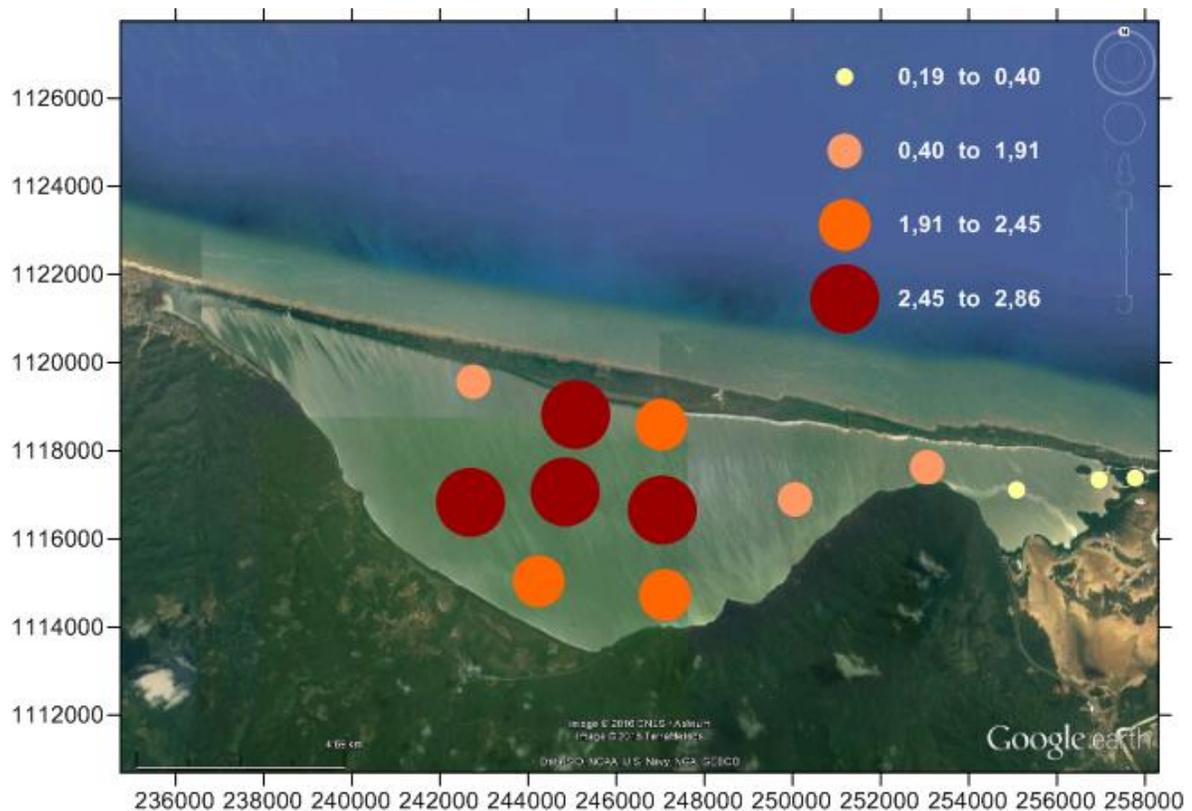


Figura 19. Variación espacial de CO en la Laguna de Unare

Por su parte, la Laguna de Píritu presenta valores de CO que varían desde 0,32 hasta $3,60 \pm 0,05\%$, con un promedio de $1,59 \pm 0,05\%$ (tabla 12); para dicha laguna la variación espacial de CO (figura 20) que viene dada al igual que en el caso de la laguna de Unare, por una mayor concentración hacia la zona central del sistema, donde como

se dijo anteriormente era de esperarse dicho comportamiento en función de la relación de material limo-arcilla con la fracción orgánica; en este caso también se presenta un valor que rompe con el patrón de distribución de dicho material orgánico, ya que viene dado por el punto MSLP18, que se ubica en la boca de la laguna, en el cual se presenta la entrada directa de aguas servidas mencionada con anterioridad, que actúa como fuente antrópica de material orgánico.

Tabla 12. Concentración de CO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	%CO ($\pm 0,05$)	Muestra	%CO ($\pm 0,05$)
MSLP1	0,32	MSLP10	1,99
MSLP2	0,40	MSLP11	1,11
MSLP3	0,81	MSLP12	0,77
MSLP4	2,62	MSLP13	1,08
MSLP5	3,13	MSLP14	0,91
MSLP6	2,45	MSLP15	0,78
MSLP7	3,60	MSLP16	0,50
MSLP8	3,52	MSLP17	0,77
MSLP9	1,05	MSLP18	2,80
Promedio	1,59		

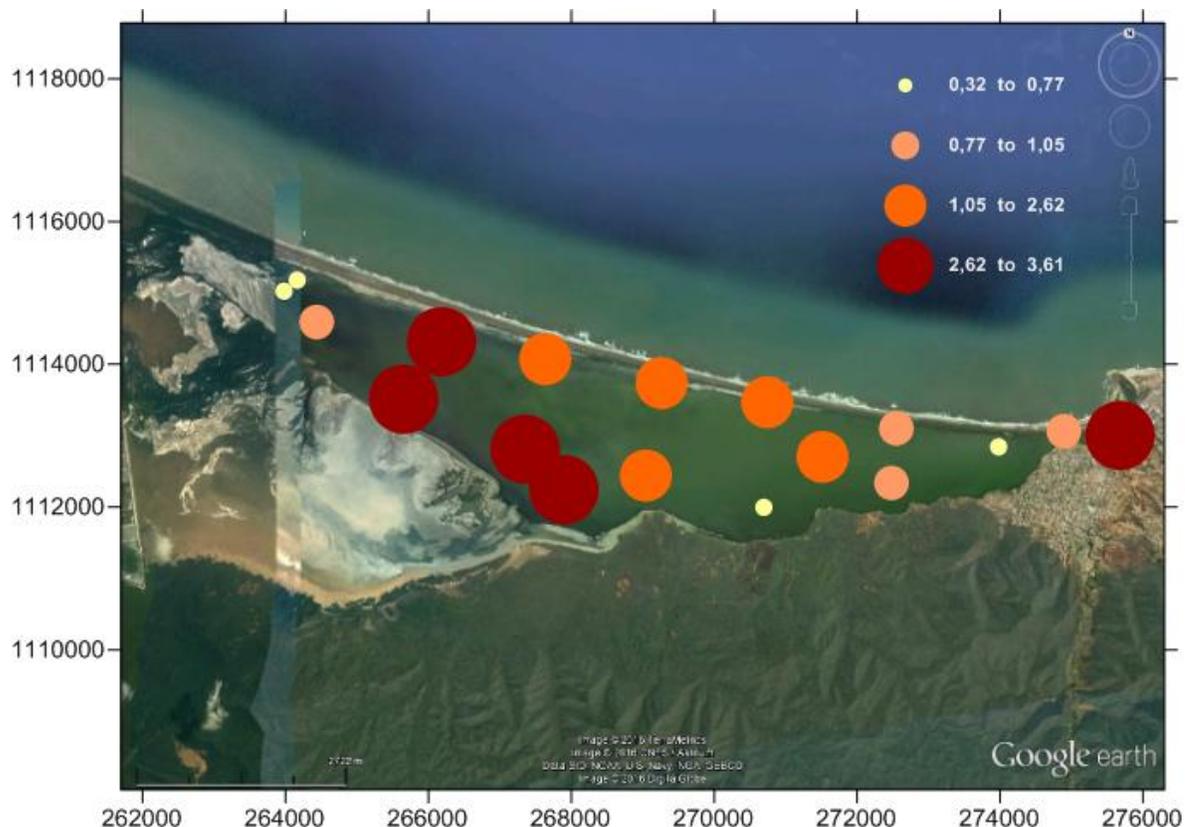


Figura 20. Variación espacial de CO en la Laguna de Píritu

Cabe destacar que la MO puede provenir de diversas fuentes que varían desde naturales hasta antrópicas, y así mismo puede verse acumulada en los sedimentos, especialmente en el de tamaño limo-arcilla.

Adicionalmente mediante el análisis de termogravimetría se determinó el porcentaje de MO presente en las muestras, obteniéndose que dicho contenido osciló entre 5,9 y $16,1 \pm 0,7\%$ para el caso de Unare, mostrando un promedio de $12,9 \pm 0,7\%$ (tabla 13); mientras que para la Laguna de Píritu dicho contenido de MO se encontró entre 8,4 y $21,5 \pm 0,7\%$ con un promedio de $13,9 \pm 0,68\%$ (tabla 14).

Tabla 13. Contenido de MO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	%MO (±0,68)	Muestra	%MO (±0,68)
MSLU1	13,5	MSLU8	16,1
MSLU2	12,4	MSLU9	16,0
MSLU3	13,4	MSLU10	12,8
MSLU4	15,3	MSLU11	9,5
MSLU5	16,1	MSLU12	5,9
MSLU6	13,5	MSLU13	7,0
MSLU7	15,4	Promedio	12,9

Tabla 14. Contenido de MO en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	%MO (±0,68)	Muestra	%MO (±0,68)
MSP1	9,5	MSP10	14,1
MSP2	8,4	MSP11	10,9
MSP3	13,4	MSP12	10,8
MSP4	21,5	MSP13	15,4
MSP5	19,4	MSP14	14,5
MSP6	21,4	MSP15	10,6
MSP7	15,6	MSP16	10,8
MSP8	19,4	MSP17	9,6
MSP9	10,5	MSP18	13,5
Promedio		13,9	

Para el caso de ambas lagunas, la distribución de MO (figuras 21 y 22) viene dada al igual que el CO, por mayores concentraciones hacia la parte interna de la laguna, concordando ello con las condiciones antes mencionadas de preservación de material orgánico que allí imperan, así como a la relación entre la fracción limo-arcilla y la MO; sin embargo la Laguna de Píritu presenta además alto contenido de material orgánico hacia la zona oriental, lo cual posiblemente se deba a acumulación de otras especies orgánicas constituyentes también de la MO, en función de que la misma además de CO, se compone de elementos como N, P y S; dentro del sistema adicionalmente se puede observar al igual que para el caso de CO, un incremento en el punto MSP18

haciendo énfasis de que en el mismo además de aguas servidas se evidenció la entrada de aguas de escorrentía (Apéndice 6 y 8), lo que permite consecuentemente la entrada de estas especies orgánicas antes mencionadas.

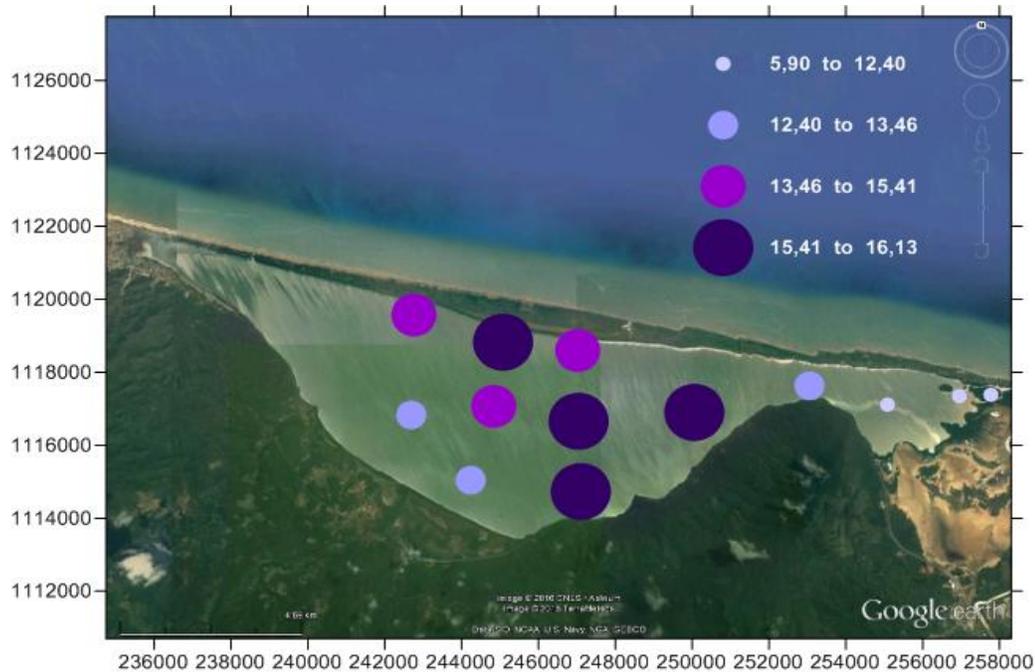


Figura 21. Variación espacial de MO en la Laguna de Unare

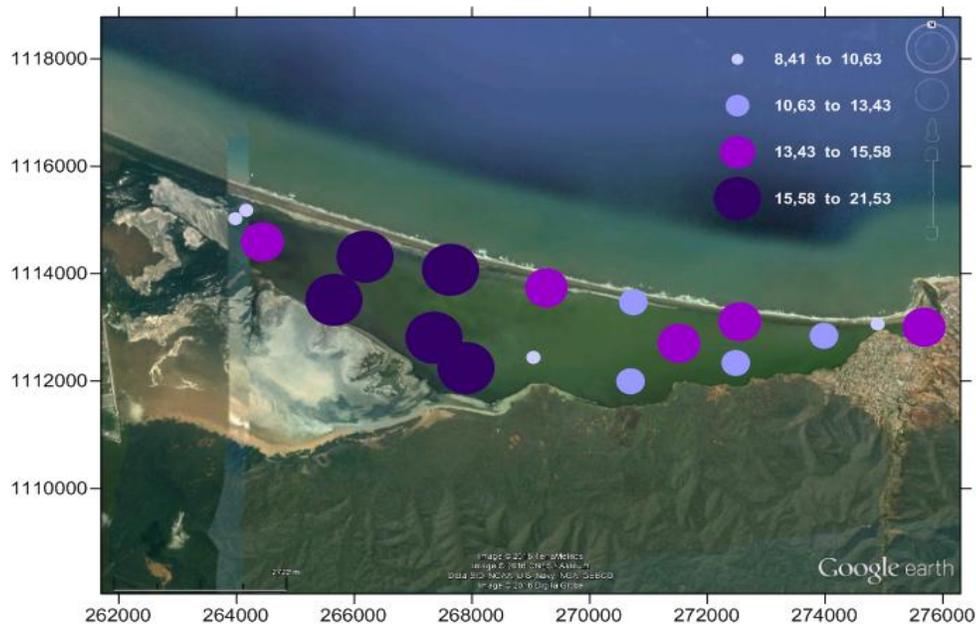


Figura 22. Variación espacial de MO en la Laguna de Píritu

Fermín (2002), reportó para la Laguna de Unare, valores muy similares a los obtenidos en el presente trabajo, oscilando entre 4,66 y 19,64%, y atribuye la mayor acumulación de dicho material orgánico al centro de la laguna y por consiguiente a la facción limo-arcilla. De manera análoga Senior *et al.* (1999) reportan que en el caso de Píritu se presenta la misma relación, con un promedio de MO de 11,59%, así como también López (2002), indica que el contenido porcentual para MO dentro de la laguna de Píritu, se encontraba al momento de su investigación, entre 1,35 y 17,69%, por lo que al comparar dicho intervalo con el obtenido en el presente trabajo se puede ver como el aporte de dicha MO ha ido en ascenso con el tiempo.

De igual forma, Hurtado (2015) muestra en su investigación desarrollada en el Golfete de Cuare, rangos de MO entre 0,55 y 19,47%, el cual es muy similar al presentado en el presente trabajo, y dicho autor atribuye dichas concentraciones como en el presente caso a los sedimentos de menor tamaño de grano.

Partiendo del porcentaje aproximado que representa el CO dentro de la MO, se determinó un factor de conversión conocido como Van Bemmelen, y en función de ello se han desarrollado otros factores de la misma naturaleza, uno de ellos es el determinado por Hurtado (2015). Es necesario mencionar que dichos factores de conversión entre CO y MO son determinados en función de establecer que el CO representa más del 50% de la MO; para el caso de Van Bemmelen dicho valor viene dado por 1,724, mientras que en el caso de Hurtado el mismo es de 1,67 y para ese último fue considerada la naturaleza y matriz de las muestras tomadas (Tabatabai, 1996; Hurtado, 2015).

De dichas estimaciones de CO, se obtuvieron para el caso de Van Bemmelen, valores entre 3,4 y $9,4 \pm 0,4\%$ de CO, con un promedio de $7,5 \pm 0,4\%$ para la Laguna de Unare, y entre 4,9 y $12,5 \pm 0,4\%$ de CO para la Laguna de Píritu, con un promedio de $8,0 \pm 0,4\%$ (tabla 15). Así mismo para el caso del factor determinado por Hurtado (2015), se determinaron intervalos entre 3,5 y $9,7 \pm 0,4\%$ de CO para la Laguna de Unare, mientras que para la Laguna de Píritu se obtuvieron valores que oscilaron desde 5,0 hasta $12,9 \pm 0,4\%$ de CO (tabla 15). Lo cual representa valores muy similares entre

sí, pero sin embargo los mismos representan hasta cuatro veces más los valores de %CO determinados por diferencia entre el CT por combustión y el CI determinado por termogravimetría infiriéndose así un gran error asociado a dicha estimación de CO (figura23 y 24),

Tabla 15. Comparación entre CO determinado por termogravimetría, y CO estimado a partir del factor de Van Bemmelen, y del factor determinado por Hurtado (2015)

Muestra	%CO ($\pm 0,4$) Van Bemmelen	%CO ($\pm 0,4$) Hurtado	Muestra	%CO ($\pm 0,4$) Van Bemmelen	%CO ($\pm 0,4$) Hurtado
MSLU1	7,8	8,1	MSLP1	5,5	5,7
MSLU2	7,2	7,4	MSLP2	4,9	5,0
MSLU3	7,8	8,0	MSLP3	7,8	8,0
MSLU4	8,9	9,2	MSLP4	12,5	12,9
MSLU5	9,4	9,7	MSLP5	11,3	11,6
MSLU6	7,8	8,1	MSLP6	12,4	12,8
MSLU7	8,9	9,2	MSLP7	9,0	9,3
MSLU8	9,4	9,7	MSLP8	11,2	11,6
MSLU9	9,3	9,6	MSLP9	6,1	6,3
MSLU10	7,4	7,7	MSLP10	8,2	8,5
MSLU11	5,5	5,7	MSLP11	6,3	6,5
MSLU12	3,4	3,5	MSLP12	6,3	6,5
MSLU13	4,1	4,2	MSLP13	9,0	9,2
Promedio	7,5	7,7	MSLP14	8,4	8,7
			MSLP15	6,2	6,4
			MSLP16	6,2	6,5
			MSLP17	5,6	5,8
			MSLP18	7,9	8,1
			Promedio	8,0	8,3

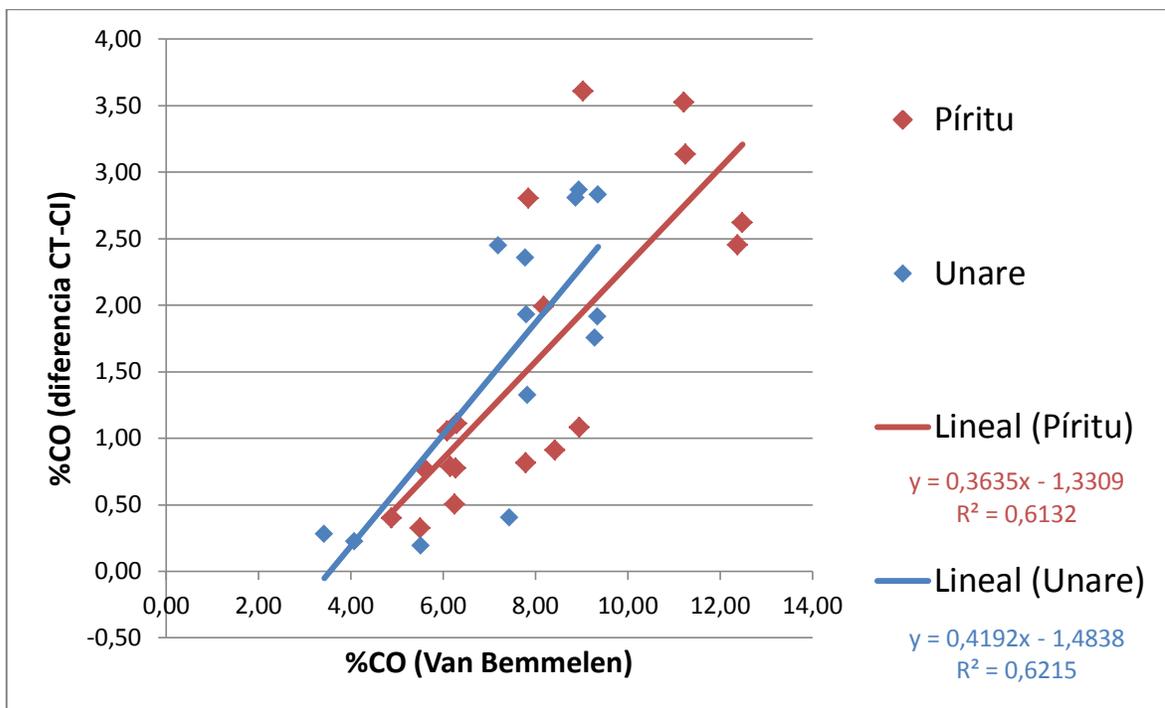


Figura 23. Relación entre CO determinado por termogravimetría y CO a partir de la estimación mediante el factor de conversión de Van Bemmelen

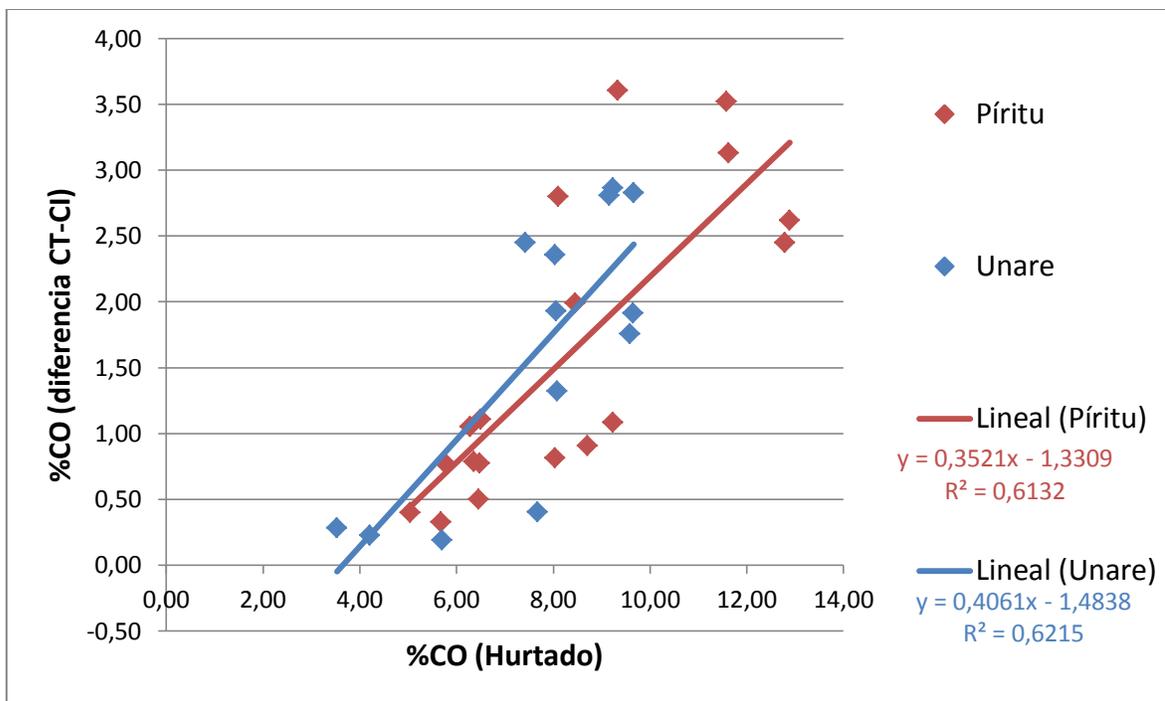


Figura 24. Relación entre CO determinado por termogravimetría y CO a partir de la estimación mediante el factor de conversión de Hurtado (2015)

En base a ello, diversos estudios concluyen que, es la determinación termogravimétrica la que representa el método más adecuado para la determinación de carbono, sin embargo los mismos concluyen que cuando se determina la MO presente en una muestra a través de dicho análisis lo más idóneo es reportar dicha fracción orgánica netamente como MO y no hacer la determinación de CO a partir de dicho porcentaje haciendo uso del factor de Van Bemmelen, ya que a pesar de arrojar muy buenos resultados en algunos casos, no siempre ocurre debido a que el valor de dicho factor realmente va a venir dado por la naturaleza propia de la muestra y de la matriz que presente la misma, ya que el contenido de CO tomado en cuenta para la estimación mediante el factor de conversión, se deriva de la composición promedio de los ácidos húmicos y no contempla la composición de todas las sustancias orgánicas del suelo (Ponomareva y Plotnikova, 1967; Tabatabai, 1996), y en función de ello se debe recordar que en la naturaleza ninguna muestra será similar a otra; es así como dichos valores de CO no son considerados para fines propios del presente trabajo, sino que sólo fueron tomados como un valor comparativo entre un técnica y otra.

6. Carbono Total (CT)

En el caso de CT, se tiene que su concentración dentro del sistema viene dada tanto por el aporte orgánico como por el inorgánico. Para la laguna de Unare se tiene que las concentraciones variaron entre 0,6 y $3,7 \pm 0,1\%$, con un promedio de $2,4 \pm 0,1\%$ (tabla 16), y su variación espacial viene dada por mayores concentraciones hacia la parte más centro occidental de la laguna, así como una disminución de la misma hacia las zonas de la orilla y hacia la entrada del Río Unare ubicado hacia la parte más oriental de la laguna (figura 25), resaltando de nuevo el importante aporte orgánico hacia la zona occidental, dada por la presencia de manglares.

Así mismo se puede atribuir hacia la zona oriental una mayor oxigenación de la masa de agua producto de la entrada del Río Unare, lo cual a su vez puede propiciar mayor oxidación de la materia orgánica presente en el sedimento y consecuentemente que la misma no se preserve, sin embargo como se mencionó para el caso de CO el aporte fluvial contribuye con la entrada de material al sistema, aunando a ello que hacia

dicho sistema fluvial drenan a su vez aguas de escorrentías agrícolas las cuales pueden introducir especies orgánicas, lo cual se evidencia con los altos valores de CT presentes hacia la entrada del Río Unare ($0,8 \pm 0,1\%$ de CT en punto MSLU13) siendo los mismos mayores que las concentraciones de los puntos MSLU12 y MSLU11.

Tabla 16. Concentración de CT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	%CT ($\pm 0,1$)	Muestra	%CT ($\pm 0,1$)
MSLU1	2,2	MSLU8	2,9
MSLU2	3,4	MSLU9	2,7
MSLU3	3,2	MSLU10	1,0
MSLU4	3,6	MSLU11	0,7
MSLU5	3,7	MSLU12	0,6
MSLU6	2,9	MSLU13	0,8
MSLU7	3,7	Promedio	2,4

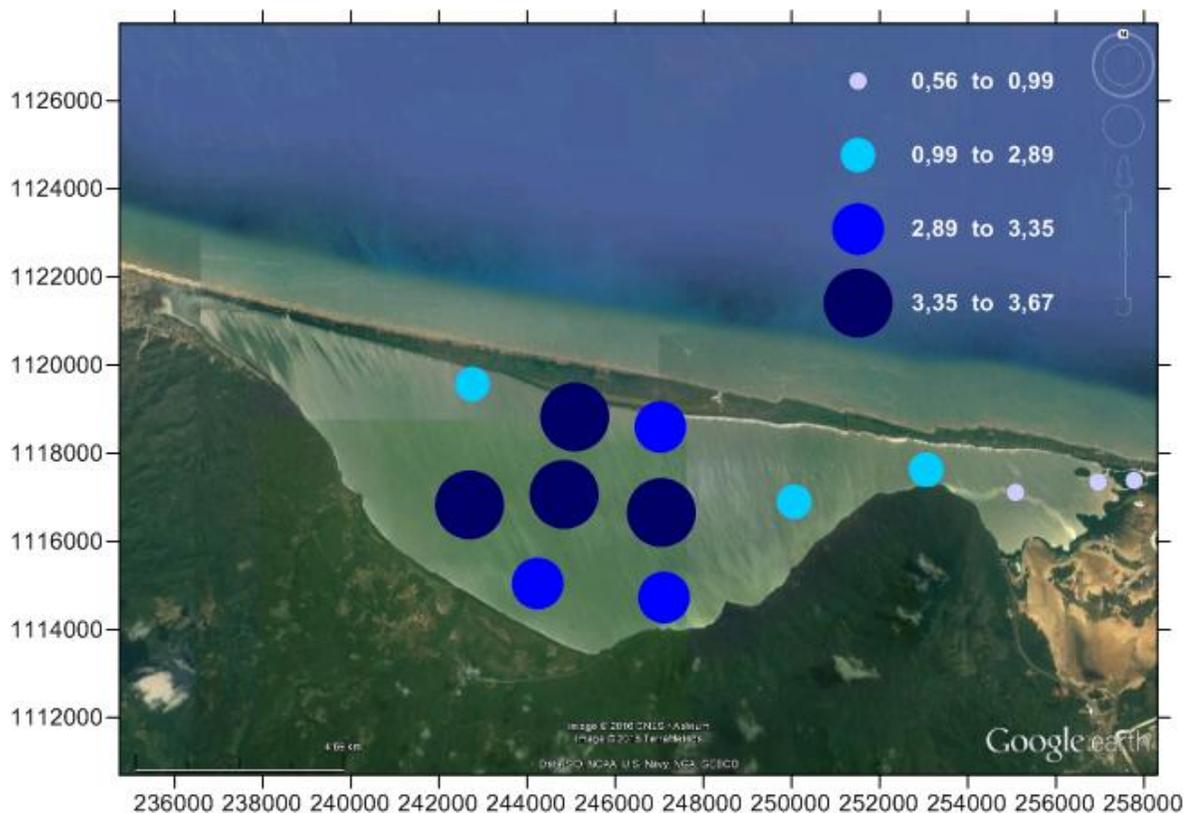


Figura 25. Variación espacial de CT en la Laguna de Unare

Para el caso de la Laguna de Píritu, se tiene que en ella las concentraciones de CT oscilaron entre 1,1 y 4,9 ± 0,1%, con un promedio de 2,5 ± 0,10% (tabla 17); en dicho sistema el valor máximo reportado corresponde al punto medio de la laguna, y a partir de éste la concentración empieza a disminuir de manera gradual hacia la orillas (figura 26) al igual que ocurre en la Laguna de Unare, lo cual viene dado por las condiciones de preservación de material orgánico hacia dicha zona central; sin embargo hacia la zona más oriental (cerca de la boca) se ve un aumento en el contenido de CT, atribuido a la entrada de material carbonático desde el mar y al material aportado por las zonas urbanas circundantes.

Tabla 17. Concentración de CT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	%CT (±0,1)	Muestra	%CT (±0,1)
MSLP1	1,2	MSLP10	3,3
MSLP2	1,1	MSLP11	2,0
MSLP3	1,6	MSLP12	1,6
MSLP4	3,6	MSLP13	1,9
MSLP5	4,2	MSLP14	1,6
MSLP6	4,0	MSLP15	1,4
MSLP7	4,9	MSLP16	1,1
MSLP8	4,7	MSLP17	1,6
MSLP9	2,1	MSLP18	3,56
Promedio	2,5		

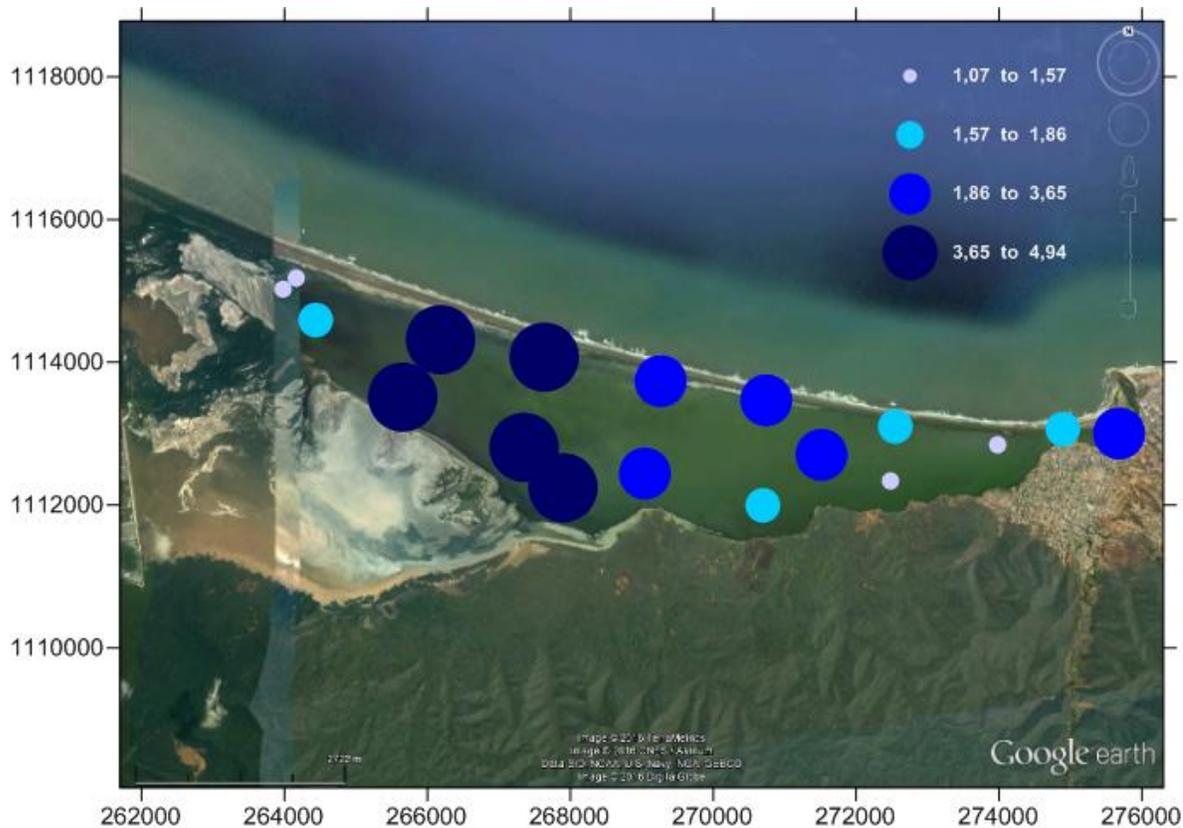


Figura 26. Variación espacial de CT en la Laguna de Píritu

7. Relación entre Carbono Total (CT) y la fracción orgánica (CO) e inorgánica (CI) del mismo

En la Laguna de Unare la distribución espacial de CT y CO son muy similares entre sí, permitiendo inferir de ello que la mayor proporción de CT está constituida por la fracción orgánica (CO), es decir que el CO ejerce el control sobre el CT presente. En este sentido puede verse una buena correlación entre ambas especies (tabla 18, figura 27) ($\%CT/\%CO = 0,99$) y en función de ella se puede concluir que el sistema al caracterizarse por aguas tranquilas, presencia de manglares y por ser albergue de gran biodiversidad de especies, genera una alta productividad dentro del sistema conllevando por ende una acumulación de material orgánico.

Por su parte, la Laguna de Píritu muestra un comportamiento exactamente igual a Unare puesto que presenta una distribución de CT y CO muy similares entre sí, por lo

que para este caso también se evidencia el control del CO sobre el CT (figura 27) con un coeficiente de correlación alto, también dado por $\%CT/\%CO = 0,99$.

Tabla 18. Coeficiente de correlación de entre CT y CO para las lagunas de Unare y Píritu

Laguna de Unare			Laguna de Píritu		
	%CT	%CO		%CT	%CO
%CT	1		%CT	1	
%CO	0,99	1	%CO	0,99	1

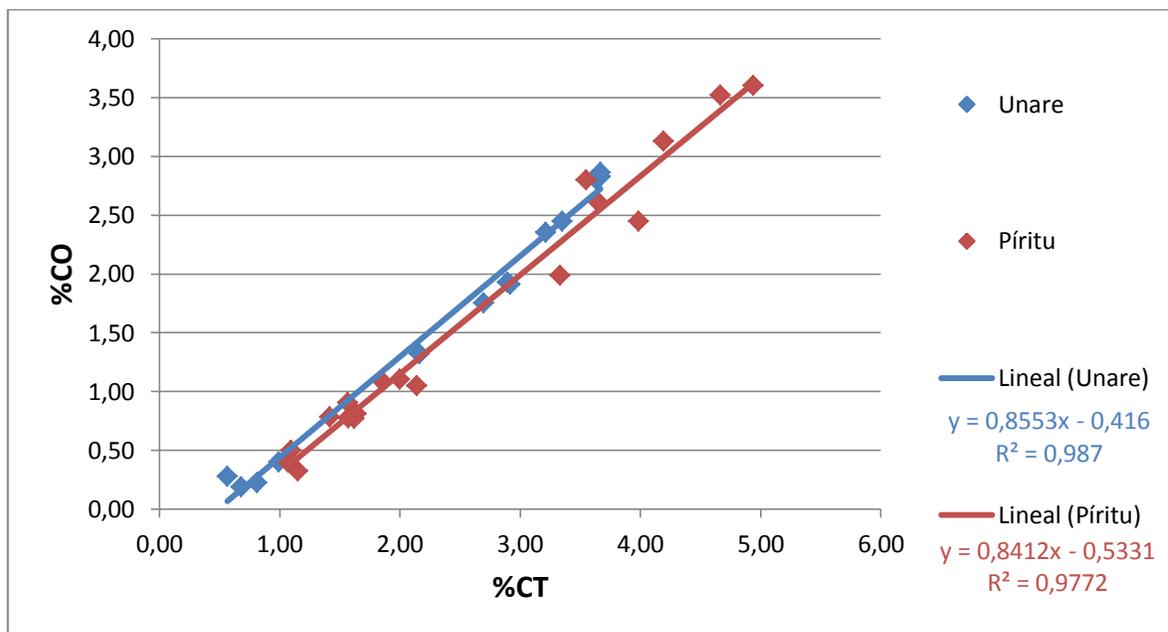


Figura 27. Correlación entre CT y CO para las lagunas de Unare y Píritu

8. Nitrógeno Total (NT) y su relación con Carbono Orgánico (CO)

Los valores de NT en las muestras de sedimentos de fondo de la laguna de Unare, oscilaron entre $0,166$ y $0,579 \pm 0,003\%$ con un promedio de $0,365 \pm 0,003\%$ (tabla 19). Así mismo la distribución de NT dentro del sistema (figura 28) presenta mayores concentraciones hacia la zona más central e interior de la laguna, mientras que hacia la zona oriental conforme la cercanía de la entrada del Río Unare se aprecia una disminución gradual desde dicha zona central, hasta alcanzar el punto MSLU12

(ubicado en dicha entrada) que muestra $0,23 \pm 0,003\%$ de NT, lo cual se puede atribuir a la entrada de material acarreado por el cauce del río, considerando que el mismo importa material orgánico natural derivado de la vegetación adyacente y material antrópico producto de actividades agrícolas y ganaderas que se desarrollan en la zona. Esta distribución concuerda a su vez con la determinada para CO dentro del sistema en cuestión, lo que permite inferir que la mayor proporción de dicha especie viene dada por nitrógeno asociado a la fracción orgánica presente en el sistema y por lo tanto su distribución se ve afectada por la degradación bajo las condiciones oxidantes que imperan hacia la zona de entrada del Río Unare.

Tabla 19. Concentración de NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	%NT ($\pm 0,003$)	Muestra	%NT ($\pm 0,003$)
MSLU1	0,299	MSLU8	0,447
MSLU2	0,470	MSLU9	0,372
MSLU3	0,402	MSLU10	0,210
MSLU4	0,579	MSLU11	0,182
MSLU5	0,451	MSLU12	0,233
MSLU6	0,421	MSLU13	0,166
MSLU7	0,517	Promedio	0,365

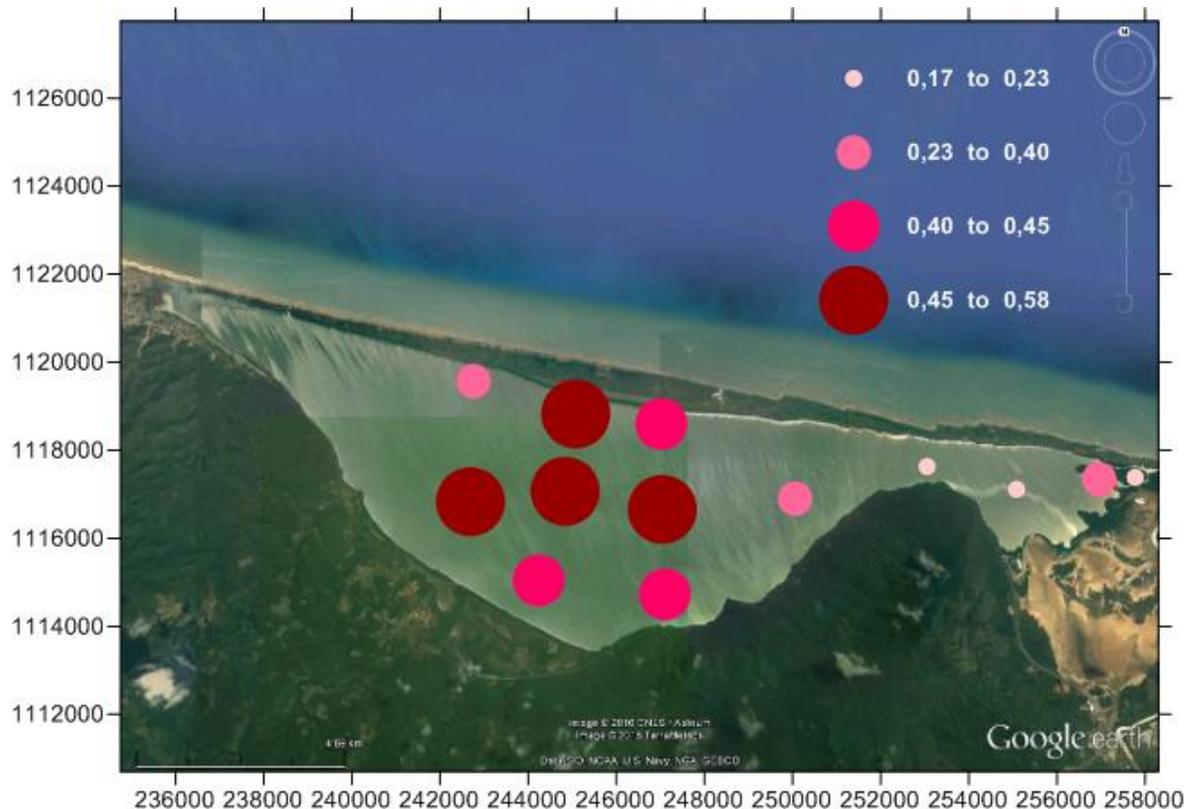


Figura 28. Variación espacial de NT en la Laguna de Unare

Es en función de la relación CO/NT (figura 29) y de su coeficiente de correlación (tabla 20) que es posible corroborar la relación entre ambas especies. Así mismo, en la figura 29, se puede ver como dentro de la laguna existe zonación en relación a los valores de CO/NT, ya que el grupo más pequeño corresponde a la zona más oriental de la laguna y presenta valores más bajos, y el grupo más grande a la zona central de la misma presenta mayores valores.

Tabla 20. Coeficiente de correlación entre CO y NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

	%CO	%NT
%CO	1	
%NT	0,96	1

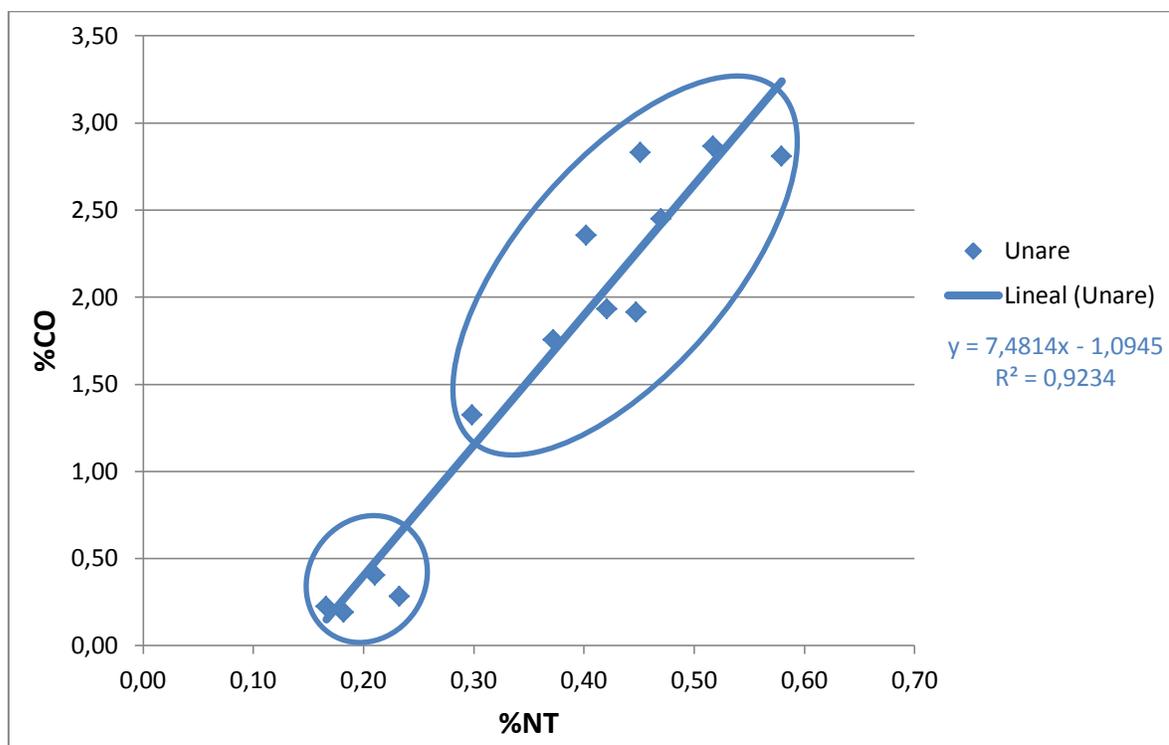


Figura 29. Correlación entre CO y NT para la Laguna de Unare

Por otro lado, se tiene que al comparar los valores de NT obtenidos en la presente investigación, con los de la Laguna de Tacarigua, aportados por Brun (2013), se tiene que los mismos son muy similares, siendo los de Tacarigua comprendidos en un intervalo de 0,19-0,81%NT (marzo, 2010); 0,15-0,73%NT (marzo,2011); y de 0,12-0,67%NT (agosto, 2011).

En lo concerniente a la Laguna de Píritu, se tiene que en la misma los valores de NT varían desde 0,182 a $0,400 \pm 0,003\%$, con un promedio de $0,270 \pm 0,003\%$ (tabla 21); de igual forma se observa que su distribución dentro del sistema no sigue un patrón uniforme o regular (figura 30). Sin embargo puede indicarse que hacia la zona central existe una relación entre dicha especie y la fracción orgánica correspondiente, presentando un coeficiente de correlación entre CO y NT de 0,86 (tabla 22, figura 31).

Por otro lado, hacia la zona más oriental se presentan puntos aleatorios con mayor concentración de NT, los cuales pueden deberse a la entrada de material externo desde la boca de la laguna, y su posterior distribución dentro del sistema, y consecuentemente

la relación CO/NT no presente zonación, sino que los valores de la misma se disponen de forma aleatoria dentro del sistema. Es importante destacar que los principales asentamientos urbanísticos están ubicados hacia la zona oriental de la laguna, por lo que puede haber aportes de aguas servidas que drenan directamente hacia dicha zona del sistema.

Al Comparar los valores de NT obtenidos, con los de la misma laguna una década atrás (López, 2002), se puede ver que los mismos oscilan entre 0,036 y 0,077%NT, concluyéndose que la concentración de dicho elemento en el sistema, ha incrementado sustancialmente, por lo que se puede inferir un aumento en la productividad primaria del sistema, una mayor entrada del mismo desde fuentes externas, así como que dentro del sistema pudiesen estar imperando mayores condiciones de baja oxigenación y preservación de material orgánico.

Tabla 21. Concentración de NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	%NT (±0,003)	Muestra	%NT (±0,003)
MSLP1	0,188	MSLP10	0,307
MSLP2	0,190	MSLP11	0,275
MSLP3	0,249	MSLP12	0,228
MSLP4	0,318	MSLP13	0,292
MSLP5	0,304	MSLP14	0,240
MSLP6	0,400	MSLP15	0,201
MSLP7	0,319	MSLP16	0,182
MSLP8	0,377	MSLP17	0,209
MSLP9	0,224	MSLP18	0,363
Promedio	0,270		

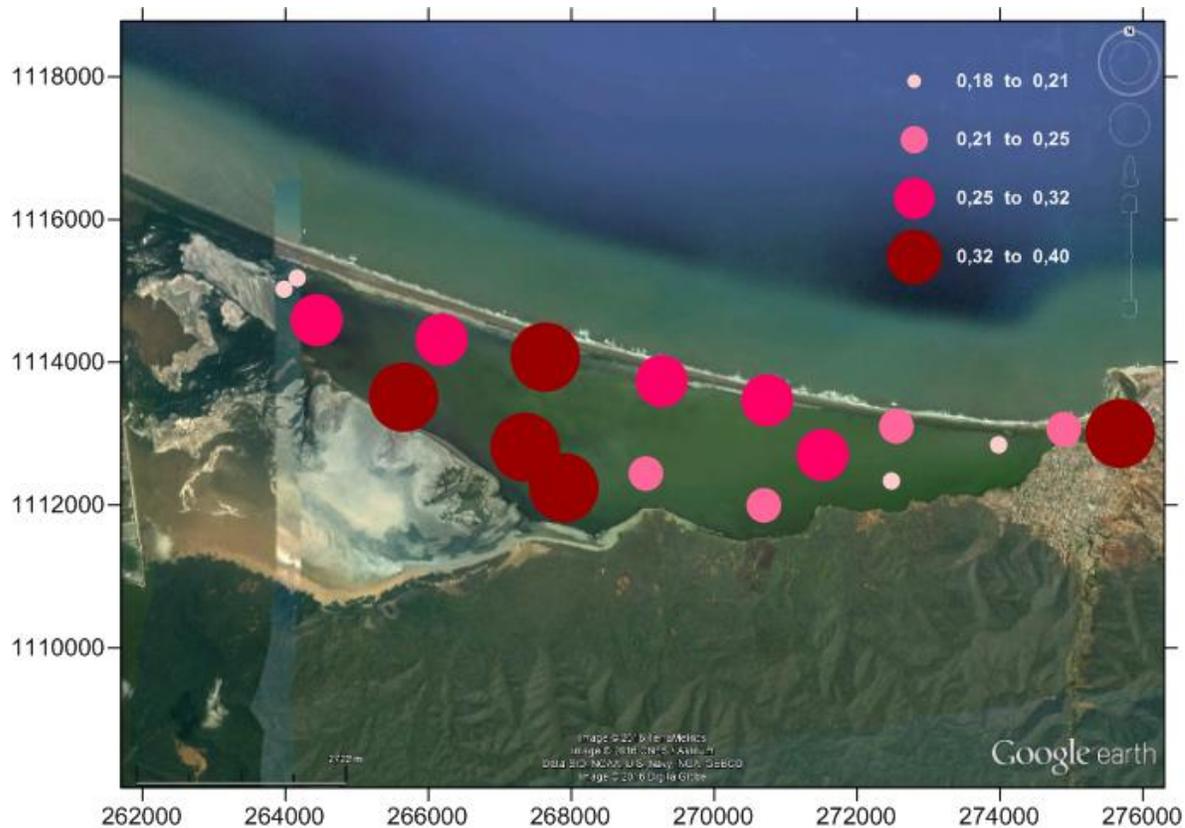


Figura 30. Variación espacial de NT en la Laguna de Píritu

Tabla 22. Coeficiente de correlación entre CO y NT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

	%CO	%NT
%CO	1	
%NT	0,86	1

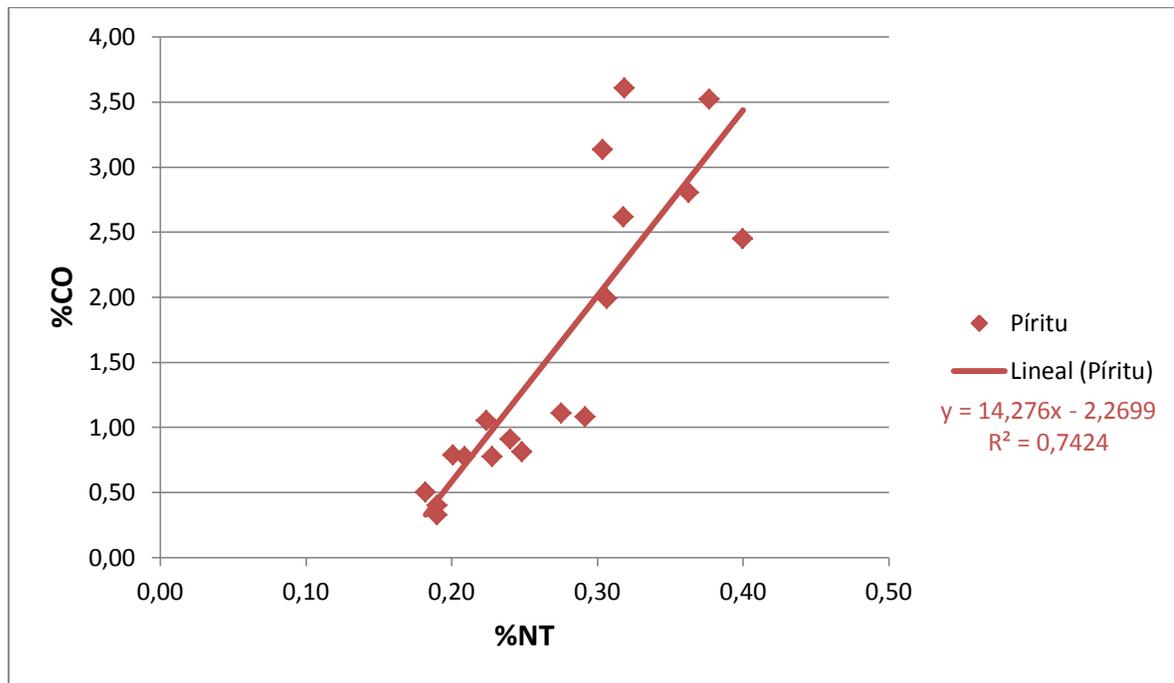


Figura 31. Correlación entre CO y NT para la Laguna de Píritu

La relación C/N, suele emplearse como indicador de fuente de MO, así como parámetro para determinar la calidad de la misma, teniéndose que a menores valores de C/N la MO es asociada a una fuente fitoplanctónica, mientras que a valores altos, la MO es asociada a material proveniente de plantas superiores (Cupery, 2011); sin embargo existen diferentes criterios para la relación C/N, por lo que no es adecuado hacer una interpretación rígida de la misma (Brun, 2013).

En función de lo anteriormente descrito, se tiene que en el caso de la Laguna de Unare la relación C/N es variable entre 1,04 y 6,27, con un promedio de 3,94 (tabla 23), presentándose los menores valores hacia la zona de influencia del Río Unare (MSLU10, MSLU11, MSLU12 y MSLU13), sin embargo todos los valores obtenidos al no sobrepasar un valor de 8-9, permiten asociar a la MO con un origen fitoplanctónico. Mientras que por su parte la Laguna de Píritu presenta valores de C/N en un rango más amplio y variable, que oscila desde 1,71 hasta 11,31 con un promedio de 5,36 (tabla 23), lo que permite en este caso asociar la fracción orgánica a un origen que va desde actividad fitoplanctónica hasta MO proveniente de plantas superiores, además de material asociado directamente a escorrentías de las áreas adyacentes.

Tabla 23. Relación entre CO y NT en las muestras de sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu

Laguna de Unare		Laguna de Píritu	
Muestra	C/N	Muestra	C/N
MSLU1	4,43	MSLP1	1,71
MSLU2	5,21	MSLP2	2,09
MSLU3	5,85	MSLP3	3,27
MSLU4	4,84	MSLP4	8,23
MSLU5	6,27	MSLP5	10,31
MSLU6	4,59	MSLP6	6,12
MSLU7	5,54	MSLP7	11,31
MSLU8	4,27	MSLP8	9,34
MSLU9	4,71	MSLP9	4,69
MSLU10	1,91	MSLP10	6,48
MSLU11	1,04	MSLP11	4,02
MSLU12	1,20	MSLP12	3,39
MSLU13	1,34	MSLP13	3,71
Promedio	3,94	MSLP14	3,78
		MSLP15	3,91
		MSLP16	2,75
		MSLP17	3,70
		MSLP18	7,72
		Promedio	5,36

9. Fósforo Total (PT) y su relación con Carbono Orgánico (CO)

Las concentraciones de fósforo para las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare variaron entre 291 y 625 ± 21ppm, con un promedio de 364 ± 21ppm (tabla 24). La distribución de este elemento en la laguna (figura 32), es similar a la que muestra el CO y la MO dentro del sistema, y se caracteriza por presentar mayores concentraciones hacia el interior de la laguna. Además se presentan valores más altos hacia la zona oriental, siendo MSLU13 ubicado en la entrada del Río Unare, el punto con mayor contenido de fósforo dentro de la laguna, y ello podría indicar un aporte tanto de la productividad primaria de la vegetación como de material antrópico proveniente de aguas servidas que son vertidas directamente en la laguna sin tratamiento previo, lo cual se evidenció al momento de realizar el muestreo. Dicha fracción de material

fosforado ajeno a la MO, al encontrarse dentro del sistema en alta proporción controla el fósforo presente.

Tabla 24. Concentración de PT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Unare

Muestra	ppmPT (±21)	Muestra	ppmPT (±21)
MSLU1	291	MSLU8	379
MSLU2	322	MSLU9	310
MSLU3	302	MSLU10	321
MSLU4	335	MSLU11	354
MSLU5	357	MSLU12	373
MSLU6	320	MSLU13	625
MSLU7	442	Promedio	364

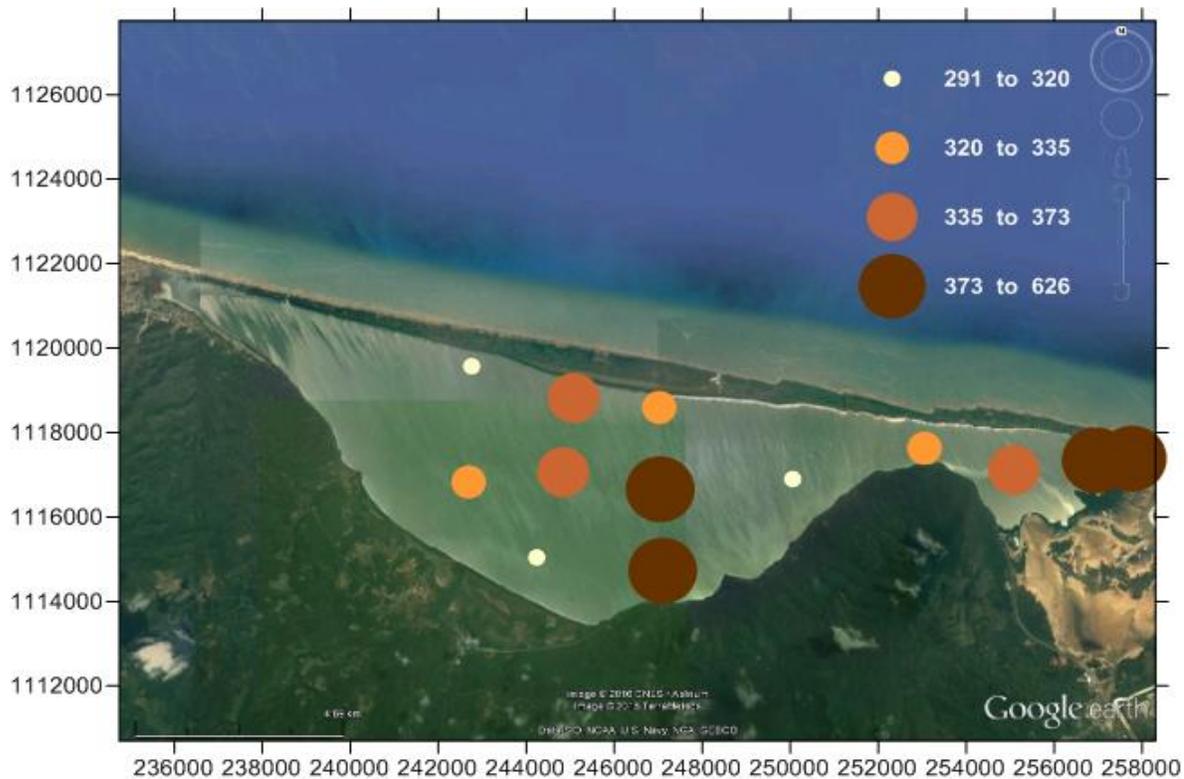


Figura 32. Variación espacial de PT en la Laguna de Unare

En el caso de la laguna de Píritu los valores de fósforo presentes abarcan un rango que va desde 213 a 1013 ± 21ppm, con un promedio de 493 ± 21ppm (tabla 25),

disponiéndose altas concentraciones de dicho elemento hacia la parte más occidental de la laguna, así como hacia el extremo más oriental de la misma (figura 33).

Tabla 25. Concentración de PT en las muestras de sedimentos de fondo de la Laguna de Píritu

Muestra	ppmPT (±20,78)	Muestra	ppmPT (±20,78)
MSLP1	580	MSLP10	330
MSLP2	540	MSLP11	323
MSLP3	572	MSLP12	403
MSLP4	713	MSLP13	310
MSLP5	506	MSLP14	449
MSLP6	400	MSLP15	425
MSLP7	512	MSLP16	567
MSLP8	213	MSLP17	609
MSLP9	413	MSLP18	1013
Promedio	493		

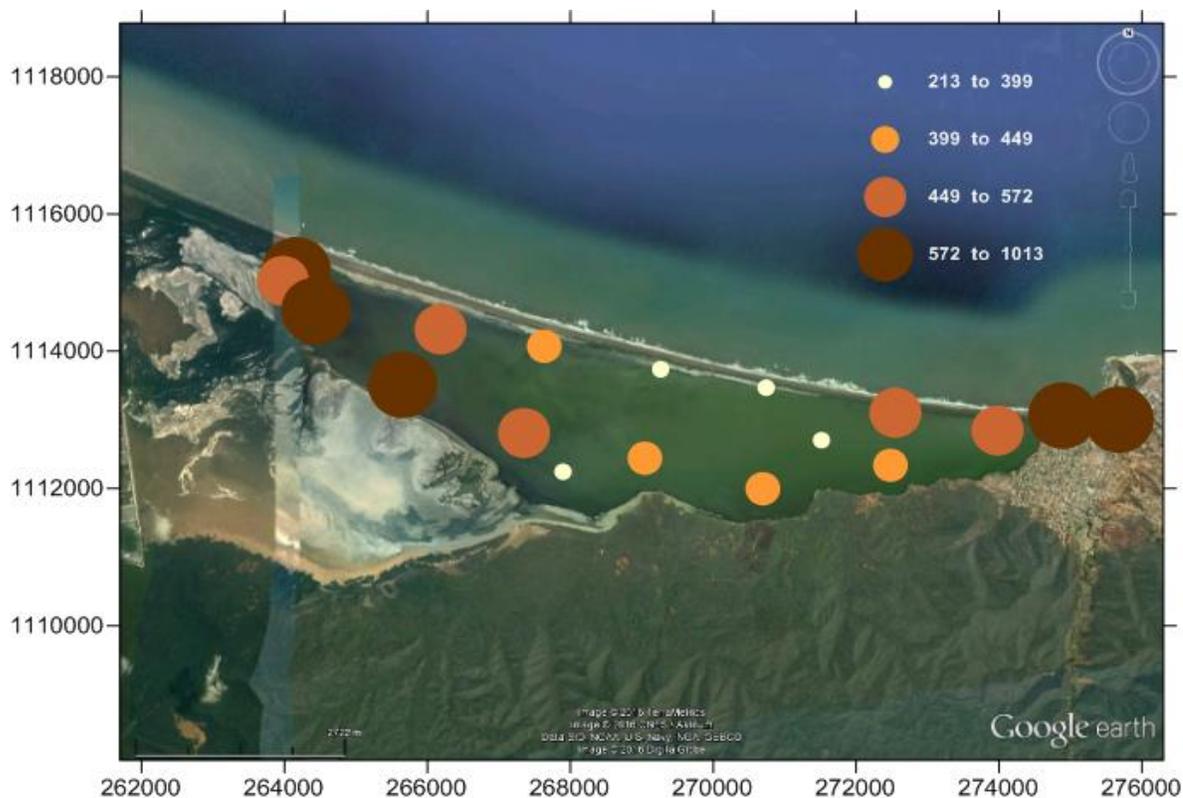


Figura 33. Variación espacial de PT en la Laguna de Píritu

La alta concentración hacia la parte occidental se puede atribuir a la presencia de la barrera natural propia de la época de sequía en dicho sistema, la cual permite además contar con las condiciones propicias para preservar material orgánico, así mismo la zona con presencia de manglares presenta gran abundancia de especies de aves las cuales aportan dicho elemento en forma de guano. Aunado a ello se tiene que dicha zona occidental al estar alejada de la boca, presenta características que permiten preservar material orgánico, en función de que en la época de sequía el aporte del Río Unare hacia la laguna se caracteriza por la ausencia de una fuerte corriente, además el mismo drena colindando áreas destinadas a actividades agrícolas y ganaderas. Por otro lado se tiene que el sector oriental presenta el punto con mayor concentración dentro de todo el sistema (MSLP18); en este caso dicha concentración de fósforo se puede atribuir a material proveniente de fuentes externas, que entra a la laguna mediante las aguas servidas y aguas de escorrentía, principalmente asociadas a zonas asociadas agrícolas y pecuarias establecidas alrededor del sistema.

Al igual que la relación C/N, la razón C/P es un parámetro que permite inferir el origen de la MO. Dicha relación asocia la MO a un origen relacionado a bacterias cuando oscila entre valores de 5 a 8, mientras que si se encuentra entre 10 y 30 se asocia a un origen animal, y por último se asocia a origen vegetal si la relación viene dada por valores entre 15 y 50. De acuerdo a lo mencionado anteriormente para la Laguna de Unare se obtuvieron valores de C/P entre 3,57 y 83,67, lo que permite inferir que el origen de la MO dentro del sistema es variado. En el sector oriental de la laguna se presenta la MO asociada a un origen bacteriano, mientras que el punto MSLU10 presenta MO de origen animal, y por último la zona más interior y central de la laguna se caracteriza por MO de origen vegetal.

Por su parte la Laguna de Píritu presenta valores de C/P entre 5,60 y 165,22, concluyendo que en dicho sistema la MO también proviene de diversas fuentes, presentándose hacia el extremo más occidental (puntos MSLP1 y MSLP2) MO asociada a actividad bacteriana, lo que se puede asociar a que las condiciones de dicho sector dadas por aguas tranquilas y corrientes con poca energía permiten la concentración y

desarrollo de bacterias generando a su vez un aumento de la productividad de las mismas, y consecuentemente la MO asociada a ellas.

Tabla 26. Relación entre CO y PT en las muestras de sedimentos de fondo de las lagunas de Unare y Píritu

Laguna de Unare		Laguna de Píritu	
Muestra	C/P	Muestra	C/P
MSLU1	45,50	MSLP1	5,60
MSLU2	76,13	MSLP2	7,36
MSLU3	78,04	MSLP3	14,19
MSLU4	83,67	MSLP4	36,71
MSLU5	79,25	MSLP5	61,82
MSLU6	60,31	MSLP6	61,30
MSLU7	64,81	MSLP7	70,48
MSLU8	50,51	MSLP8	165,22
MSLU9	56,59	MSLP9	25,47
MSLU10	12,53	MSLP10	60,33
MSLU11	5,35	MSLP11	34,26
MSLU12	7,51	MSLP12	19,20
MSLU13	3,57	MSLP13	34,85
Promedio	47,98	MSLP14	20,20
		MSLP15	18,47
		MSLP16	8,83
		MSLP17	12,71
		MSLP18	27,65
		Promedio	38,04

Por otro lado, en la zona central del sistema, la MO presenta un origen predominante tanto de naturaleza animal como vegetal, lo que concuerda a su vez con la abundante presencia de aves en dicha zona, recordando el papel de estos ambientes como hábitat y reservorio de una amplia diversidad animal. Así mismo ocurre hacia la zona oriental de la laguna, en donde predomina MO de origen vegetal. Por último cabe mencionar que hacia los puntos MSLP7, MSLP8 y MSLP10 (figura 16) la relación C/P no permite inferir el origen de la MO presente, y esto puede estar asociado a que dicha zona representa la transición entre el sector oriental y occidental, lo que a su vez se

traduce en MO originada tanto por actividad de bacterias, animales y hongos, sin poder determinar que actividad fuente predomina.

Es importante observar, que tanto para Unare como para Píritu, no existe una buena correlación entre CO y PT (figura 34), y ello puede evidenciarse además en la tabla 27, donde se muestran los valores de los coeficientes de correlación asociados, los cuales son considerados como muy bajos; esto indica que la mayor parte del fósforo presente no está asociado a la MO.

Al comparar las concentraciones de PT obtenidos para la Laguna de Unare, con las reportadas por Fermín (2002), dadas por un intervalo de 40-180ppm, y relacionando las concentraciones actuales de dicho elemento a sus diversos aportes y la correlación entre PT y CO, se puede ver inferir que el sistema de Unare ha sido víctima de un avance de la influencia antrópica por parte de los sectores adyacentes (aguas servidas que pueden además contener detergentes y de escorrentías agrícolas).

De manera en la laguna de Píritu, se han visto incrementadas en los últimos diez años las concentraciones de fósforo, y ello se puede ver al comparar los valores determinados en el presente trabajo de investigación con los reportados por López (2002), que varían entre 8 y 100ppm de fósforo, notándose que para este caso dicho incremento es muy marcado, ya que actualmente los valores de dicho elemento se encuentran alrededor de 5 y hasta 10 veces por encima, lo que a su vez se puede definir como un reflejo directo de la marcada influencia antrópica actual sobre el sistema, propiciando esto el deterioro de dicha laguna.

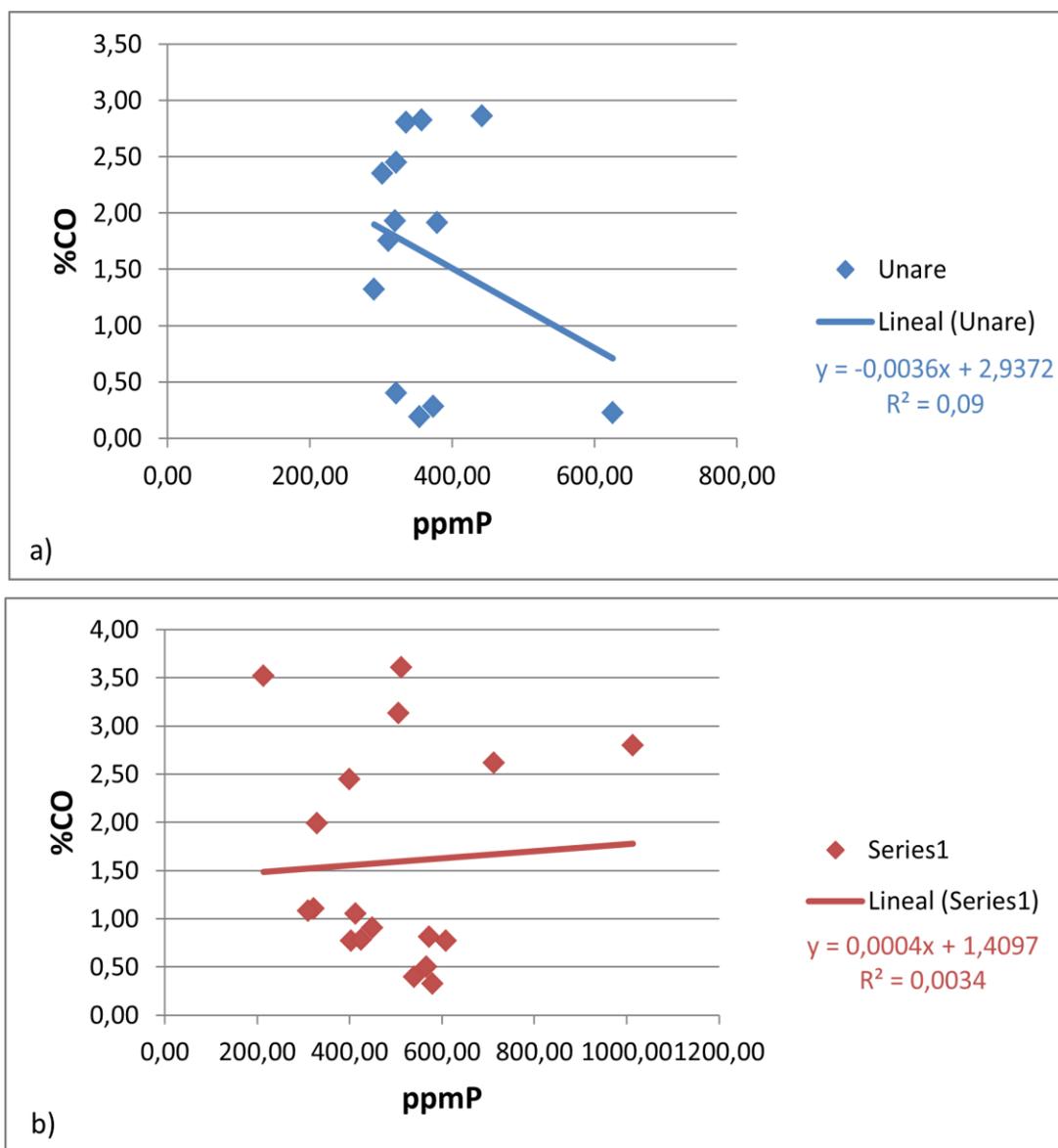


Figura 34. Correlación entre CO y PT para las lagunas de Unare y Píritu. a) Correlación CT/CO para la Laguna de Unare. b) Correlación CT/CO para la Laguna de Píritu

Tabla 27. Coeficientes de correlación entre CO y PT para las lagunas de Unare y Píritu

Laguna de Unare			Laguna de Píritu		
	%CO	%PT		%CO	%PT
%CO	1		%CO	1	
%PT	0,06	1	%PT	-0,30	1

A modo general, para dar cierre a la sección correspondiente a la presentación y discusión de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, y en función de comparar las dos lagunas que constituyen el sistema de estudio, se observa que la Laguna de Píritu presenta una mayor influencia por parte de los factores externos hacia su interior, atribuyendo la misma a las actividades de pesca que tienen lugar, así como al mayor desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas en las zonas circundantes. Estas se pueden catalogar como actividades que rompen el equilibrio ecológico del sistema presente, lo cual puede conducir a una eutrofización dentro del sistema. Sin embargo en la actualidad dicha laguna sigue albergando gran biodiversidad de especies estuarinas y aves migratorias.

Como contraparte la Laguna de Unare, a pesar de presentar menor influencia antrópica, presenta evidencias de la misma, y además de ello muestra hacia el extremo oriental del sistema (MSLU10, MSLU11, MSLU12 y MSLU13) pequeños parches de material algal en superficie (Apéndice 9), los cuales a pesar de no abarcar gran extensión y no ser consistentes en toda la extensión del sistema, pudiesen representar indicios de que áreas muy localizadas dentro del denominado sector oriental de la laguna presentan condiciones que pueden poner en riesgo el equilibrio del sistema y conllevar procesos de eutrofización en el futuro. Aunado a ello se evidenció en ésta zona montículos de material sedimentario que pueden dificultar la oxigenación y transporte de corrientes dentro de la misma.

Ahora bien, estudios realizados con anterioridad en el ámbito biológico en la laguna de Unare (Subero-Pino *et al.*, 2005), muestran evidencias de que al tener un aporte exógeno constante de especies nutrientes al sistema, considerando además que el intercambio de agua con el exterior es restringido y que en ciertas épocas no es posible la renovación de las aguas interiores, y ello conduce a condiciones de eutrofización. Las

cuales se caracterizan por una abundancia fitoplanctónica y por la presencia de muchas cianobacterias que caracterizan la etapa final de la sucesión fitoplanctónica.

Adicionalmente debe señalarse que en la actualidad existen herramientas avanzadas con modelos matemáticos que permiten determinar el estado de la eutrofización dentro de los sistemas acuáticos, tal es el caso de EnvHydrEM (Environmental Hydraulics Institute Eutrophication Model), el cual fue desarrollado para su aplicación en sistemas lagunar-costeros; dicho modelo considera como variables el fitoplancton, carbono, fósforo, nitrógeno, sílice, oxígeno disuelto, materia orgánica, zooplancton, bacterioplancton, detritos, hierro, y el manganeso (Zouiten *et al.*, 2013).

Del mismo modo se observa que la Laguna de Píritu muestra mayores concentraciones de Cl en la fracción limo-arcilla, y por el contrario es Unare quien presenta mayor porcentaje de CO. En lo referente a la MO y al igual que como lo afirma Bonilla (2003) para el caso del Archipiélago Los Roques, las condiciones hidrogeoquímicas, así como la geodinámica dadas principalmente por la textura y tipo de granos sedimentarios, afectan de manera determinante el contenido y preservación y evolución de la MO que pueda prevalecer en los sedimentos. Dentro de este marco de ideas, se tiene que ambos sistemas presentan fuentes diversas de MO a lo largo de su extensión, así como concentraciones de la misma dadas hacia las zonas más internas de dichos sistemas, lo cual era lo esperado en función de la configuración granulométrica obtenida, de las condiciones hidrodinámicas del sistema, y de la afinidad de la MO con dicha fracción del sedimento.

En el mismo orden de ideas, cabe mencionar que de manera simultánea a la presente investigación, Valero (2016, comunicación personal) realizó la determinación de la concentración de Fe, Mn, Cu, Zn y Ni presentes en la fracción limo-arcilla de las dos lagunas objetos de investigación. Es así, como al comparar dichos valores con el contenido de MO se tiene que la correlación entre ellos, no arroja buena asociación entre dichas especies (tabla 28), exceptuando el caso de la MO con Mn en la Laguna de Unare, lo cual se puede apreciar además en la figura 35 y permite inferir que dicho elemento dentro del sistema se asocia en buena proporción a la fracción orgánica.

Tabla 28. Coeficientes de correlación entre Fe, Mn, Cu, Zn y Ni, con respecto a la fracción orgánica del sedimento, para las lagunas de Unare y Píritu

Laguna de Unare		Laguna de Píritu	
	%MO		%MO
%MO	1	%MO	1
ppm Fe	-0,02	ppm Fe	-0,38
ppm Mn	0,84	ppm Mn	0,33
ppm Cu	0,15	ppm Cu	0,17
ppm Zn	-0,49	ppm Zn	-0,53
ppm Ni	0,09	ppm Ni	-0,02

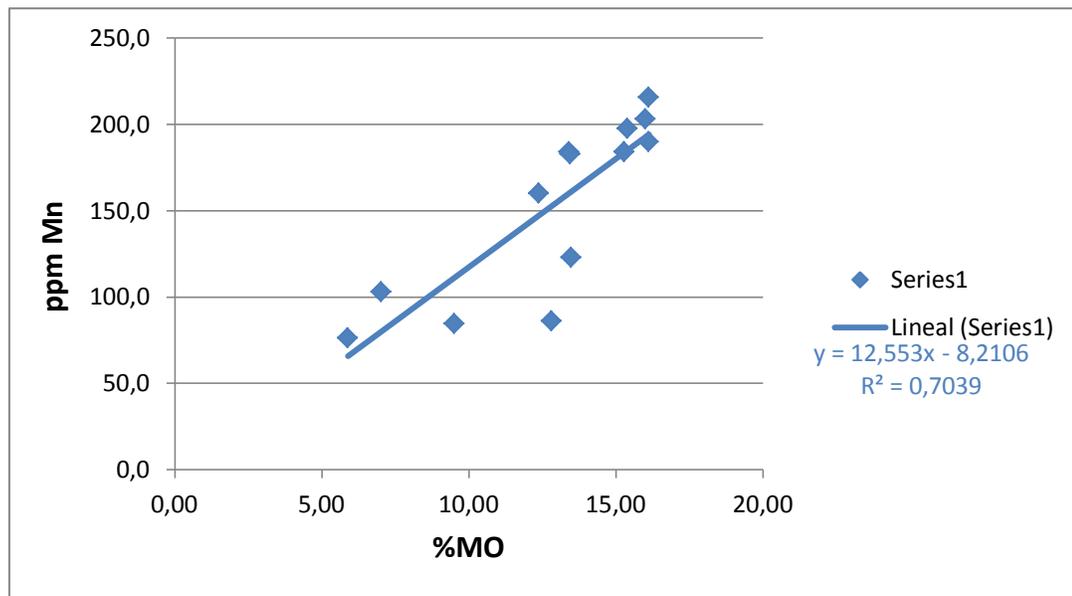


Figura 35. Correlación entre Mn (asociado a MO, sulfuros y oxihidróxidos débilmente sorbidos) y MO, para la Laguna de Unare

Y en relación a las especies nitrogenadas y fosforadas se tiene que para ambos casos, dichas especies muestran procedencia tanto alóctona como autóctona, siendo la primera de ellas dada tanto por aporte natural como por aportes antrópicos de las áreas circundantes. Considerando además que las aguas que drenan hacia el río Unare, quien representa el principal aporte de material a ambos sistemas, es a su vez afectado por aguas servidas y aguas de escorrentía que pueden actuar como importante fuente de nitrógeno y fósforo al sistema.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ En ambas lagunas del sistema estudio, predomina la fracción limo-arcilla (<63 μ m) sobre la fracción de tamaño de grano mayor e igual a las arenas (>63 μ m), y la misma se encuentra a su vez asociada a la zona más interna de ambas lagunas.
- ✓ Los valores de Cl, CO, MO, CT oscilaron para la Laguna de Unare, entre 0,28 y 1,01 \pm 0,05%; 0,19 y 2,86 \pm 0,05%; 5,90 y 16,13 \pm 0,68%; y 0,56 y 3,67 \pm 0,10% respectivamente. Mientras que para el caso de Píritu dichos valores vienen dados por 0,59 y 1,54 \pm 0,05%Cl; 0,32 y 3,60 \pm 0,05%CO; 8,41 y 21,53 \pm 0,68%MO; y 1,07 y 4,94 \pm 0,10%MO; permitiendo todo ello concluir que Píritu presenta concentraciones mayores de dichas especies, que la Laguna de Unare.
- ✓ El NT y PT viene dado por fuentes naturales y antrópicas, siendo los valores de Píritu mayores que los de Unare, pudiéndose deberse a la mayor influencia antrópica sobre la segunda laguna. Píritu presenta valores de NT entre 0,18 y 0,40 \pm 0,003%, mientras que para Unare el mismo oscila entre 0,17 y 0,58 \pm 0,003%. Para el caso de PT varía entre 290 y 625 \pm 21ppm en la Laguna de Unare, y entre 213 y 1012 \pm 21%ppm para el caso de Píritu.
- ✓ La zona occidental de la Laguna de Unare, se caracterizó por presentar las mayores concentraciones de las especies analizadas en el presente trabajo de investigación (Cl; CO, MO, CT, NT y PT); teniéndose hacia la zona oriental, donde se ubica el afluente del Río Unare, aportes externos de material orgánico al sistema, dado ya sea por fuentes naturales o antrópicas.
- ✓ La concentración de CT y NT en el caso de Unare, se ve dada en su mayoría por un aporte orgánico, mientras que el PT no guarda buena relación con dicha fracción orgánica, lo que permite concluir en que su entrada al sistema se ve afectada por las fuentes antrópicas y el uso de productos que presentan en su composición especies fosforadas (detergentes, fertilizantes). Así mismo se concluye que el sistema de Unare presenta un menor efecto antrópico que la Laguna de Píritu,
- ✓ Píritu se caracteriza por presentar hacia la zona oriental gran influencia por parte de los factores externos, destacando las actividades humanas, presentando aguas servidas y de escorrentía que caen directamente sobre el cuerpo de agua, sin ser tratadas de manera previa, así como un mayor desarrollo de actividades pesqueras.
- ✓ Las condiciones dentro de ambas están influenciadas por el aporte marino, así como por el aporte fluvial que presentan dado por el Río Unare, considerando la carga sedimentaria y en solución aportada por ambos factores.
- ✓ Según las relaciones C/N y C/P, la MO presente en las lagunas de Unare y Píritu, es producto de diversas fuentes.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar una determinación granulométrica en el período de lluvia, con el fin de determinar variabilidad temporal en el patrón de sedimentación de ambos sistemas, así como para poder establecer posibles cambios en las condiciones fisicoquímicas del sistema.
- ✓ En el caso de la Laguna de Unare, es necesario el monitoreo constante de la comunicación de dicho sistema con el mar, y en el caso de Píritu, es necesaria tanto la restauración como dicho monitoreo de la comunicación de la laguna con el mar, con el fin de mantener siempre renovación de la masa de agua y exportar parte del material orgánico presente hacia los sistemas costeros adyacentes, y así consecuentemente contrarrestar la acumulación del mismo, para evitar efectos eutróficos.
- ✓ Realizar la determinación de azufre dentro del sistema, ya que el mismo también representa parte de los constituyentes principales que conforman el material orgánico, que se está viendo acumulado en el sistema de estudio.
- ✓ Determinar la concentración de las distintas especies que conforman NT y PT, para tener una mejora caracterización de dichos elementos en el sistema de estudio.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. (2001). *Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risk of Metals*. Segunda Edición. New York. Springer-Verlag. 866p.
- Arreola J. (2009). *Propuestas de Manejo para tres Lagunas Costeras Prioritarias del Noroeste de México*. Trabajo de investigación. Guaymas, Sonora. p.104
- Belias, C.; Dassenakis, M.; y Scoullou, M. (2007). Study of the N, P and Si fluxes between fish farm sediment and seawater. Results of simulation experiments employing a benthic chamber under various redox conditions. *Marine Chemistry* 103 (3-4): 266-275.
- Berkowitz, B.; Dror, I.; y Yaron, B. (2008). *Contaminant Geochemistry. Interactions and Transport in the Subsurface Environment*. Springer. 412p.
- Bird, E. (1994). Chapter 2: Physical Setting and Geomorphology of Coastal Lagoons. In Kjerfve, B. (1994). *Coastal Lagoon Processes*. Países bajos. Elsevier Science B. V. pp. 9-39.
- ten Brink P., Russi D., Farmer A., Badura T., Coates D., Förster J., Kumar R. y Davidson N. (2013). *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales*. Resumen ejecutivo.
- Boggs, S. Jr. (2006). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Cuarta Edición. Nueva Jersey. Pearson Prentice Hall. 662p.
- Bonilla, J.; y Quintero, A. (2003). Contenido Orgánico y parámetros reductores de sedimentos del Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*.
- Brun, M. (2013). *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. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 78p.
- Burbano, A. (2010). *Distribución espacial de Carbono y Nitrógeno en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 71p.
- Calixto R.; Herrera L.; y Hernández V. (2008). *Ecología y medio ambiente*. Segunda Edición. Cengage Learning Editores, S.A. México. 232p.

- Camargo, J.; y Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas* 16 (2): 98-110.
- Campbell, N; y Reece J. (2007). *Biología*. Séptima Edición. Médica Panamericana. España. 1500 p.
- Cox, P. (1997). *The Elements on Earth*. Primera Edición. Oxford University Press. New York. 286 p.
- Cupery D. (2011). Historical Nitrogen Impacts to Narragansett Bay: A Sediment Core Analysis. Brown University. *Center for Environmental Studies*. Thesis
- Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 65(10): 934-941.
- De La Lanza-Espino, G.; Flores, F.; Hernández, S.; y Penié, I. (2011). Concentration of nutrients and C:N:P rations in surface sediments of a tropical coastal lagoon complex affected by agricultural runoff. *Universidad y Ciencia*, 27 (2): 145-455.
- De la Llata, M. (2003). *Ecología y medio ambiente*. Segunda Edición. Progreso, S.A. de C.V. 232p
- De Vittor, C.; Faganeli, J.; Emili, A.; Covelli, S.; Predonzani, S.; y Acquavita, A. (2012). Benthic fluxes of oxygen, carbon and nutrients in the Merano and Grado Lagoon (northern Adriatic Sea, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113: 57-70.
- Díaz, S. (2012). *Estudio de la calidad del agua del humedal costero, Laguna de Tacarigua, Edo. Miranda, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 147p.
- Edelvang, K.; y Austen, I. (1997). The temporal variation of floes and fecal pellets in a tidal channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (44): 361-367. In: Middleton, G.; Church, M.; Coniglio, M.; Hardie, L.; y Longstaffe, F. (2003). *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 314p.
- Emery, K. O. (1969). *A coastal pond studied by oceanographic methods*. American Elsevier Publishing Co., New York, 82p.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E., (1987). *Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Segunda Edición. Editorial IICA. 420 p.
- Fermín, I. (2002). *Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales de la laguna de Unare, edo. Anzoátegui*. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela. Cumaná. 106p.

- Ferrain, C.; Umgieser, G.; Bajo, M.; Bellafiore, D.; De Pascalis, F.; Ghezzi, M.; Mattassi, G.; y Scroccaro, I. (2010). Hydraulic zonation of the lagoons of Marano and Grado, Italy. *A modeling approach. Estuarine, Coastal and Shelf Science (87)*: 561–572
- Fragiel, S. (2006). *Estudio químico-estratigráfico de los litotipos de grano fino de la Formación Socorro, Cuenca Central de Falcón, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 86 p.
- Fuentes, M. (2001). Estudio geoquímico de carbohidratos, hidrocarburos, aceites y grasas de la Laguna de Chacopata, estado Sucre, Venezuela. Universidad de Oriente. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, 40(1-2)*: 31-37.
- Hakanson, L.; y Jansson, M. (1983). *Principles of Lake Sedimentology*. Springer-Verlag. Berlín, Alemania, 320p.
- Havlin J., Beaton J., Tisdale S. y Nelson W. (1999). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Sexta Edición. Prentice Hall. New Jersey. 499p.
- Herrera-Silveira, J.; Morales-Ojeda, S.; y Cortes-Balan, T. (2011). *Eutrofización en los ecosistemas costeros Del Golfo de México: V.1*. Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 88p.
- Hou, D.; He, J.; Lü, C.; Sun, Y.; Zhang, F.; y Otgonbayar, K. (2013). Effects of Environmental Factors on Nutrients Release at Sediment-Water Interface and Assessment of Trophic Status for a Typical Shallow Lake, Northwest China. *The Scientific World Journal 2013*: 1-16.
- Hurtado, R. (2015). *Geoquímica de C, N, P y S en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Msc. Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Jackson, M. (1976). *Análisis químico de suelos*. Omega, S. A. España. 662p.
- Jorgensen, B. (1996). Material flux in the sediment. In: Jorgensen, B. y Richardson, K. *Coastal and Estuarine Studies. American Geophysical Union*. pp.115-135.
- Kjerfve, B. (1994). Chapter 1: Coastal Lagoons. In: Kjerfve, B. (1994). *Coastal Lagoon Processes*. Netherlands. Elsevier Science B. V. pp.1-8.
- Klump J.; y Martens C. (1981). Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin — II. Nutrient sediment–water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta 45*: 101–121. In Ignatieva, N. (1999). *Nutrient Exchange across the sediment-water interface in the Eastern Gulf of Finland*. *Boreal Environment Research 4*: 295-305

- Knoopers, B. (1994). Chapter 9: Aquatic Primary Production in Coastal Lagoons. In: Kjerfve, B. (1994). *Coastal Lagoon Processes*. Netherlands. Elsevier Science B. V. pp243-286
- Kormas, K.; Nicolaidou, A.; y Reizopoulou, S. (2001). Temporal Variations of Nutrients, Chlorophyll and Particulate Matter in Three Coastal Lagoons of Amvrakikos Gulf (Ionian Sea, Greece). *Marine Ecology* (22-3): 201-13.
- van Leussen, W. (1994). Estuarine Macrobios and their Role in Finegrained Sediment Transport. University of Utrecht. In: Middleton, G.; Church, M.; Coniglio, M.; Hardie, L.; y Longstaffe, F. (2003). *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 314p.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela. (1999). *Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela*. Venezuela PDVSA Intevep. 20 de octubre de 2016. Disponible en <http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>
- López, F. (2002). *Determinación del contenido de metales en los sedimentos superficiales de la Laguna de Píritu, Estado Anzoátegui, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 111 pp.
- López, F.; Senior, W.; Fermín, I.; Márquez, A.; y Martínez, G. (2006). Fraccionamiento de los metales pesados Fe, Cd, Cr Y Pb en los sedimentos superficiales de La Laguna De Píritu. Estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín del Instituto de oceanografía*. 45 (1): 51-60
- Lukawska, K.; Kielczewska, J.; y Bolalek, J. (2014). Factors controlling spatial distributions and relationships of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur in sediments of the stratified and eutrophic Gulf of Gdansk. *Continental Shelf Research* 85: 168-180.
- Manahan, S. (2001). *Frontmatter: Fundamentals of Environmental Chemistry*. Florida CRC Press LLC. 977p.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. España. Reverté Ediciones S.A. 620p.
- Márquez, A.; Senior, W.; Fermín, I.; Martínez, G.; Castañeda, J.; y González, A. (2008). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Científica, FCV-LUZ. Volumen XVIII (1): 73-86*.
- Martínez, M. (2002). *Especiación de metales pesados en columnas de sedimentos de las lagunas de Píritu y Unare, estado Anzoátegui, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias, Departamento de Química. Cumaná. 58p.

- Martínez, M.; y Martínez, G. (2011). Organic carbon, phosphorus and nitrogen in surface sediments of the marine-coastal region north and south of the Paria Peninsula, Venezuela. *Environmental Earth Sciences* (65): 429-439.
- McKinney, M.; Schoch, R.; Yonavjak, L.; y Zell S. (2013). *Environmental Science. Systems and Solutions*. Primera Edición. Burlington. Jones & Bartlett Learning. 694p.
- Mee, L. (1978). Coastal lagoons. In: J. Riley y O. Skirrow. *Chemical Oceanography*. Segunda Edición. Vol. 7. Academic Press. New York. 441-490.
- Méndez, J. (2006). *Petrología*. Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 363p.
- Middleton, G.; Church, M.; Coniglio, M.; Hardie, L.; y Longstaffe, F. (2003). *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 314p.
- Misra, K. (2012). *Introduction to Geochemistry. Principles and Applications*. Wiley-BlackWell. 452p.
- Montijo, A. (2008). *Petrología de rocas detríticas. Procesos sedimentarios*. 15 de mayo de 2016. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. Disponible en <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/amontijo/detríticas/proceso.htm>
- Murphy, J.; y Riley, J. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemical Acta* (27): 3-36.
- 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. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 120p.
- Nelson, E. (2008). *Principles of Environmental Geochemistry*. Brooks/Cole-Thomson Learning. Primera Edición. 514p.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy. Capítulo 2: Sedimentos clásticos terrígenos*. Segunda Edición. United Kingdom. Willey-Blackwell. 419p.
- Nichols, M.; y Boon, J. (1994). Chapter 7: Sediment Transport Processes. In: Kjerfve, B. *Coastal Lagoon Processes*. Netherlands. Elsevier Science B. V. pp157-219
- NRC. (2000). Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution. National Research Council, Committee on the Causes and Management of Eutrophication, Ocean Studies Board, Water Science and Technology Board. In: Newton, A.; Icely, J. D.; Falcao, M.; Nobre, A.; Nunes, J. P.; Ferreira, J. G.; y Vale, C. (2003). *Evaluation of eutrophication in the Ria Formosa coastal lagoon*. Portugal. Continental Shelf Research (23): 1945–1961.

- Ogrinc, N.; Markovics, R.; Kanduc, T.; Walter, L.; y Hamilton, S. (2008). Sources and transport of Carbon and Nitrogen in the River Sava watershed, a major tributary of the River Danube. *Applied Geochemistry* (23): 3685-369.
- Padrón, K. (2015). *Estudio de la distribución espacial de carbono, nitrógeno y fósforo en los sedimentos de la cuenca del Río Aroa, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Departamento de Geoquímica. Caracas. 94p.
- Paerl, H.; Dennis, R.; y Whittall, D. (2002). Atmospheric deposition of nitrogen: implications for nutrient over enrichment of coastal waters. *Estuaries* (25): 677-693.
- Phleger, F. (1969). Some general features of coastal lagoons. In: Ayala-Castañeres, A. *Lagunas Costeras, un Simposio*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. pp.5-26.
- Phleger, F. (1981) A review of some general features of coastal lagoons. Coastal Lagoon Research, Present and Future, UNESCO Technical Papers. *Marine Science* (33): 7-14.
- Ponomareva, VV & TA Plotnikova. 1967. Data on degree of intramolecular oxidation of humus in various soil groups (problema of the carbon to humus conversion factor). *Soviet soil Sci.* 2: 924-933.
- Pritchard, D. (1952). Estuarine hydrography. In: Landsberg, H. *Advances in Geophysics* 1. New York. Academic Press. pp243-280.
- Rayner-Canham. (2000). *Química Inorgánica Descriptiva*. Segunda Edición. España. Pearson Prentice Hall. 636p.
- Ramírez, A.; y Rose A. (1992). Analytical geochemistry of organic phosphorus and its correlation with organic carbon in marine and fluvial sediments and soils. *American Journal of Science* (292): 421-454.
- Rankama, K.; y Sahama, T. (1954). *Geoquímica*. Tercera Edición. Ediciones Aguilar, S. A. 862p.
- Reineck, H.; Singh, I. (1975). *Depositional Sedimentary Environments with Reference to Terrigenous Clastics*. Springer-Verlag. Berlín, Alemania. 439p.
- Rodríguez, J. L.; y González, D. (2001). *Estudio Ambiental de la cuenca del río Unare y las lagunas de Unare y Píritu*. Cuadernos CENAMB. Universidad Central de Venezuela. 114pp.

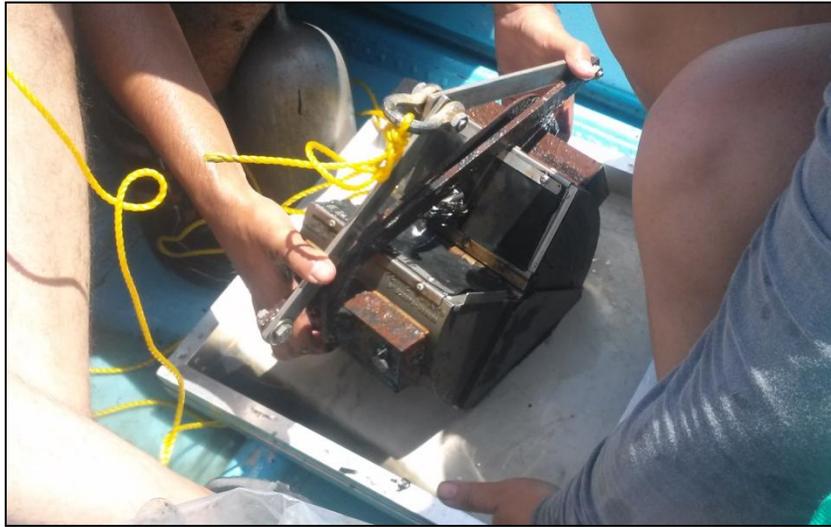
- Schindler, D. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. Natural mechanisms compensate for deficiencies of nitrogen and carbon in eutrophied lakes, *Science*, vol. 195, no. 4275. En Dekun, H.; Jiang, H.; Changwei, L.; Ying, S.; Fujin, Z.; y Khureldavaa, O. (2013). Effects of Environmental Factors on Nutrients Release at Sediment-Water Interface and Assessment of Trophic Status for a Typical Shallow Lake, Northwest China. *The scientific World Journal. Volume 2013, Article ID 716342*, 16p. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1155/2013/716342>
- Schlesinger, W. (2000). *Biogeoquímica, un análisis del cambio global*. Primera Edición. Barcelona. Ariel. 554 p.
- Senior, W.; Castañeda, J.; y Martínez, G. (1999). *Estudio oceanográfico y calidad de agua y sedimentos al nororiente de Venezuela: Caso del sistema lagunar de Unare-Píritu*. Informe del Instituto Oceanográfico. Universidad de Oriente. 70 pp.
- Siegel, Frederic R. (2002). *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Primera Edición. Springer-Verlag. 218p.
- Smith, N. (1994). Chapter 4: Water. Salt and Heat Balance of Coastal Lagoons. In: Kjerfve, B. (1994) *Coastal Lagoon Processes*. Netherlands. Elsevier Science B. V. pp69-101.
- Smith, S.; y Mackenzie, F. (1987). The ocean as a net heterotrophic system: implications from the carbon biogeochemical cycle. *Global Biogeochemical Cycles (American Geophysical Union) (1)*: 187-198.
- Smith, R.; y Smith, T. (2001). *Ecología*. Cuarta Edición. Madrid Pearson Educación, S. A. 664 p.
- Subero-Pino, S.; Díaz-Ramos, J.; Sánchez-Suárez, I.; y Ferraz-Reyes, E. (2004). Diatomeas de las lagunas de Unare y Píritu, estado Anzoátegui, Venezuela. Subclases Thalassiosirophycidae y Conscinodiscophycidae round & Crawford. *Acta Científica Venezuela, (55)*: 218-224.
- Subero-Pino, S; Díaz-Ramos, J.; y Ferraz-Reyes, E. (2005). Variación espacial y temporal del fitoplancton de la Laguna de Unare (estado Anzoátegui, Venezuela), noviembre 1988 – Julio 1989. *Acta Científica Venezuela, 56(3)*: 98-102.
- Tabatabai, MA. (1996). Soil organic matter testing: An overview. p. 1-10. En: F, Magdoff *et al.* (eds), *Soil Organic Matter: Analysis and Interpretation*. SSSA Spec. Pub. 46. *American Society of Agronomy*. Madison, WI.
- Tarback, E.; y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Octava edición. Nueva Jersey. Pearson Prentice Hall. 686p.

- Thornber, M. (1992). The chemical mobility and transport of elements in the weathering environment. En Butt, C.; y Zeegers, H. *Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains*. Burlington. Elsevier. pp79.96.
- Tyler, A.; McGlathery, K.; y Anderson, I.; (2003). Benthic algae control sediment-water column fluxes of organic and inorganic nitrogen compounds in a temperate lagoon. *Limnology and Oceanography* (48 – 6): 2125-2137.
- Valverde T.; Meave J.; Carabias J.; y Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. Primera Edición. México. Pearson Educación. 240p.
- Velásquez, J. (2013). *Estudio de la distribución de carbono, nitrógeno y azufre en los sedimentos marinos de la isla de Margarita – Venezuela*. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Escuela de Química. Caracas. 128p.
- Waples, Douglas. (1983). *Organic and inorganic nitrogen in sediments from Leg 80, Deep Sea Drilling Project*. Mobil Research and Development Corporation, Dallas. pp993-997.
- Yariv, S.; y Cross, H. (1979). *Geochemistry of Colloid Systems*. Berlin. Springer-Verlag. 450p.
- Zouiten, H.; Álvarez, C.; García, A.; Revilla, J.; y García, J. (2013). An advanced tool for eutrophication modeling in coastal lagoons: Application to the Victoria lagoon in the north of Spain. *Ecological Modelling* (265): 99-113.

IX. APÉNDICES



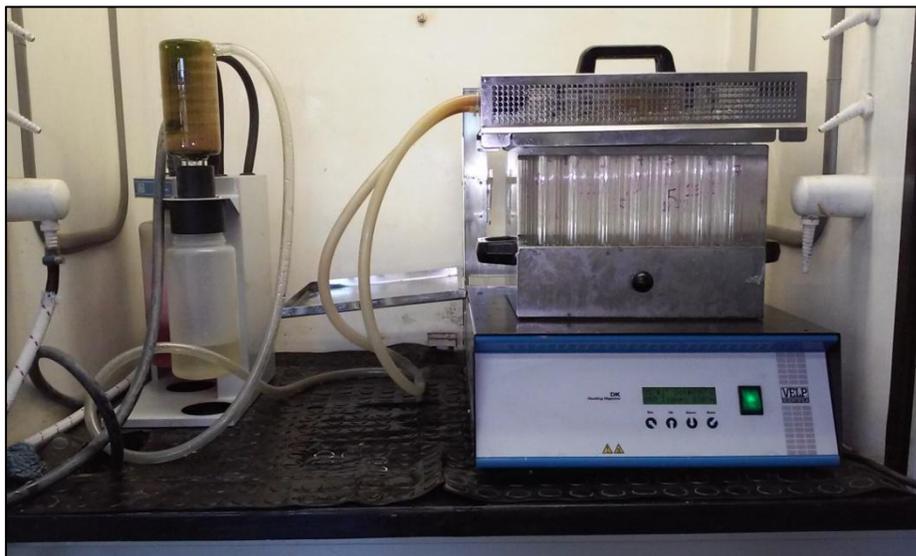
Apéndice1. Sonda multiparamétrica Thermo Scientific, Orion % Star



Apéndice 2. Draga marca Petersen (Cap. 1Kg de muestra)



Apéndice 3. Analizador elemental Leco C-144 usado en la determinación de CT.



Apéndice 4. Bloque digestor, marca Velp Científica, modelo DK y trampa de gases utilizada en la determinación de NT, mediante el método de Kjeldahl



Apéndice 5. Unidad de destilación automática de Kjeldahl, marca Velp Scientific, modelo UDK149



Apéndice 6. Entrada directa de aguas servida hacia la Laguna de Píritu (MSLP18)



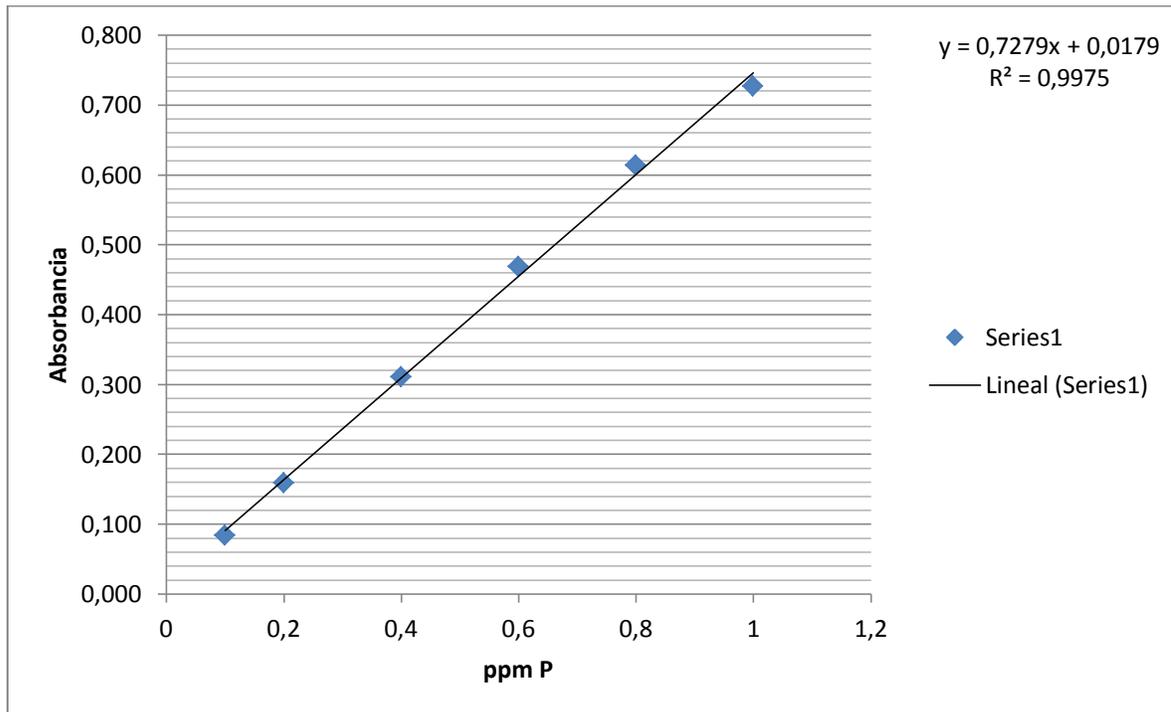
Apéndice 7. Material carbonático (conchas) predominante en la fracción gruesa de los sedimentos de fondo de la Laguna de Unare



Apéndice 8. Entrada directa de aguas de escorrentía hacia la Laguna de Píritu (MSLP18)



Apéndice 9. Parches de material algal en la Laguna de Unare



Apéndice 10. Curva de calibración utilizada para la determinación de PT, mediante el método de Murphy y Riley, realizado en la fracción limo-arcilla de los de fondo de las lagunas de Unare y Píritu, edo. Anzoátegui