



UNIVERSIDAD
DE LA GUAJIRA

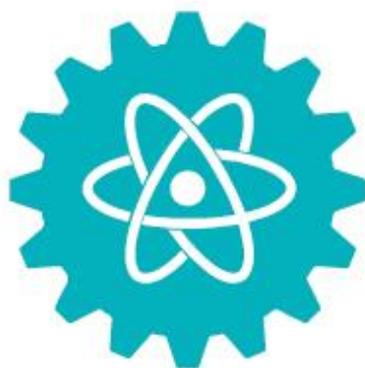
SHIKII EKIRAJIA
PÜLEE WAJIIRA

Vigilado Mineducación

Enero 2023

Junio

e-ISSN 2389-9484



Ciencia^e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en
Ciencias Básicas e Ingenierías

Edición 1 | Volumen 10

Ciencia e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en
Ciencias Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484

Año 2021, enero-junio, Vol. 10, N.º 1, e8091881
Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e
Ingeniería. Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
<http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI:
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.8091881>

Gregorio Martinez

<https://orcid.org/0000-0002-1882-752X>
goyomartinez@gmail.com
Instituto Oceanográfico de Venezuela
Universidad de Oriente, Venezuela

Betzabeth Torcatt

Instituto Oceanográfico de Venezuela
Universidad de Oriente, Venezuela

Vilma Lanza

<http://orcid.org/0000-0002-7498-9283>
vilma.lanza@isfodosu.edu.do. Instituto
Superior de Formación Docente Salome
Ureña, Recinto Luis Napoleón Núñez Molina.
Santiago, República Dominicana.

Deudedit Hernandez

deude64@gmail.com
Instituto Oceanográfico de Venezuela
Universidad de Oriente, Venezuela

Gilberto Andrés Vargas Ortega

Instituto Oceanográfico de Venezuela
Universidad de Oriente, Venezuela

ELEMENTOS NUTRITIVOS Y ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA MARINO COSTERA LOS PATOS, EN EL SUR DEL MAR CARIBE

Nutrient elements and trophic state of the Los Patos coastal marine lagoon, in the south Caribbean Sea

RESUMEN

Se evaluaron las concentraciones de los elementos nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , NT, PO_4^{3-} y PT) y su estado trófico en las aguas superficiales de la laguna marino-costera Los Patos, en el sur del mar Caribe, en Venezuela, durante el período comprendido entre septiembre de 2013 a enero de 2014. Se recolectaron muestras de agua en 13 estaciones en el complejo lagunar y se determinaron los parámetros pH, temperatura, transparencia, salinidad, oxígeno disuelto y materia en suspensión. La determinación de las concentraciones de las especies nitrogenadas y fosforadas se realizó aplicando los métodos tradicionales para el análisis químico de aguas naturales. Las concentraciones promedio de los nutrientes variaron desde: 46,12 a 167,95 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para NH_4^+ , 0,53 a 38,78 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para NO_2^- , 2,86 a 85,22 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para NO_3^- , 226,22 a 389,93 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para NT, 24,33 a 41,89 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para PO_4^{3-} y 37,04 a 52,33 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para PT. Según el análisis por Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de las especies nitrogenadas y fosforadas entre los meses, pero no entre las estaciones. Las altas concentraciones de las especies inorgánicas NH_4^+ y PO_4^{3-} indican fuertes aportes antrópicos de aguas residuales y materia orgánica en proceso de descomposición. En relación con los compuestos fosforados, en la laguna Los Patos, se evidencia un impacto considerable causado por los nutrientes, lo que resulta en la presencia de los estados mesotrófico y eutrófico. Esta situación tiene un impacto directo en la biomasa fitoplanctónica de las aguas de este cuerpo de agua que conllevan a su degradación.

Palabras clave: Los Patos, nutrientes, Estado trófico, Calidad ambiental.

ABSTRACT

The constant advancement of information technology allows companies to use new ways to produce quality software. The concentrations of nutrient elements (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , NT, PO_4^{3-} , and PT) and trophic state were evaluated in the surface waters of Los Patos Coastal marine Lagoon, South Caribbean Sea, Venezuela, during the period from September 2013 to January 2014. Water samples were collected at 13 stations in the lagoon complex, and parameters such as pH, temperature, transparency, salinity, dissolved oxygen, and suspended matter were determined. The determination of nitrogen and phosphorus species concentrations was carried out using traditional methods for chemical analysis of natural waters. The average concentrations of nutrients varied as follows: from 46.12 to 167.95 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for NH_4^+ , from 0.53 to 38.78 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for NO_2^- , from 2.86 to 85.22 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for NO_3^- , from 226.22 to 389.93 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for NT, from 24.33 to 41.89 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for PO_4^{3-} , and from 37.04 to 52.33 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ for PT. Significant differences in the concentrations of nitrogen and phosphorus species were found between the months, but not between the stations, according to the Kruskal-Wallis analysis. High concentrations of the inorganic species NH_4^+ and PO_4^{3-} indicate strong anthropogenic inputs of wastewater and decomposing organic matter. In Los Patos lagoon, a significant impact caused by the nutrients is evident, resulting in the presence of mesotrophic and eutrophic trophic states. This situation directly affects the phytoplankton biomass in the waters of this important water body, leading to its degradation.

Keywords: Los Patos Lagoon, Nutrients, Trophic status, Environmental quali.

Recibido: 11 de mayo de 2022

Aceptado: 23 de junio de 2023

Publicado: 29 de junio de 2023



INTRODUCCIÓN

Las lagunas marino-costeras albergan algunos de los ecosistemas más dinámicos, diversos y productivos de la Tierra, y brindan una amplia gama de bienes y servicios de gran valor socioeconómico para las comunidades costeras (Beer y Joyce, 2013; Kjerfve, 1994; Newton et al., 2014; Rodelas et al., 2018). Son cuerpos de agua poco profundos, ya sea marinos o salobres, separados del océano por una barrera natural como una isla, un arrecife o un banco de arena (Kjerfve, 1994; Kennish y Paerl, 2010; Kennish, 2016). Dependiendo de la extensión de las barreras, pueden estar parcial o totalmente cerradas, aunque la mayoría están conectadas al mar abierto de manera intermitente a través de una o más entradas de marea restringidas. La interacción de dos masas de agua con diferentes propiedades en estas lagunas determina sus características físicas, químicas, biológicas y, en consecuencia, ecológicas. Estos ecosistemas enfrentan amenazas por perturbaciones de origen humano y cambios climáticos, lo que resulta en la recuperación de tierras, pérdida de hábitats y vegetación, y una significativa presión sobre los recursos biológicos y ecológicos (De Jonge et al., 2002; Jennerjahn y Mitchell, 2013). Estas lagunas costeras semicerradas se caracterizan por tener un intercambio de agua restringido con el océano, lo que favorece la acumulación de compuestos químicos, dependiendo en gran medida de los aportes provenientes de las cuencas circundantes. Esto las vuelve extremadamente vulnerables a la eutrofización, principalmente debido al aumento de la carga de nutrientes provenientes de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas y/o al uso de fertilizantes en la agricultura en la cuenca adyacente (Brito et al., 2012; Cloern, 2001; Howarth et al., 2011; Lloret et al., 2008).

En Venezuela, particularmente en el oriente del país, se han llevado a cabo diversos estudios sobre la dinámica biológica y los parámetros fisicoquímicos de lagunas costeras, destacando investigaciones como las de Márquez et al. (2007) quienes estudiaron las concentraciones de nitrógeno y fósforo total en sedimentos recientes de la laguna Los Patos, destacando la alta fertilidad orgánica en este cuerpo de agua debido a los niveles elevados de estos dos elementos. Del mismo modo, Ocando (1992) encontró que, en la laguna de Unare, en general, las concentraciones de nutrientes eran bajas, excepto en ocasiones en las que se registraron valores elevados de amonio ($23 \mu\text{mol}$), lo que sugiere una actividad fitoplanctónica importante. Por otro lado, Villalba et al. (2017) analizaron la composición y abundancia del zooplancton, la concentración de nutrientes y otras variables ambientales en la laguna El Morro en la isla de Margarita, durante los periodos de surgencia (marzo-mayo 2011) y relajación (junio-agosto 2011). Por su parte López-Monroy et al. (2017) evaluaron la dinámica de los nutrientes en la laguna Las Marites, en la Isla de Margarita, encontrando que el ciclo estacional estaba influenciado por la surgencia costera del mar adyacente y su distribución temporal se veía afectada por las actividades humanas en las cercanías de la laguna.

En los últimos años el problema se ha intensificado debido al asentamiento de caseríos aledaños a los márgenes de la laguna, los cuales vierten en sus aguas, desechos de tipo sanitario, así como una gran variedad de sustancias líquidas contaminantes dentro de las que están incluidas las nitrogenadas y fosforadas. Recientemente, se construyó la planta de tratamiento de las aguas servidas del sector Oeste de la ciudad de Cumaná, la cual vierten sus efluentes en la laguna Los Patos. Actualmente dicha planta se encuentra inoperativa y solo funciona como sedimentador del material suspendido. Estas descargas están afectando al ecosistema y ponen en riesgo los organismos que habitan en él, así como el uso como balneario del sector de Playa San Luis donde se encuentra la boca de la laguna (Mokaya et al. 2004).

Considerando la relevancia de la laguna Los Patos como un valioso patrimonio natural de la ciudad de Cumaná, debido a su alta productividad biológica y su capacidad de albergar una variedad de organismos, como peces, crustáceos y aves, resulta preocupante el grave riesgo de contaminación que enfrenta en la actualidad. Esta situación podría tener un impacto negativo en el ecosistema marino costero de la playa San Luis. En este orden de ideas, en este estudio se examinaron las concentraciones de nutrientes (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , NO , NT , PO_4^{3-}) en relación con las propiedades fisicoquímicas y el estado trófico de las aguas de este importante cuerpo de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La laguna Los Patos está ubicada en la zona sur del Caribe, más precisamente en la parte occidental del área metropolitana de la ciudad de Cumaná, en el estado de Sucre, Venezuela, delimitada por la avenida Universidad, la autopista Antonio José de Sucre, la urbanización La Llanada y la Universidad de Oriente (Figura 1). Esta laguna forma parte de un conjunto de albuferas con una profundidad que varía entre 0,4 y 2,0 m. En algunas áreas, el fondo de la laguna es de tipo arenoso-limoso de color gris oscuro, mientras que en el centro se vuelve arcilloso y gelatinoso en apariencia. La laguna tiene una conexión con el mar en la playa San Luis. Sin embargo, la acumulación de arena en la desembocadura impide el contacto directo de las aguas durante la mayor parte del año. En la década de 1940, la construcción de la carretera que conecta las ciudades de Cumaná y Puerto la Cruz resultó en un drenaje transversal insuficiente que interrumpía el flujo de agua natural del terreno y los excedentes del sistema de riego del río Manzanares. Esto dio origen a un cuerpo de agua con poca circulación, propicio para el crecimiento de manglares en su interior (Bonilla et al., 2003).



Figura 1. Área de estudio con las posiciones relativas de las estaciones para el presente estudio, en la Laguna Los Patos, Cumaná.
Fuente: Google Earth y Google Maps.

La laguna Los Patos fue designada como Parque Litoral mediante el decreto presidencial N° 2992 del 12 de diciembre de 1978. En la década de 1960, esta laguna era considerada una zona de gran interés económico, ya que se utilizaba para la pesca artesanal de especies de peces de alto valor comercial como *Mugil curema*, *Mugil liza*, y crustáceos como el cangrejo *Callinectes boucorti* (Lárez, 1966).

Recolección y almacenamiento de las muestras

Se establecieron trece (13) estaciones ubicadas en todo el complejo lagunar (Tabla 1) y se realizaron cinco (5) muestreos que abarcaron los meses de septiembre de 2013 y enero de 2014. Las muestras de agua fueron recolectadas en envases plásticos de polietileno de 2 L y posteriormente preservadas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que se procesaron y analizaron en el Laboratorio de Nutrientes del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela en la Universidad de Oriente.

Procesamiento y análisis de las muestras

Se realizaron mediciones *in situ* de temperatura, pH, salinidad y transparencia utilizando una sonda multiparamétrica marca YSI modelo 650 MD, serie 600 QS. La materia en suspensión (MES) fue analizada siguiendo el método 2540 D (APHA et al., 2005) y el oxígeno disuelto se determinó mediante el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1996) utilizando un titulador automático Multi-Dosimat 715. El contenido de amonio se evaluó utilizando el método descrito por Koroleff (1969). Para medir el nitrito, se empleó el método descrito por Strickland y Parsons (1972), mientras que los nitratos se analizaron siguiendo el método descrito por Tréguer y Le Corre (1975). Los nitratos fueron reducidos a nitritos al pasar la muestra por una columna de cadmio tratada con cobre, según Wood et al. (1967), y luego el nitrito se determinó de manera automática utilizando un autoanalizador Technicon II. Los fosfatos se analizaron con el método colorimétrico de Murphy y Riley (1962). Las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total se determinaron según el método descrito por Valderrama (1981) con las modificaciones de Senior (1987). Todos los resultados obtenidos para estos elementos se expresan en $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Se realizaron curvas de calibración y se llevaron a cabo controles metodológicos utilizando muestras de agua patrón con concentraciones conocidas para las distintas determinaciones espectrofotométricas de los elementos nutritivos.

Estado trófico de la laguna

Se empleó el método de clasificación de estados tróficos propuesto por Carlson (1977), el cual permite transformar las variables de estado trófico como fósforo total, clorofila-a y transparencia de profundidad de Secchi en un índice de estado trófico (TSI) que varía aproximadamente de 0 a 100 y representa el nivel trófico de una laguna o lago. Para obtener el TSI de cada variable de estado trófico, se utilizaron las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

$$TSI(SD) = 60 - 14,41 \ln(SD) \quad (1)$$

$$TSI(CHL) = 9,81 \ln(CHL) + 30,6 \quad (2)$$

$$TSI(TP) = 14,42 \ln(TP) + 4,15 \quad (3)$$

$$TSI(TN) = 54,45 + 14,43 \ln(TN) \quad (4)$$

El índice de estado trófico corresponde al promedio de estos tres valores (ecuación 5):

$$TSI = \frac{TSI(SD) + TSI(CHL) + TSI(TP) + TSI(TN)}{4} \quad (5)$$

En donde los valores del estado trófico oscilan entre estados oligotróficos (<40), mesotróficos (40 a 50), eutróficos (50 a 70) e hipereutróficos (>70), respectivamente (Carlson, 2007; Carlson & Simpson, 1996).

Análisis estadístico

Para examinar los datos y determinar diferencias en los parámetros fisicoquímicos y en las concentraciones de los nutrientes en aguas superficiales de las diferentes estaciones y meses de muestreo, se aplicó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis con un 95% de confiabilidad, $\alpha = 0,05$ y se visualizaron con gráficos de cajas y bigotes. Se utilizó la prueba *a posteriori* de Duncan para identificar los grupos homogéneos. Todos los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados con el programa estadístico XLSTAT versión 2023 acoplado al Microsoft Excel 2021.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fisicoquímicos

Las variaciones mensuales de la temperatura en las aguas superficiales de la laguna Los Patos, se presentan en la Tabla 2, en la cual se observa un descenso del parámetro a medida que transcurren los meses del estudio. El análisis Kruskal-Wallis, demostró que no existen diferencias significativas de temperaturas entre las estaciones ($p > 0,05$), pero si entre meses ($p < 0,05$). Por otra parte, el análisis *a posteriori* aplicado a los meses indicó la presencia de 5 grupos homogéneos; un grupo por cada mes de muestreo.

Tabla 2. Variaciones mensuales de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos determinados en el presente estudio.

Mes	Estadísticos	pH	T (°C)	Transp (m)	Salin	O ₂ dis. (mg·L ⁻¹)	MES (mg·L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (μmol·l ⁻¹)	NO ₂ ⁻ (μmol·l ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (μmol·l ⁻¹)	NT (μmol·l ⁻¹)	PO ₄ ³⁻ (μmol·l ⁻¹)	PT (μmol·l ⁻¹)	Relación NT/PT
Septiembre	Máximo	9,10	29,20	1,00	12,80	5,90	37,29	224,42	197,00	189,15	538,08	47,25	62,75	
	Mínimo	8,10	28,00	0,50	10,50	3,11	1,59	113,42	0,17	1,62	289,78	22,85	43,45	
	Promedio	8,86	28,60	0,73	11,34	4,86	20,77	171,49	42,09	85,22	381,23	33,78	52,33	7,28
	Desv. Est.	0,26	0,37	0,26	0,96	1,18	18,47	42,55	62,87	77,70	72,91	8,35	6,04	
Octubre	Máximo	9,02	28,33	0,40	11,50	3,88	37,60	222,40	7,09	52,33	374,40	44,01	58,68	
	Mínimo	8,48	27,80	0,20	10,50	2,91	1,59	2,83	0,07	0,51	42,56	1,34	2,66	
	Promedio	8,74	28,08	0,29	10,85	3,12	20,87	55,35	0,85	29,88	210,84	26,74	37,02	5,70
	Desv. Est.	0,233	0,194	0,104	0,376	0,254	18,548	58,352	1,893	21,009	120,093	13,585	16,842	
Noviembre	Máximo	8,83	27,92	0,20	13,90	3,82	36,42	206,79	1,06	44,08	346,11	36,79	49,70	
	Mínimo	8,39	27,32	0,10	13,20	2,24	1,69	7,46	0,07	16,16	190,00	18,97	30,02	
	Promedio	8,54	27,65	0,15	13,47	3,21	17,73	137,32	0,53	27,76	296,46	27,41	41,72	7,11
	Desv. Est.	0,107	0,298	0,052	0,236	0,677	17,971	69,877	0,356	7,885	54,345	5,828	6,834	
Diciembre	Máximo	8,40	27,68	0,40	16,20	2,73	37,23	216,90	7,09	32,25	538,08	44,76	49,21	
	Mínimo	8,00	27,10	0,30	12,80	1,44	1,62	18,67	0,07	0,26	45,60	12,50	24,69	
	Promedio	8,18	27,33	0,31	13,34	2,04	18,04	153,84	1,25	14,91	339,17	28,35	36,79	9,22
	Desv. Est.	0,117	0,185	0,028	0,928	0,356	18,330	49,467	1,853	9,414	123,898	9,840	7,497	
Enero	Máximo	8,60	26,22	0,30	13,70	2,66	37,23	173,28	49,91	19,28	410,40	48,00	54,11	
	Mínimo	8,20	25,70	0,20	12,70	1,82	1,62	2,02	0,40	0,26	39,52	26,84	38,83	
	Promedio	8,31	26,04	0,21	12,95	2,16	17,97	86,85	4,60	2,86	253,78	41,89	47,41	5,35
	Desv. Est.	0,119	0,159	0,028	0,331	0,242	18,352	59,523	13,646	5,972	114,205	5,527	4,454	
	Promedio	8,53	27,54	0,34	12,39	3,08	19,08	120,97	9,86	32,13	296,29	31,63	43,05	6,93

Las temperaturas más altas se registraron en septiembre de 2013, y luego se presentó una disminución gradual a lo largo de los meses, alcanzando los valores más bajos en enero, con una variación de 25,70 - 26,22 °C (Figura 2A). Estas altas temperaturas se deben a la intensa radiación solar en la región y a la poca profundidad de la laguna. Durante los primeros tres meses del año, la temperatura del agua es más baja debido a una menor incidencia térmica.

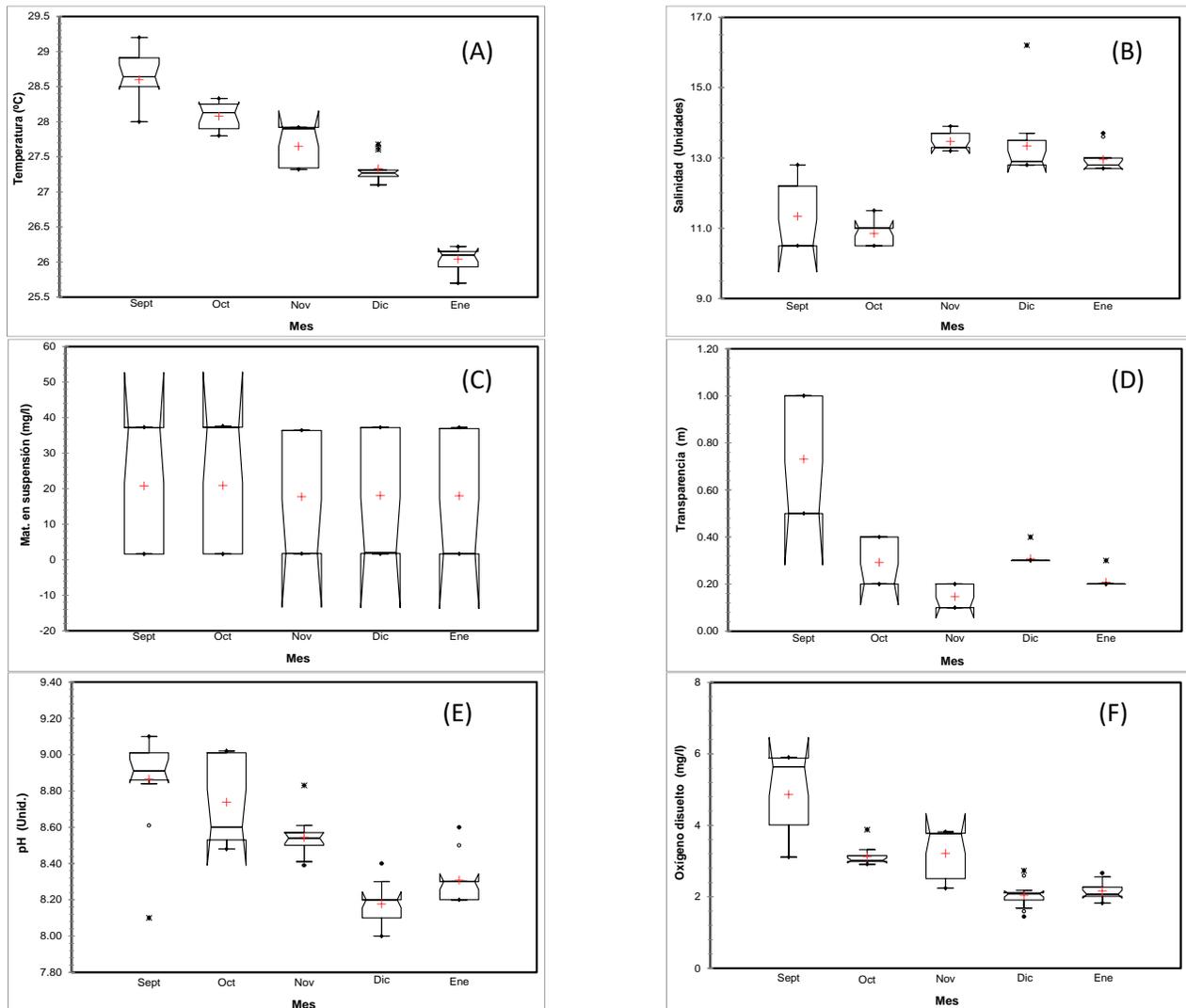


Figura 2. Distribución mensual de los parámetros fisicoquímicos: Temperatura °C (A), salinidad ppm (B), material en suspensión $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (C), transparencia m (D), pH (E) y oxígeno disuelto $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (F) de las aguas de la laguna de Los Patos.

Las variaciones en la temperatura del agua están estrechamente influenciadas por la temporalidad climáticas, períodos como la sequía, la transición y las lluvias. A principios de año, hay menos radiación solar y un aumento en la intensidad de los vientos Alisios del noreste, lo que provoca una surgencia costera significativa y disminuye la temperatura del agua en el mar adyacente, afectando de manera similar a las aguas en el interior de la laguna.

Las concentraciones promedio de temperatura en las aguas superficiales de la laguna Los Patos se encontraron en el rango de 27,33 - 29,20 °C, valores muy similares a los reportados por Sucre (2013) para este mismo ecosistema, que variaron entre 27,19 - 29,84 °C. Sin embargo, Toledo et al., (2000) reportaron valores más altos para la laguna de Chacopata, con fluctuaciones entre 30,60 - 34,40 °C.

Por otro lado, los resultados obtenidos por López-Monroy et al. (2017) para la laguna Las Marites en la Isla de Margarita mostraron variaciones entre 27,7 - 29,2 °C, los cuales se ven influenciados por la poca profundidad de dicha laguna y la intensa radiación solar en la región, así como por los efluentes de la planta tratamiento de aguas residuales Los Bagres. La distribución espacial y temporal de la salinidad en las aguas superficiales de la laguna Los Patos se muestra en la Figura 2B, donde se observa que en septiembre y octubre presentan un comportamiento similar, y se forma otro grupo en noviembre, diciembre y enero. El análisis Kruskal-Wallis indicó que no hay diferencias significativas en este parámetro entre las estaciones de muestreo ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). El análisis *a posteriori* realizado en los meses confirmó la presencia de 2 grupos homogéneos: Grupo I (octubre, septiembre) y Grupo II (enero, diciembre, noviembre). Durante los meses de noviembre y diciembre se registraron los valores máximos promedio de salinidad, con 13,47 y 13,34 respectivamente con valor atípico de 16,20 en la estación 4 para el mes de diciembre, mientras que los meses de septiembre, octubre y enero presentaron los valores mínimos promedio de salinidad, con 11,34, 10,85 y 12,95 respectivamente.

La diferencia de salinidad se debe básicamente a la entrada de agua de mar a la laguna con alto contenido de sales y minerales, ésta influencia es notable desde la estación 1 a la 6, pero de allí en adelante se muestra un comportamiento homogéneo en la distribución de la salinidad en las estaciones, a lo largo y ancho de la laguna, sin producirse cambios marcados durante los cinco meses de muestreo. Las salinidades más bajas durante septiembre y octubre se encuentran influenciadas por los aportes del drenaje continental debido a la temporada de lluvia durante mayo a octubre. La salinidad de las aguas superficiales es altamente variable, depende de las concentraciones de los iones de las aguas del drenaje continental, del intercambio con la tierra circundante, del equilibrio e intercambio del volumen de agua con los sedimentos y de las sustancias atmosféricas derivadas de la tierra, del océano y de la actividad humana. Los resultados de salinidad de la laguna Los Patos (10,85 - 13,47) son similares a los reportados por Toledo et al. (2000) para este mismo ecosistema lagunar, los cuales oscilaron entre 6,67 y 15,00. Por otro lado, López-Monroy et al. (2017) registraron valores de salinidad entre 36,80 y 40,20 unidades para la laguna Las Marites, los cuales están asociados a la baja profundidad y alta evaporación debido a la intensa radiación solar en esa zona. En el caso de la laguna Los Patos, se observa un aporte constante de agua desde la planta de tratamiento de aguas servidas de La Llanada, lo que mantiene una salinidad baja en todo el cuerpo de agua.

La Figura 2C muestra la distribución espacial y temporal de la materia en suspensión (MES) en la laguna Los Patos con variaciones entre 1,63 y 37,1 mg.L^{-1} y un promedio de 19,1 mg.L^{-1} , evidenciando un comportamiento similar durante los cinco meses de muestreo, obteniéndose un descenso de este parámetro desde la estación 8 hasta la estación 13. Este comportamiento influyó en los niveles altos de transparencia obtenidos en las mismas estaciones durante los primeros 3 meses de estudio.

El análisis Kruskal-Wallis señaló que existen diferencias significativas entre las estaciones ($P < 0,05$), pero no entre los meses ($p > 0,05$). Por otra parte, el análisis *a posteriori* aplicado a las estaciones indicó la presencia de 3 grupos homogéneos: Grupo A (Est 13, 12, 11, 9, 8, 10), Grupo B (Est 7) y Grupo C (Est 1, 2, 3, 4, 5, 6). El Grupo A abarca las estaciones con los menores valores de este parámetro, mientras que el Grupo B representa la estación con un valor intermedio. No obstante, el Grupo C abarca las estaciones con los máximos valores reportados, notándose fluctuaciones marcadas entre los grupos A y C que van desde 1,62 hasta 37,60 mg.L^{-1} . Los máximos valores alcanzados en las primeras estaciones pueden ser causados por la influencia de la entrada de agua de mar a la laguna, la cual remueve el sedimento, provocando un mayor incremento de la materia en suspensión (MES), también puede atribuirse a la materia orgánica particulada producto de la actividad fitoplanctónica que se desarrolla en esta zona. Sucre (2013) encontró un promedio del MES superior en este mismo complejo lagunar, fluctuando entre 21,72 y 117,72 mg.L^{-1} . De la misma manera, Ocando (1992) reportó concentraciones de MES que oscilaron entre 1.284 mg.L^{-1} y 1.700 mg.L^{-1} en la laguna de Píritu.

La Figura 2D muestra la distribución espacial y temporal de la transparencia en las aguas superficiales de la laguna Los Patos. Se observa un comportamiento similar en los meses de diciembre y enero, mientras que septiembre registra el valor máximo (1,00 m) y noviembre el valor mínimo (0,10 m). El análisis Kruskal-Wallis reveló que no hay diferencias significativas entre las estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). Además, el análisis *a posteriori* aplicado a los meses identificó la presencia de 3 grupos homogéneos: Grupo I (noviembre y enero), Grupo II (octubre, diciembre) y Grupo III (septiembre). El Grupo I está compuesto por noviembre y enero, con los promedios más bajos (0,15 y 0,21 m respectivamente). Esto puede atribuirse a la resuspensión de sedimentos en esa área, así como a los vertidos provenientes de los asentamientos urbanos dentro de la laguna, como la Malagueña, la Lagunita y Nuestra Señora de la Candelaria. Por otro lado, el Grupo III representa el mes de septiembre, con el valor promedio máximo de 0,73 m, las aguas más claras durante el muestreo. La transparencia de un cuerpo de agua natural es un factor crucial para su calidad y productividad (Stumm, 1972).

La Figura 2E muestra la distribución espacial y temporal del pH en las aguas superficiales de la laguna Los Patos. Se observa que los valores de pH tienden a ser alcalinos durante todos los meses del estudio, especialmente en septiembre y octubre, donde se registraron los valores promedios máximos de 8,86 y 8,74 respectivamente. Sin embargo, en diciembre se obtuvo el valor promedio mínimo de 8,00 unidades de pH. Estos valores elevados de pH están asociados con aguas altamente productivas y son indicativos de que el fitoplancton utiliza el CO_2 generado por la oxidación de la materia orgánica y los procesos de respiración para la síntesis de materia orgánica y la producción de oxígeno a través de la fotosíntesis. El análisis de Kruskal-Wallis mostró que no hay diferencias significativas de este parámetro entre las estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). Además, el análisis *a posteriori* aplicado a los meses con diferencias estadísticamente significativas identificó la presencia de tres grupos homogéneos: Grupo I (diciembre y enero), Grupo II (noviembre) y Grupo III (octubre y septiembre). El carácter alcalino que presentan las aguas superficiales de la laguna Los Patos puede ser resultado de los vertidos de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento y de los caseríos cercanos a esta zona. Estos vertidos contienen desechos domésticos cargados de detergentes con altos contenidos de bicarbonato y fosfato, los cuales afectan el pH de la laguna. Las concentraciones promedio de pH obtenidas en este estudio para los meses de octubre y noviembre (8,86-8,74) coinciden con las reportadas por Sucre (2013) en el mismo complejo lagunar, que oscilan entre 8,73 y 8,42 de pH. Por otro lado, Toledo et al. (2000) reportaron valores inferiores en la laguna de Chacopata, que van desde 4,55 hasta 7,65 de pH. Además, Ocando (1992) informó valores en la laguna de Píritu que van desde 7,30 hasta 7,60 de pH.

La distribución espacial y temporal del oxígeno disuelto en aguas superficiales de la laguna Los Patos (Figura 2F), donde se observa una tendencia a la disminución de este parámetro durante los cinco meses de estudio. Las concentraciones promedio mensuales de oxígeno disuelto variaron entre $2,04 \text{ mg.L}^{-1}$ en diciembre y $4,86 \text{ mg.L}^{-1}$ en septiembre. El análisis de Kruskal-Wallis reveló que no existen diferencias significativas entre las estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). En el análisis *a posteriori* aplicado a los meses indicó la presencia de tres grupos homogéneos: Grupo I (diciembre y enero), Grupo II (octubre y noviembre) y Grupo III (septiembre). El Grupo I corresponde a los meses con los valores más bajos, llegando a un mínimo de $1,44 \text{ mg.L}^{-1}$ en diciembre. Estas bajas concentraciones de oxígeno pueden atribuirse a la presencia de una gran cantidad de materia en suspensión debido a la poca profundidad de la zona, lo cual impide la entrada de luz necesaria para la fotosíntesis. Además, estas bajas concentraciones suelen estar asociadas a una intensa degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, los cuales consumen oxígeno durante este proceso. Por otro lado, los Grupos II y III corresponden a los meses con los valores más altos de oxígeno. Un estudio realizado por Cumana (2010) en este mismo ecosistema reveló que la presencia de vegetación, especialmente manglares como *Avicennia germinans* (mangle negro) y *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), favorece el aumento de la concentración de oxígeno en el agua a través del proceso de fotosíntesis. Las concentraciones promedio mensuales de oxígeno disuelto en las aguas superficiales de la laguna Los Patos son más bajas en comparación con los valores reportados por Sucre

(2013) en este mismo ecosistema lagunar, que variaron entre 6,73 y 8,80 mg.L⁻¹, así como los valores reportados por Toledo et al. (2000) para la laguna de Chacopata, que fueron de 6,98 a 7,08 mg.L⁻¹. Por otro lado, González (2010) registró valores que oscilaron entre 0,83 y 5,60 mg.L⁻¹ en la laguna Las Tabletas, Edo. Zulia, Venezuela, los cuales son bastante similares a los encontrados en este estudio (1,44 - 5,90 mg.L⁻¹).

Elementos nutritivos

En cuanto a los elementos nutritivos la distribución espacial y temporal de amonio en las aguas superficiales de la laguna Los Patos, en la Figura 3A se observa variabilidad de este nutriente durante los cinco meses de muestreo. Noviembre, diciembre y septiembre, exhibieron un comportamiento similar, con las máximas concentraciones (206,79; 216,90; 224,42 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) en las estaciones 4, 5 y 2 respectivamente. No obstante, enero y octubre presentaron los valores más bajos que fluctuaron entre 2,02 y 2,83 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ en las estaciones 10 y 9. El análisis Kruskal-Wallis señaló que no existen diferencias significativas entre estaciones ($p > 0,05$) pero si entre meses ($p < 0,05$). El análisis *a posteriori* aplicado a los meses mostró la presencia de tres grupos homogéneos: Grupo I (octubre, enero), Grupo II (enero, diciembre, noviembre), Grupo III (diciembre, noviembre, septiembre). El Grupo I representa los meses con las mínimas concentraciones promedio de este parámetro (46,12 y 86,85 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) respectivamente, la cual pueden ser producto de la actividad biológica, tanto de productores primarios que consumen el amonio y/o oxidación de materia orgánica y al pastoreo del zooplancton o a los desechos de la actividad de organismos consumidores (peces y otros organismos), afianzando más en estos meses los procesos bióticos.

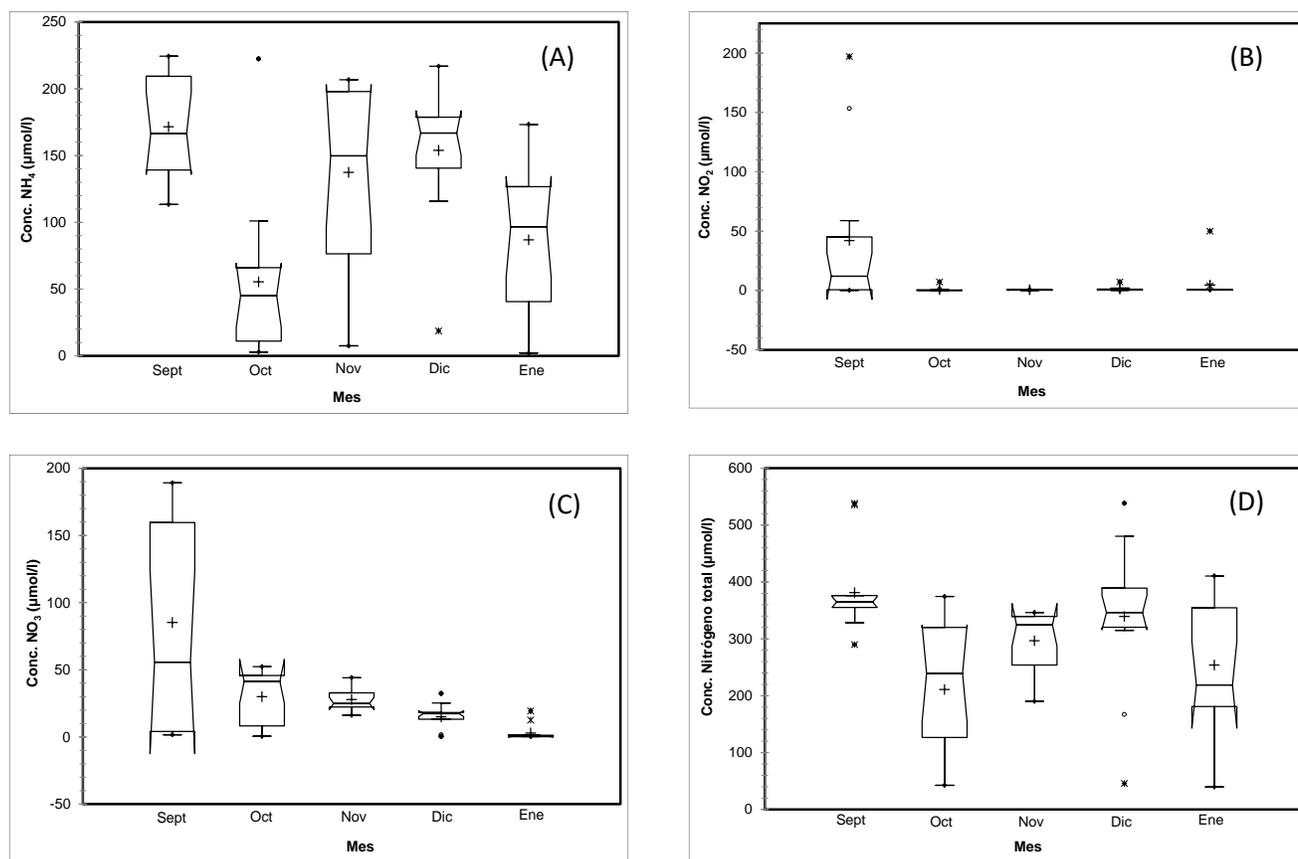


Figura 3. Distribución mensual de las especies nitrogenadas en las aguas del sistema lagunar de Los Patos: amonio (A), nitrito (B), nitrato (C) y nitrógeno total (D).

Sin embargo, el Grupo III abarca los meses con los valores promedios más elevados de todo el estudio (118,24, 137,32 y 167,95 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) respectivamente, resultados que pueden ser atribuidos a la presencia en el área de organismos, debido a que liberan al medio, como producto de su metabolismo, nitrógeno bajo la forma de amonio, junto con la degradación bacteriana de la materia orgánica, indicando la intensificación de los procesos abióticos, producto de un mayor aporte antrópico. En ambientes hipóxicos son favorecidos la amonificación y desnitrificación, mientras que, en lugares bien oxigenados, prevalece la nitrificación (Dunn et al., 2012; López-Monroy et al., 2017) ya que las bacterias nitrificadoras son aerobias obligadas (Santoro y Enrich-Prast, 2009). En este ecosistema predomina la amonificación debido a la oxidación de la materia orgánica.

La distribución espacial y temporal de la concentración de nitritos en las aguas superficiales de la laguna Los Patos se muestra en la figura 3B, donde se puede observar que la concentración máxima de este parámetro se registró en septiembre, alcanzando 153,29 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 1. Por otro lado, octubre, noviembre y diciembre presentaron la concentración mínima en todo el estudio, con valores de 0,07 153,29 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en las estaciones 9 a la 12, respectivamente. En enero, las concentraciones variaron entre 0,40 y 9,91 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

El análisis Kruskal-Wallis indicó que no existen diferencias significativas entre estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre meses ($p < 0,05$). Seguidamente, el análisis *a posteriori* aplicado a los meses mostró la presencia de dos grupos homogéneos: Grupo I (noviembre, octubre, diciembre, enero) y Grupo II (septiembre). El Grupo I integra los meses con las mínimas concentraciones promedio (0,53; 0,85; 1,25 y 1,52 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), respectivamente. Sin embargo, el Grupo II lo constituye el mes con la máxima concentración promedio (38,78 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$). La acumulación de esta especie nitrogenada, hallada en este complejo lagunar puede ser debida también a un proceso de desnitrificación por reducción de los nitratos, la cual ocurre cuando casi todo el oxígeno contenido en el agua o sedimento se agota por la degradación de la materia orgánica, por lo tanto, los iones nitratos son utilizados por las bacterias reductoras del nitrato y las bacterias desnitrificantes (Godoy, 1991). En este proceso se libera amonio y aparece el nitrito como una etapa intermedia de la desnitrificación.

La distribución espacial y temporal de las concentraciones de nitratos se muestra en la Figura 3C, donde se observa una disminución de este elemento a medida que avanzan los meses. En septiembre se registró la concentración más alta, alcanzando 189,5 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 9, mientras que diciembre y enero presentaron la concentración mínima de 0,26 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. El análisis Kruskal-Wallis reveló que no hay diferencias significativas entre las estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). Por otra parte, el análisis posterior aplicado a los meses reveló la presencia de dos grupos homogéneos: Grupo I (enero, diciembre, noviembre, octubre) y Grupo II (septiembre). El Grupo I comprende los meses con las concentraciones promedio más bajas (2,86; 14,91; 27,76 y 29,88 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) respectivamente, lo cual puede atribuirse al consumo de este nutriente por parte del fitoplancton, que es abundante en estos ecosistemas. El Grupo II representa el mes con la concentración promedio más alta. Se puede inferir que las concentraciones de nitrito están relacionadas con las de nitrato, ya que se encontraron concentraciones elevadas en el mismo mes. En condiciones de baja luminosidad, el fitoplancton es capaz de excretar nitrito y nitrato, y estas condiciones pueden darse en la laguna Los Patos debido a su poca profundidad y a la presencia de material en suspensión en el agua. Además, el amonio podría estar oxidándose hasta nitrato, y el nitrito actúa como un intermediario en ese proceso, lo que sugiere una mayor actividad abiótica. Las concentraciones de NO_3^- registradas en este estudio (0,26 - 189,50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) resultaron ser superiores a las reportadas por Ocando (1992) en la laguna de Unare, las cuales oscilaron entre no detectadas a 33,80 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, al igual que las registradas por Perigó et al. (2009) en la laguna El Doctor (Cuba) (0,49 - 34,99 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$).

El nitrógeno total engloba todos los elementos nitrogenados, tanto inorgánicos como orgánicos. La distribución espacial y temporal de este parámetro se muestra en la Figura 3D, donde se observan variaciones significativas a lo largo del período de estudio. Las concentraciones máximas se registraron en los meses de septiembre y diciembre, alcanzando un valor de 538,08 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en las estaciones 5 y 6, respectivamente. Es importante destacar que el

valor mínimo de $39,52 \mu\text{mol.L}^{-1}$ se registró en enero en la estación 12. El análisis Kruskal-Wallis reveló que no hay diferencias significativas entre las estaciones ($P > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). Además, el análisis *a posteriori* aplicado a los meses reveló la presencia de tres grupos homogéneos: Grupo I (octubre, enero y noviembre), Grupo II (noviembre y diciembre) y Grupo III (diciembre y septiembre). El Grupo I corresponde a los meses con las concentraciones promedio más bajas, mientras que el Grupo III representa los meses con las concentraciones promedio más altas de este nutriente ($346,86$ y $389,93 \mu\text{mol.L}^{-1}$, respectivamente). Esto puede ser posible por la acumulación de materia orgánica producida *in situ* y los aportes antrópicos, la cual está siendo oxidada por la acción de las bacterias heterótrofas y provoca una disminución del oxígeno disuelto en esta zona.

En términos generales, las concentraciones elevadas de nitrógeno total están influenciadas por una serie de actividades humanas llevadas a cabo por las comunidades cercanas a la laguna, ya sean actividades agrícolas o urbanas. Estas actividades contribuyen a la eutrofización de la laguna. Además, es importante considerar el aporte de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento, las cuales contienen descargas domésticas. Asimismo, la intensidad de los procesos biogeoquímicos, especialmente la descomposición del material orgánico también desempeña un papel significativo en estas concentraciones elevadas. Según De la Lanza y Cáceres (1994), los asentamientos urbanos contribuyen al aumento del contenido de nitrógeno debido al aporte de aguas residuales. Este incremento puede ser mitigado por la dilución cuando las características de circulación y corrientes locales lo permiten, lo cual está relacionado con la geomorfología y las condiciones de lluvia y circulación de las aguas. Sin embargo, si las condiciones ambientales son aisladas o confinadas, el aumento puede ser aún mayor. En el caso específico de la laguna Los Patos, la escasa circulación de agua favorece un incremento en los niveles de nitrógeno.

La Figura 4A representa la distribución espacial y temporal de las concentraciones de PO_4^{3-} en las aguas superficiales de la laguna Los Patos, y muestra un amplio rango de variabilidad en todos los meses estudiados. Se observaron concentraciones máximas y mínimas enero y octubre, que oscilan entre $48,00 \mu\text{mol.L}^{-1}$ en la estación 7 y $1,34 \mu\text{mol.L}^{-1}$ en la estación 9, respectivamente. El análisis estadístico realizado mediante Kruskal-Wallis reveló que no existen diferencias significativas entre las estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre los meses ($p < 0,05$). El análisis *a posteriori* aplicado a los meses identificó la presencia de dos grupos homogéneos: Grupo I (octubre, noviembre, diciembre y septiembre) y Grupo II (enero). El Grupo I comprende los meses con las concentraciones promedio más altas ($24,33$, $27,41$, $28,11$ y $33,99 \mu\text{mol.L}^{-1}$ respectivamente), lo cual puede atribuirse a la asimilación de este nutriente por parte del fitoplancton. Por otro lado, el Grupo II representa el mes con la concentración promedio más alta en todo el estudio ($41,89 \mu\text{mol.L}^{-1}$), lo que indica una importante contribución de fosfatos de origen antropogénico, es decir, de los efluentes domésticos que contienen altos niveles de detergentes fosforados.

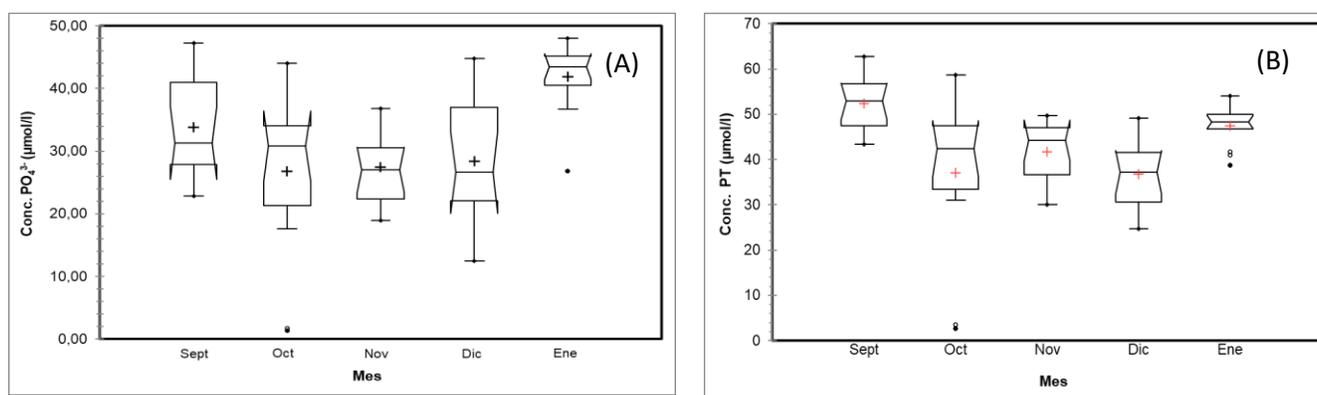


Figura 4. Distribución mensual de las concentraciones de fosfato (A), fósforo total (B) en las aguas de la laguna Los Patos.

Es importante resaltar que la variabilidad en las concentraciones de fosfatos es complicada de interpretar debido a diversos factores que influyen en la presencia o ausencia de esta especie. Por un lado, existen interacciones entre el agua y el sedimento que pueden llevar fosfatos a la columna de agua a través de procesos como la acción del viento o la bioturbación. Además, las descargas de aguas provenientes de la planta de tratamiento, que contienen aguas domésticas con altas cantidades de fosfatos, también contribuyen a estas concentraciones. Por último, la descomposición de la materia orgánica puede aportar concentraciones significativas de fosfatos a las aguas del complejo lagunar. Estos diversos factores dificultan la interpretación de las concentraciones de fosfatos en el ambiente acuático. El fósforo, al igual que el nitrógeno, es otro componente vital en los ecosistemas acuáticos y constituye un factor limitante para el crecimiento del fitoplancton (Elser et al., 2007; Yan et al., 2016). Sin embargo, las altas concentraciones originadas por los procesos antrópicos causan eutrofización y alteración de los mismos.

La Figura 4B muestra la distribución espacial y temporal de las concentraciones de PT en las aguas de la laguna Los Patos, y se observa que no se encontró un patrón definido durante el periodo de estudio. Las concentraciones oscilaron entre $3,48 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 9 y $62,75 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 2, durante octubre y septiembre, respectivamente. El análisis Kruskal-Wallis reveló que no existen diferencias significativas entre estaciones ($p > 0,05$), pero sí entre meses ($p < 0,05$). El análisis *a posteriori* aplicado a los meses mostró la presencia de tres grupos homogéneos: Grupo I (diciembre, octubre, noviembre), Grupo II (noviembre, enero) y Grupo III (enero, septiembre). Los Grupos I y II presentaron las concentraciones promedio más bajas con fluctuaciones mínimas de $37,04$; $39,43$ y $41,72 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, el Grupo III registró las concentraciones promedio más altas de $52,33$ y $47,41 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Estos resultados pueden atribuirse a los intensos aportes de origen natural y antrópico provenientes de actividades agrícolas y urbanas, así como a las descargas de aguas domésticas provenientes de la planta de tratamiento. La actividad bacteriana derivada de la degradación del material orgánico presente en las aguas residuales urbanas provoca una disminución en los niveles de oxígeno, lo que resulta en altos valores de reducción-oxidación (redox) negativos (Murciño-Márquez et al., 2017). Esta condición se refleja en niveles bajos de nitritos y altos valores de amonio, tal como han señalado Masters y Ela (2007). Así mismo, la relación NT/PT promedio es de 6,93 indicando que el fósforo es el limitante para la fotosíntesis en el cuerpo de agua, aunque los altos valores tanto de las especies nitrogenadas como fosforadas esta relación es irrelevante.

Las concentraciones de PT encontradas en la laguna Los Patos ($3,48 - 62,75 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) son inferiores a los reportados por Perigó et al. (2009) para la laguna El Doctor (Cuba) que van desde $11,09$ a $73,67 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, sin embargo, son inferiores a los reportados por García (2009) en el embalse El Clavellino y a las reportadas por González (2006) en el Golfo de Santa Fe, las cuales fluctuaron entre $0,34 - 0,43 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ y $0,28 - 5,08 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente.

Estado trófico de la laguna Los Patos

Los estados tróficos de las aguas de la laguna fueron evaluados de acuerdo con los parámetros de transparencia, mientras que el nitrógeno total y el fósforo total, se evaluaron siguiendo el enfoque propuesto por Carlson (1977 y 2007). Durante el estudio, no fue posible determinar las concentraciones de clorofila a. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2 y en la Figura 5. Se observó que todos los sectores muestreados de la laguna presentan condiciones hipereutróficas, lo cual indica que la laguna Los Patos se encuentra en un estado de eutrofización avanzado. Este estado se debe principalmente a los vertidos de la planta de tratamiento de aguas servidas, la cual funciona únicamente como una trampa de sedimentos. En particular, el sector norte de la laguna muestra los índices de Carlson más altos, mientras que los valores del índice para el fósforo total son más uniformes en toda la laguna. Por otro lado, el índice para el nitrógeno total revela los valores más altos, superando las 170 unidades.

Tabla 2. Estado trófico según el índice Carlson (2007) calculado para la laguna Los Patos.

Estación	$I_{transp.}$	IPT	INT	$I(\text{Carlson})$ prom.	Estado trófico
1	81	109	174	121	Hipereutrófico
2	81	100	172	118	Hipereutrófico
3	81	101	171	118	Hipereutrófico
4	81	108	175	122	Hipereutrófico
5	80	109	167	119	Hipereutrófico
6	81	106	176	121	Hipereutrófico
7	81	109	174	122	Hipereutrófico
8	75	107	176	120	Hipereutrófico
9	75	108	175	119	Hipereutrófico
10	75	107	172	118	Hipereutrófico
11	75	108	171	118	Hipereutrófico
12	75	108	170	118	Hipereutrófico
13	75	108	173	119	Hipereutrófico

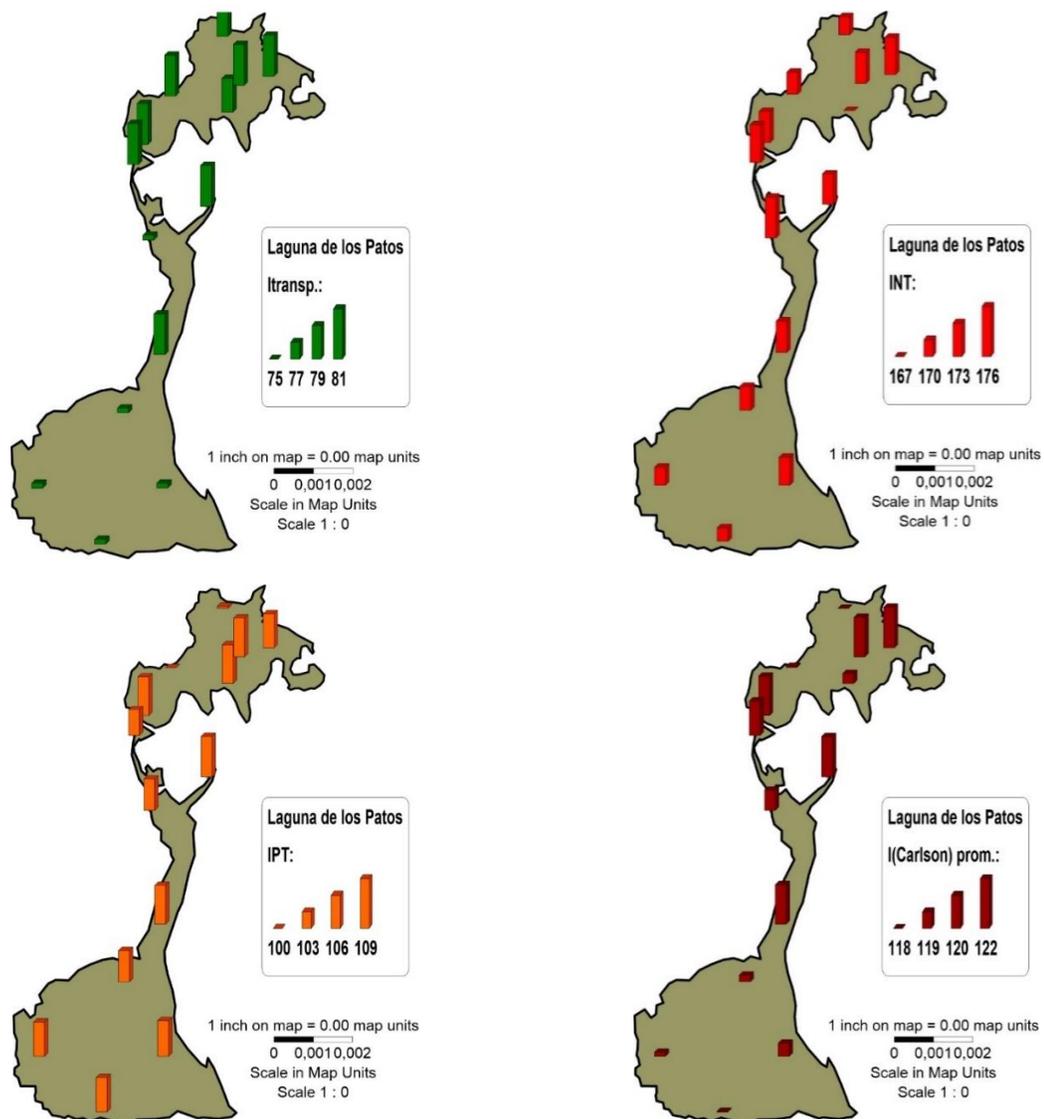


Figura 5. Distribución espacial de los estados tróficos determinados de acuerdo con Carlson (1977 y 2007).

La acumulación de materiales provenientes de los escurrimientos que alimentan a las lagunas contribuye al aumento de la flora y fauna. El crecimiento de estos organismos resulta en la opacidad del agua, impidiendo la penetración de la luz en las regiones más profundas de la columna de agua. Esto conduce a condiciones eutróficas debido a la descomposición de la materia orgánica. En el caso de la laguna Los Patos, su estado actual se debe al vertimiento de aguas servidas no tratadas provenientes de las poblaciones cercanas, y a los vertidos parcialmente tratados de la planta de tratamiento de La Llanada, la cual utiliza a esta laguna como un sistema de oxidación. Con el paso del tiempo, la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna y la alta tasa de evaporación causada por la vegetación superficial, provocan el desecamiento de las lagunas y su transformación en pantano (Delgadillo, 2012).

Torcatt (2015) determinó el índice trófico de Karidys et al. (1983) para amonio, nitrito, nitrato y fosfato, encontrando los tres diferentes estados para las especies nitrogenadas y entre mesotrófico y eutrófico para el fosfato. Existe otros índices tróficos que son aplicados en cuerpos de agua semicerrados, tal como el caso del índice TRIX ampliamente aplicado, que para ser aplicado requiere la determinación de las concentraciones de clorofila a (Muciño-Márquez, 2017; López-Monroy & Tróccoli-Ghinaglia, 2018). El índice de Carlson se puede aplicar individualmente para los parámetros transparencia, fósforo total, clorofila y en 2007 se introdujo la fórmula para la determinación de índice trófico con las concentraciones de nitrógeno total (NT). En el caso de la laguna de los patos las concentraciones de NT son superiores a $500 \mu\text{mol.L}^{-1}$ y ocasionan muy elevados índices tróficos para dicho parámetro.

CONCLUSIONES

El pH se mantuvo dentro de un rango deseable para el desarrollo de los organismos en las dos zonas de estudio, variando entre 7,74 y 8,86, posiblemente debido la actividad fotosintética en las aguas de laguna.

Las fluctuaciones de temperatura en las aguas superficiales de la laguna Los Patos fueron influenciadas por la intensidad de la radiación solar. Por otro lado, en el ecosistema marino-costero, las variaciones de temperatura se atribuyeron a la intensidad de los vientos alisios, los cuales promueven los procesos de mezcla, permitiendo que aguas subtropicales de temperaturas más bajas asciendan hacia la superficie.

Las concentraciones promedio de oxígeno disuelto se encontraron entre $2,04 - 6,70 \text{ mg.L}^{-1}$, valores que sugieren que durante los periodos de luz solar las aguas de la laguna se encuentran en condiciones de oxigenación aceptables.

Las concentraciones de las diferentes especies de nitrógeno fueron elevadas con las menores para la especie NO_2^- mientras que los máximos corresponden al nitrógeno total con un valor de $538,08 \mu\text{mol.L}^{-1}$ en septiembre y diciembre. Estos valores son consecuencias de los vertidos de efluentes líquidos desde la planta de tratamiento de La Llanada y los centros poblados establecidos en sus márgenes.

Las concentraciones de las especies de fósforo fueron altas en todas las estaciones de muestreo con máximos de $47,25 \mu\text{mol.L}^{-1}$ para el PO_4^{3-} y $62,75 \mu\text{mol.L}^{-1}$ para el PT en el mes de septiembre, producto de los aportes continentales durante la temporada de lluvia y los efluentes de la planta de tratamiento.

La relación NT/PT fue de 7,33 lo que indica que el nitrógeno es limitante para la productividad primaria en la laguna, aunque en este ecosistema, producto de las altas concentraciones de ambos nutrientes esta relación es irrelevante.

La laguna Los Patos muestra un evidente impacto por nutrientes, presentando de acuerdo con el índice de Carlson un estado hipereutrófico producto de las descargas en el cuerpo de agua de los efluentes no tratados del sector occidental de la ciudad de Cumaná y de los habitantes que viven en sus márgenes. Se deben implementar planes para el rescate y recuperación de este importante cuerpo por su belleza escénica, su valor cultural, su importancia pesquera y ecológica.

LITERATURA CITADA

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st edition. Washington, USA. APHA.
- Beer, N. y Joyce, C. (2013). North Atlantic coastal lagoons: conservation, management and research challenges in the twenty-first century. *Hydrobiologia* 701,1–11. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10750-012-1325-4](https://doi.org/10.1007/S10750-012-1325-4).
- Bonilla, R.; Quintero, R.; Cordero, J.; Basoa, E.; Marín, B. y De Gil, Y. (2003). Condiciones hidrográficas y Químicas en la columna de agua de las adyacencias de la Cuenca de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. (Trabajo de postgrado en Ciencias Marinas). Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná.
- Brito, A., Newton, A., Tett, P. y Fernandes, T. (2012). How will shallow coastal lagoons respond to climate change? A modelling investigation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 112, 98–104. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ECSS.2011.09.002](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.09.002).
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes, *Limnol. Oceanogr.* 22, 361-639.
- Carlson, R. (2007). Estimating trophic state. *Lakeline*, 27, 25–28
- Carlson, R. y Simpson J. (1996). *A coordinator's guide to volunteer lake monitoring methods*. North American Lake Management Society.
- Carrit, D. y Carpenter, J. (1996). Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater; a Nasco Report. *Marine Research*, 24, 286- 318.
- Cloern, J.E., (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 210, 223–253. [HTTPS://DOI.ORG/10.2307/24863878](https://doi.org/10.2307/24863878).
- Cumana, L. (2010). Composición florística del Parque Litoral laguna Los Patos, Cumaná, estados Sucre, Venezuela. *Saber*, 25(2),127-140. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739444004.pdf>.
- De Jonge, V.N., Elliott, M., Orive, E., (2002). *Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters*. Springer. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-94-017-2464-7_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2464-7_1)
- De la Lanza, G. y Cáceres, C. (1994). *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Delgadillo, A. (2012). *Determinación de parámetros fisicoquímicos, estado eutrófico y metales pesados de la laguna Tacocomulco, Hidalgo; identificación de compuestos quelantes Hidrocotyle ranunculoides L.f.* (Tesis doctoral en ciencias ambientales). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1900/Determinaci%c3%b3n%20de%20par%c3%a1metros%20fisiqu%c3%admicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Dunn, R., Welsh, D., Jordan, M., Waltham, N., Lemckert, C. y Teasdale, P. (2012). Benthic metabolism and nitrogen dynamics in a sub-tropical coastal lagoon: Microphytobenthos stimulate nitrification and nitrate reduction through photosynthetic oxygen evolution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 272-282. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.08.016.

- Elser, J. J., Bracken, M. E. S., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., ... & Smith, J. E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10(12), 1135-1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
- García, E. (2009). *Variación temporal de la concentración de microcistinas y su relación con algunos parámetros ambientales con algunos parámetros ambientales en aguas del embalse Clavellino, estado Sucre*. (Trabajo de Pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.) Repositorio Universidad de Oriente.
- Godoy, G. (1991). *Estudio Espacio Temporal de los Parámetros Físicos Químicos y Biológicos en la zona estuarina del río Manzanares. (Cumaná-Venezuela)*. (Trabajo de postgrado. Magister Scientiarum. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.) Repositorio Universidad de Oriente.
- González, A. (2010). Comparación, Abundancia y Diversidad del Fitoplankton y su relación con las condiciones físico-químicas de la laguna "Las Tabletillas", Isla de Toas, Edo Zulia, Venezuela. (Trabajo para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencias Biológicas, Mención Ecología Acuática. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia, Maracaibo) Repositorio Universidad del Zulia.
- González, M. (2006). *Distribución y comportamiento de los elementos nutritivos y Clorofila a en las aguas del Golfo de Santa Fe, estado Sucre, Venezuela*. (Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente Venezuela.) Repositorio Universidad de Oriente.
- Howarth, R., Chan, F., Conley, D.J., Garnier, J., Doney, S.C., Marino, R., Billen, G., (2011). Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. *Front. Ecol. Environ.* 9,18–26. <https://DOI.ORG/10.1890/100008>.
- Jennerjahn, T. y Mitchell, S. (2013). Pressures, stresses, shocks and trends in estuarine ecosystems – an introduction and synthesis. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 130,1–8. DOI.ORG/10.1016/J.ECSS.2013.07.008.
- Karydis, Ignatiades, M. y Moshopoulou, N. (1983). An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16, 339-344.
- Kennish, M. (2016). Coastal Lagoons. In: Kennish, M.J. (eds). *Encyclopedia of Estuaries. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_47
- Kennish, M. y Pearl, H. (2010). *Coastal lagoons: critical habitats of environmental change. Florida, USA*. Taylor & Francis Group. [HTTP://WWW.SISAL.UNAM.MX/LABECO/LAB_ECOLOGIA/OF_FILES/COASTAL%20Lagoons%20-%20Critical%20%20Habitats%20of%20Environmental%20Change.pdf](http://WWW.SISAL.UNAM.MX/LABECO/LAB_ECOLOGIA/OF_FILES/COASTAL%20Lagoons%20-%20Critical%20%20Habitats%20of%20Environmental%20Change.pdf)
- Kjerfve, B. (1994). Coastal lagoons: Coastal Lagoons. *Processes. E. Oceanogr. Ser.* 1,60.
- Koroleff, F. (1969). Direct determination of ammonia in natural water as indophenol blue. *Int. Counc. Explor. Sea. C. M.*, 9, 19-22.
- Larez, L. (1966). Algunas observaciones sobre *Penaeus aztecus* (IVES) en las lagunas litorales situadas al oeste de la Universidad de Oriente, Venezuela. *Laguna*, 11,13-19.
- Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L. (2008). Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 78,403–412. DOI.org/10.1016/j.ecss.2008.01.003.

- López-Monroy, F y Troccoli-Ghinaglia, L (2018). Aplicación de índices de estado trófico en la laguna costera tropical Las Marites (isla de Margarita, Venezuela). *Saber*, 30, 151-159.
- López-Monroy, f. Troccoli- Ghinaglia, I, Poblete, E. y Valerio, L. (2017). Dinámica de los nutrientes en una laguna costera tropical hipersalina (Las Marites, Isla de Margarita, Venezuela). *Rev. Bio Ciencias*. 4, (6),1-16. <https://doi.org/10.15741/revbio.04.06.04>
- Márquez, A.; Senior, W.; Martínez, G. y González, A. (2007). Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la Laguna Los Patos, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 46(2): 137-145.
- Masters, G. & W. Ela. (2007). *Environmental Engineering and Science*. 3rd Edition. Prentice Hall. USA. 350 p.
- Mokaya, S., Mathooko, J. y Leichtfried, M. (2004). Influence of anthropogenic activities on water quality of a tropical stream ecosystem. *Afr. J. Ecol.*42: 281–288.
- Muciño-Márquez, R. Aguirre-León, A. y Figueroa-Torres, M. (2017). Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica* 27 (3): 281-291. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v27n3/0188-8897-hbio-27-03-281.pdf>.
- Murphy, J y Riley J. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 12,162-170.
- Newton, A., Icely, J., Cristina, S., Brito, A., Cardoso, A.C., Colijn, F., Riva, S.D., Gertz, F., Hansen, J.W., Holmer, M., Ivanova, K., Leppäkoski, E., Canu, D.M., Mocenni, C., Mudge, S., Murray, N., Pejrup, M., Razinkovas, A., Reizopoulou, S., Pérez-Ruzafa, A., Schernewski, G., Schubert, H., Carr, L., Solidoro, C., Pierluigi, V., Zaldívar, J. (2014). An overview of ecological status, vulnerability and future perspectives of European large shallow, semi-enclosed coastal systems, lagoons and transitional waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 14,;95–122. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2013.05.023>.
- Ocando, L. (1992). *Distribución Espacial y Temporal de Parámetros fisicoquímicos y Materia Orgánica en la Laguna de Unare Período noviembre 1988- Julio 1989*. (Trabajo para optar al título de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas. Mención Oceanografía Química. Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre-Venezuela). Repositorio Universidad de Oriente de Venezuela.
- Perigó, A., Perigó E., Montalvo J. F, Chang, E., Cesar, M. E., García, R. (2006). Evaluación de factores hidroquímicos indicadores de contaminación orgánica en la laguna costera El Doctor, Playa Baracoa. *Cuba. Rev. Cubana de Investig. Pesq.*, 36, 12 – 16.
- Rodellas, V., Stieglitz, T., Andrisoa, A., Cook, P., Raimbault, P., Tamborski, J., van Beek, P. y Radakovitch. O. (2018). Groundwater-driven nutrient inputs to coastal lagoons: The relevance of lagoon water recirculation as a conveyor of dissolved nutrients. *Science of the Total Environment*, 642, 764–780. <https://DOI.ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2018.06.095>
- Santoro, A. L. and Enrich-Prast, A. (2009). Salinity control of nitrification in saline shallow coastal lagoons. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 21(2), 263-267. <HTTP://WWW.ABLIMNO.ORG.BR/ACTA/PDF/V21N2A210212.PDF>
- Senior, W. (1987). *Guía práctica de análisis químico del agua de mar*. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.

- Strickland, J. y Parsons, T. (1972). A Practical HandBook of Sea Water Analysis. Bull. 167. *Fish Res. Bd. Canada*. 203.
- Stumm, W. (1972). Discussion on coagulation and flocculation of surface waters. *Journal*, 80,30.
- Sucre, S. (2013). *Concentración de metales pesados en aguas superficiales y tejidos musculares de peces de la laguna Los Patos, Cumaná, estado Sucre, Venezuela*. (Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.) Repositorio Universidad de Oriente Venezuela de Venezuela
- Toledo, J.; Lemus, M. y Chung, K. (2000). Cobre, cadmio y plomo en el pez *Cyprinodon dearborni*, sedimentos y aguas en dos lagunas de Venezuela. *Rev. Biol. Trop.*, 48 (1), 225-231. Recuperado de: http://www.amlc-carib.org/meetings/procs/1999AMLC_Proceedings/28-TOLEDOJ_M_LEMUSAND_CHUNG.pdf
- Torcatt, B. (2015). *Evaluación de elementos nutrientes en las aguas superficiales de la laguna de los patos y en la zona de influencia de su desembocadura, estado Sucre, Venezuela*. (Trabajo de pregrado. Departamento de Química, Universidad de Oriente, Cumaná.) Repositorio Universidad de Oriente de Venezuela.
- Tréguer, P. y Le Corre P. (1975). *Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilization l'Auto-Analyzer //*. Techicon. LOC-UBC.
- Valderrama, H. (1981). The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural water. *Mar. Chem.*, 10,109-122.
- Villalba, W., Marquez, B. Troccoli-Ghinaglia, L., Alzolar, M. y López, J. (2017). Composición y abundancia del zooplancton en la laguna El Morro, Isla de Margarita, Venezuela. *Rev. Per. biol.* 24 (4), 343 – 356. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v24i4.14062>
- Wood, E., Armstrong, F. y Richards, F. (1967). Determination of nitrite in sea water by cadmium-cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 47, 23- 31.
- Yan, Z., Peñuelas, J., Sardans, J., *et al.* (2016). "Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts". *Ecology Letters*. 19, 1237–1246. DOI: 10.1111/ELE.12658.