



BOLETÍN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

CARACTERIZACIÓN DEL PASO PORTACHUELO DE RANCHO GRANDE COMO RUTA MIGRATORIA DE AVES EN EL PARQUE NACIONAL HENRI PITTIER, VENEZUELA. <i>Alberto Fernández-Badillo, Gregorio Ulloa Mota y Ernesto Fernández Badillo.....</i>	96
ANÁLISIS DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DE AGUA DE AIRE ACONDICIONADO Y SU POTENCIAL DE USO. <i>Marcos Bitter, Alberto Jiménez y Ricardo Bitter.....</i>	125
MODELAJE DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL HUMEDAL RAMSAR LAGUNA DE LA RESTINGA (ISLA DE MARGARITA, VENEZUELA) Y EL MAR CARIBE. <i>Adara Daleska González-Hernández y Fabiola López-Monroy.....</i>	145
DINOFLAGELADOS EPIBENTÓNICOS ASOCIADOS A VEGETACIÓN SUMERGIDA EN UNA PLAYA DEL PARQUE NACIONAL LAGUNA DE LA RESTINGA, VENEZUELA. <i>Dilcia Morales-Benavides, Lorelys Valerio-González, Yuraima García-González y Pedro Rodríguez-Rodríguez.....</i>	164
INSTRUCCIONES A LOS AUTORES.....	18
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS.....	

Vol.54, N^o 2, Julio-Diciembre 2020

UNA REVISTA INTERNACIONAL DE BIOLOGÍA
PUBLICADA POR LA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA, MARACAIBO,
VENEZUELA



Modelaje de la interacción entre el humedal RAMSAR laguna de La Restinga (Isla de Margarita, Venezuela) y el Mar Caribe

Adara Daleska González-Hernández^{1*} y Fabiola López-Monroy²

Departamento de Acuicultura, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Boca del Río, Venezuela. 1*adagohe28@gmail.com (autor de correspondencia). 2 fametal@gmail.com

RESUMEN

El balance hidrológico y el flujo de materiales en las lagunas costeras son dependientes del intercambio con otros cuerpos de agua como ríos, aguas subterráneas y el océano. Estos procesos son importantes para el manejo de los ecosistemas lagunares. Con la finalidad de conocer cómo ocurren estos procesos en el humedal RAMSAR laguna de La Restinga, Venezuela, se utilizó el modelo matemático LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone). Este es un modelo de caja que proporciona información sobre el balance de agua y sal, los flujos de nutrientes y permite estimar el metabolismo neto de un ecosistema a partir de información secundaria. Para las estimaciones se usaron datos existentes del periodo de surgencia 2001-2002. Los resultados mostraron que la laguna tiene un comportamiento heterogéneo. Los extremos este y oeste son ambientes heterotróficos en los que ocurre desnitrificación, mientras que el centro es autotrófico con dominio de la fijación de N. El tiempo de residencia fue estimado en 64 días. El agua permanece 25 días en la zona oeste, 34 días en el este y 6 días en el centro del ecosistema.

Palabras Clave: nitrógeno y fósforo; tiempo de residencia; lagunas costeras; LOICZ; parque nacional.

Modeling the interaction between the RAMSAR wetland lagoon of La Restinga (Margarita Island, Venezuela) and the Caribbean Sea.

ABSTRACT

The water balance and material flow in coastal lagoons are dependent on the exchange with other water bodies such as rivers, groundwater, and the ocean. Those processes are important for the management of the lagoon ecosystems. In order to know how these processes, occur in the RAMSAR wetland lagoon of La Restinga, Venezuela, it was used the mathematical model LOICZ (Land Ocean Interactions in

the Coastal Zone). This is a box model that provides information about the water and salt balance, nutrient flows and allows estimating the net metabolism of an ecosystem from secondary information. We used existing data from the 2001-2002 emergence period to calculate the model. The results showed that the lagoon is a heterogeneous environment. The east and west are heterotrophic areas where they occur denitrification, while the center is autotrophic with the dominance of N fixation. The residence time was estimated at 64 days. The water stays 25 days in the west zone, 34 days in the east, and 6 days in the center of the ecosystem.

Key words: nitrogen and phosphorus; residence time; coastal lagoons; LOICZ; national park.

Recibido / Received: 01-08-2020 ~ **Aceptado / Accepted:** 30-11-2020

INTRODUCCIÓN

La laguna de La Restinga, por su belleza escénica y diversidad biológica, fue declarada parque nacional en 1974 (Decreto Nº 1591, Gaceta Oficial Nº 30.325, 6 de febrero de 1974) (MARN 1974), esta forma parte de la isla de Margarita, ubicada en la región nororiental de Venezuela. Está compuesta por lagunas interiores más pequeñas (Salazar 2009), rodeadas por una amplia extensión de manglar con diversidad de canales que lo cruzan en todas las direcciones, creando condiciones ideales para el desove, crecimiento y resguardo de diversos organismos marinos. Desde el punto de vista económico, el ecosistema es importante para los pescadores artesanales locales, que recolectan moluscos como la ostra de mangle *Crassostrea rhizophorae* (Guilding 1828) y para la industria turística que ofrece visitas guiadas, prácticas deportivas y una variada gastronomía (Buitrago *et al.* 2002; Salazar *et al.* 2003; Guerra *et al.* 2011). Además, por su gran valor ecológico, esta albufera fue incluida en el año 1996 en la lista de humedales protegidos por el convenio RAMSAR (RAMSAR 2017).

Dado su interés biológico ha sido objeto de estudios en diversos tópicos como hidrología (Monente 1978; Gómez 1991), producción primaria (Castillo 2003), biodiversidad (Guerra-Castro *et al.* 2011; Guerra *et al.* 2011), sedimentología (Salazar *et al.* 2003; Araujo *et al.* 2008; Mendoza 2012; Morales 2016) y potencial para la acuicultura (Buitrago *et al.* 2002). Uno de los temas poco estudiados en este ecosistema es la hidrodinámica, la cual depende principalmente de la acción de la marea (Gómez 1991). La circulación es sencilla: el agua se dirige del mar al interior de la laguna (flujo) o bien, desde la laguna sale hacia el exterior (reflujo) (Monente 1978). Los movimientos del agua arrastran además sedimentos y materia orgánica que se distribuyen y depositan en el fondo según sea la dinámica, variando espacialmente (Mendoza 2012; Morales 2016).

El balance hidrológico y el flujo de materiales en las lagunas costeras como La Restinga es fuertemente dependiente del intercambio con otros cuerpos de agua como ríos, aguas subterráneas y el océano (Conan *et al.* 2017). Una de las herramientas utilizadas para cuantificar estos procesos son los modelos matemáticos. Entre estos uno de los más utilizados es LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone). Este es un modelo de caja que permite cuantificar de manera simplificada la capacidad de los ecosistemas costeros para transformar, acumular o exportar materia disuelta, además proporciona información sobre el balance hidrológico y salino, los flujos de nutrientes y la estequiometría de los mismos, para llegar a estimar el metabolismo neto de un ecosistema (MNE) (Gordon *et al.* 1996; Marinov *et al.* 2014; Cervantes 2016).

Los balances aplicados con los supuestos de LOICZ, en lagunas costeras hipersalinas como La Restinga, han mostrado ser útiles en el manejo del ecosistema y la toma de decisiones por parte de los administradores de recursos. Este modelo muestra la respuesta del ecosistema a cargas antropogénicas de nutrientes (Cervantes 2016) y permite hacer predicciones del comportamiento de los nutrientes en el cuerpo de agua (Caffrey 2004), por lo que puede ayudar en los esfuerzos por prevenir la eutrofización.

El modelo LOICZ es ampliamente utilizado y hasta ahora se ha aplicado para la evaluación ambiental en más de 200 estuarios del mundo (Swaney *et al.* 2011). En Venezuela esta metodología ha sido empleada, en las lagunas de La Restinga (Troccoli *et al.* 1999) y Las Marites, ambas ubicadas en la isla de Margarita (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017).

La aplicación previa de LOICZ en la laguna de La Restinga fue realizada considerando que el ecosistema poseía un comportamiento homogéneo, por lo que se calcularon los balances y flujos usando el modelo de una sola caja. Una mejor aproximación para estimar el flujo de agua, sal y nutrientes, en esta laguna en particular, es considerar la existencia de lagunas internas con intercambio restringido entre ellas, de tal manera que el modelo debería ser ajustado a múltiples cajas, de allí parte la necesidad de realizar esta investigación cuyo objetivo es: Estimar el balance hidrológico y el flujo de nutrientes en el humedal RAMSAR laguna de La Restinga, (isla de Margarita, Venezuela) y el Mar Caribe.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Margarita está formada por dos islas diferentes, unidas naturalmente por un istmo y una estrecha y larga barrera arenosa denominada restinga (Mendoza 2010) de 23,5 km de longitud y 300 m de ancho. Las dos secciones de Margarita, junto con la barra arenosa, al Norte forman un triángulo escaleno, que da origen a la principal laguna costera insular de Venezuela, La Restinga (Fig. 1). Las secciones se comunican con el mar a través de un canal de 800 m de largo, y de 80 a 100 m de ancho, con una profundidad aproximada de 6 m (Morales 2016) que es la máxima que se registra en el ecosistema. Desde el canal de entrada, la profundidad desciende hacia el interior, de tal manera

que un 40% de su superficie es menor de 1 m (Monente 1978; Lentino y Bruni 1994).

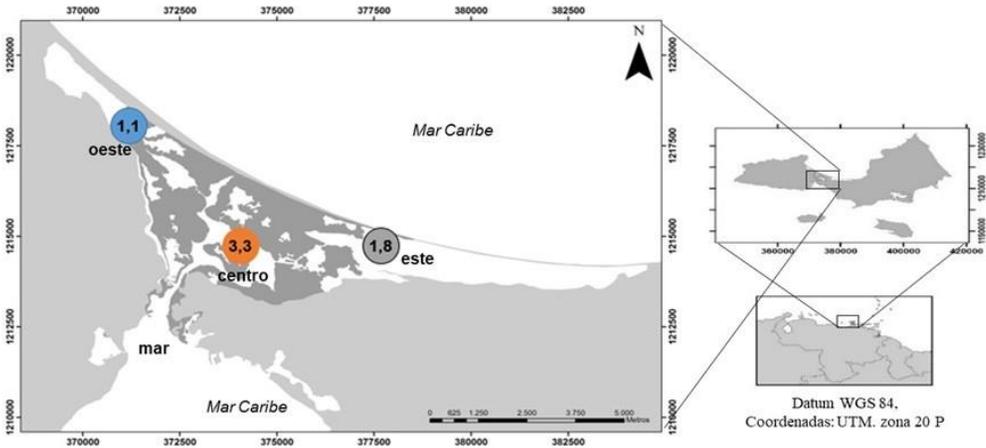


Figura 1. Laguna de La Restinga, isla de Margarita, Venezuela. Coordenadas: UTM. Datum WGS 84, zona 20 P. Los datos en círculo representan la profundidad promedio en cada sector del ecosistema según batimetría de Araujo *et al.* (2008).

La Restinga es hábitat de cuatro especies de mangle: I) el mangle rojo *Rhizophora mangle* L. 1753, es el más abundante, cubriendo unas 500 ha aproximadamente, lo que representa 45,9% del área total de esta vegetación; a las raíces de este mangle se han reportado asociadas unas 500 especies de invertebrados y algas (Guerra-Castro *et al.* 2011), II) el mangle negro *Avicennia germinans* (L.) L., se extiende por un área de 400 ha (40 %) ubicada en los canales de menor circulación (Hoyos 1985; Salazar 2009), III) el mangle botoncillo *Conocarpus erectus* Linnaeus, 1753 en la periferia del manglar (14%), donde el contacto con el agua es menor y IV) el mangle blanco *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn, se encuentra hacia el sector oeste de la laguna (0,1% del área total) (Sánchez-Arias *et al.* 2010).

Climatológicamente la zona es árida, con bajas precipitaciones (225 mm/año), presión atmosférica alta y temperaturas que varían de 18,2 a 36,2 °C, lo que provoca una elevada evaporación. Estas características y la ausencia de afluentes dulceacuícolas importantes determinan los altos niveles de salinidad presentes en el cuerpo de agua (Anónimo 2006).

Para efectos de esta investigación, la laguna de La Restinga fue dividida en 3 zonas: este, centro y oeste (Fig. 1), considerando el aislamiento relativo provisto por el crecimiento de los manglares y atendiendo a la información disponible.

Obtención de datos hidroquímicos

Se utilizaron datos de salinidad y nutrientes de la laguna de La Restinga correspondientes al periodo de surgencia de noviembre 2001 a mayo 2002 (Castillo 2003) (Tabla 1). Estos datos pueden considerarse representativos de la estación de mayor contenido de nutrientes en el área por ser un periodo de surgencia (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2014).

Tabla 1. Concentración superficial de las variables hidroquímicas utilizados en esta investigación. Correspondientes al periodo de surgencia de noviembre 2001 a mayo 2002 en la laguna de La Restinga. Fuente: Castillo (2003).

Estación	Amonio ($\mu\text{mol/l}$)	Fosfato ($\mu\text{mol/l}$)	Nitrato ($\mu\text{mol/l}$)	Nitrito ($\mu\text{mol/l}$)	NID ($\mu\text{mol/l}$)	Salinidad (g/kg)
mar	0,95	0,30	1,10	0,07	2,12	38,00
este	1,95	0,90	1,40	0,14	3,49	44,50
centro	1,00	0,20	0,70	0,06	1,76	38,50
oeste	1,40	0,75	0,90	0,07	2,37	46,00

NID: nitrógeno inorgánico disuelto

Además se utilizaron datos de la batimetría promedio de cada una de las estaciones, los cuales pueden observarse en la Fig.1 (Araujo *et al.* 2008). Estos valores fueron empleados para calcular el volumen de agua.

Los datos correspondientes a la evaporación y precipitación de la isla de Margarita se encuentran en la Tabla 2 (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2014).

Tabla 2. Precipitación y evaporación acumulada en la estación meteorológica de Punta de Piedra, isla de Margarita durante el periodo de estudio. Fuente: López Monroy y Troccoli-Ghinaglia (2014).

Mes	Precipitación acumulada(mm)	Evaporación acumulada (mm)
Noviembre 2001	20,2	243
Diciembre 2001	45,5	231
Enero 2002	181,7	222
Febrero 2002	3,6	273
Marzo 2002	10,6	273
Abril 2002	33,3	288
Mayo 2002	7,0	306
Valor acumulado del periodo	301,9	1836
Promedio del periodo	43,1	262

Análisis de datos

Los flujos de agua, sal, nutrientes y el metabolismo neto del ecosistema se calcularon mediante el modelo matemático LOICZ, descrito en Gordon *et al.* (1996).

El modelo se construye en tres etapas que consisten en:

Balance de agua: conservación del volumen de agua

Describe los procesos advectivos entre la laguna y el mar adyacente.

El balance considera que, en conjunto, los flujos de entrada y salida de agua del sistema deben ser iguales al volumen almacenado dentro del sistema.

$$dV/dt = V_Q + V_P + V_G + V_O - V_E + V_R \quad (1)$$

Dónde:

V_Q : Volumen de aguas residuales agrícolas

V_P : Precipitación acumulada

V_G : Volumen de aguas subterráneas

V_O : Volumen de otros aportes de agua

V_E : Evaporación acumulada

V_R : Flujo residual, que contiene el volumen del sistema.

Dado que la laguna de La Restinga no tiene aportes de aguas residuales agrícolas (V_Q), aguas subterráneas (V_G) u otros aportes de agua (V_O), estos valores son igual a cero (0)

Quedando el balance de agua de la siguiente forma:

$$V_R = -V_P + V_E \quad (2)$$

El tiempo de residencia se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$T_R = V_{SIS} / (V_x + V_R) \quad (3)$$

Balance de sal (flujo de sal que es adicionada o movida del sistema por circulación del agua)

Los procesos de circulación de la sal incluyen V_R y también el intercambio del agua

de la boca de la laguna (ejemplo, mezcla) con el flujo neto del agua.

$$d(VS)/dt = V_P S_P - V_E S_E + V_R S_R + V_X (SOCEAN - SSIS) \quad (4)$$

El flujo horizontal de agua entre el océano y la laguna (V_X) representa la mezcla entre los dos cuerpos de agua.

El balance de sal fue calculado suponiendo un estado estacionario sin ganancias ni pérdidas de sal:

$$V_X = V_R S_R / (SSIS - SOCEAN) \quad (5)$$

Dónde:

SOCEAN y SSIS: Salinidades del océano y el sistema (la laguna)

S_P , S_E : Promedios de salinidad que se deben a la precipitación y evaporación respectivamente.

S_R : Salinidad asociada al flujo residual. Representa el promedio entre la salinidad de la laguna (SSIS) y la salinidad del mar adyacente (SOCEAN).

Balance de nutrientes (balance de masa de cualquier material no conservativo Y):

Representa el flujo no conservativo de Nitrógeno inorgánico disuelto (ΔNID) y fósforo inorgánico disuelto (ΔPID) que se intercambia entre el mar adyacente y la laguna con base en los criterios establecidos en el balance de agua y sal:

$$d(VY)/dt = V_R Y_R + V_X (YOCEAN - YSIS) + \Delta Y \quad (6)$$

Dónde:

ΔY : Flujo del material no conservativo (PID y NID).

Y_R : Valor promedio del material no conservativo entre dos fronteras.

YOCEAN, YSIS: Los valores promedio del material no conservativo del océano y el sistema, respectivamente.

NID: Nitrógeno inorgánico disuelto (Nitrato + Nitrito + Amonio)

PID: Fósforo inorgánico disuelto (Fosfato)

Estimaciones del Metabolismo Neto del Ecosistema y Nfij- Desnit

El metabolismo neto del ecosistema (MNE) representa la diferencia entre la producción de carbono (p) y la respiración (r) estimándose con la siguiente ecuación:

$$(p-r) = -\Delta PID \times (C:P)_{part} \quad (7)$$

Dónde:

(C: P) part carbono correspondiente a fósforo en la materia orgánica particulada que está siendo reciclada en la laguna. Suponiendo una proporción molar de C: P (106:1) (Redfield 1934).

La relación entre los procesos de fijación de nitrógeno (Nfij) y desnitrificación (Desnit) se calculó a partir de la diferencia entre el flujo de nitrógeno (Δ NID) observado y esperado:

$$\text{Nfij-Desnit} = \Delta\text{NID} - (16 \times \Delta\text{PID}) \quad (8)$$

Finalmente, con el objeto de evaluar la asociación entre las variables estudiadas, fue realizado un análisis de conglomerados, a partir del método de promedio del grupo, usando para ello el software Statgraphics Centurión® XVI.

Resultados y Discusión.

Flujo residual (V_R)

En la laguna de La Restinga, como en toda la isla de Margarita, la precipitación es menor que la evaporación (Tabla 2). Esto trae como consecuencia una pérdida de agua en el ecosistema. Para compensar esta deficiencia hídrica, existe un flujo de agua residual (V_R), moviéndose desde el mar hacia la laguna para el mantenimiento del volumen (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017). Lo cual es indicado por el signo positivo en los flujos estimados (Ver signos del V_R en Fig. 2).

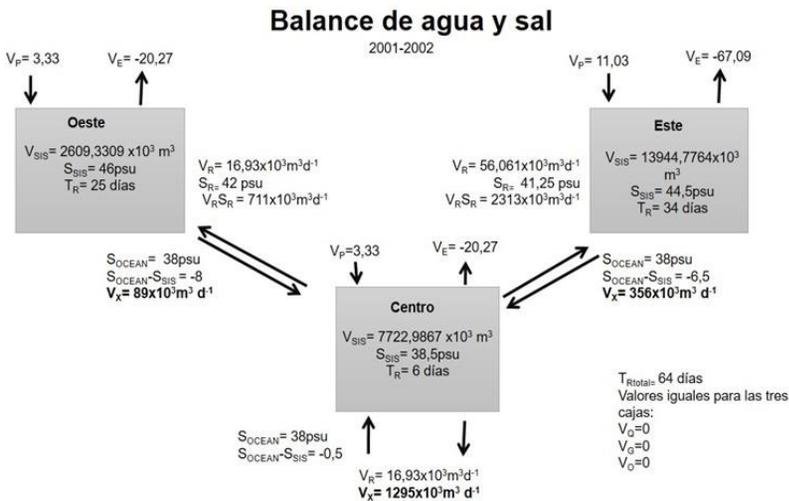


Figura 2. Balance de agua y sal de la laguna de La Restinga periodo de 2001 2002.

El mayor flujo de agua es hacia el este de la laguna (Fig. 2). Esta zona, además de su escasa profundidad de 1,8 m, es abierta y posee pocos canales que restrinjan la circulación, lo que facilita el llenado. Este comportamiento, en el que el flujo de agua es mayor en las zonas de baja profundidad es muy común en aguas hipersalinas como ocurre los primeros meses del año en la laguna Araruama de Brasil (Kjerfve *et al.* 1996); durante el verano en la laguna de Lobos en el Pacífico de México (Valenzuela *et al.* 2007), en la bahía de Jigüey en Cuba (Loza *et al.* 2011); en la laguna Mar Muerto de México (Tapia-García *et al.* 2011) y en la laguna Las Marites, Venezuela (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017).

Flujo horizontal (VX)

En el límite de los sistemas, existen flujos de intercambio horizontal (VX), que representan el volumen de agua que se mueve entre el mar y la laguna o entre una zona de la laguna y otra por procesos de mezcla (Gordon *et al.* 1996). En la laguna de La Restinga el flujo horizontal asociado a la mezcla fue muy variable (ver VX Fig. 2). Este comportamiento parece estar asociado con la cobertura de manglares y la profundidad, que no son homogéneas en el ecosistema. En el oeste se observó una disminución de este flujo (89x103m³d⁻¹). Este sector posee un intrincado complejo de canales de navegación que en ocasiones son cerrados por el crecimiento de los manglares, lo cual también restringe la circulación del agua.

La disponibilidad de sustrato y nutrientes crean condiciones adecuadas para el establecimiento de comunidades de manglares, mientras que la amplitud y fuerza de las corrientes de marea serían las responsables de la renovación del agua intersticial del sedimento de los mismos, así puede mantenerse una buena calidad del agua (Tovilla y de la Lanza 2001; Falcão y Vale 2003). Esto ya ha sido reseñado en otros ecosistemas como por ejemplo la laguna de Óbidos en Portugal (Malhadas *et al.* 2009).

Respecto al intercambio de agua entre la laguna y el mar (1295x103m³d⁻¹), las variables que influyen en este son: las mareas (Buddemier *et al.* 2002; Mcmanus *et al.* 2003), vientos, densidad y circulación (velocidad en la que ingresa el agua y la amplitud del canal de entrada de la laguna) (Gordon *et al.* 1996; Valenzuela *et al.* 2007). De estos factores, el régimen de mareas es considerado el principal proceso de intercambio entre lagunas costeras y el océano, aportando nutrientes y materia orgánica proporcionales al volumen de agua introducido.

Las lagunas dominadas por la marea son consideradas ecosistemas complejos y dinámicos (Lara-Lara *et al.* 2008), cuyas propiedades físicas, químicas y biológicas muestran un fuerte gradiente, con variabilidad que va desde periodos cortos hasta estacionales.

En el Sur de la isla de Margarita los rangos de marea varían entre 39 y 55 cm (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017). Esta escasa variabilidad en el rango de mareas permite presumir pocos cambios temporales en el flujo de mezcla, por esta misma razón, los gradientes que puedan presentarse podrían estar más relacionados con el aislamiento de los sectores más internos.

Tiempo de residencia del agua (T_R)

Los resultados muestran que el agua de la laguna de La Restinga se renueva aproximadamente cada dos meses (64 días). Se estimó un tiempo de residencia hidráulico de 25 días para la zona oeste, 34 días para el este y 6 días en el centro del ecosistema (Fig. 2).

En una investigación previa, en esta misma laguna, se calcularon T_R de 48 y 134 días cuya variación fue atribuida a un aumento en las lluvias que incrementaron el T_R (Troccoli *et al.* 1999).

El tiempo de residencia es una variable que está asociada a la salinidad del agua, mostrando tendencia a la disminución hacia las zonas con menor salinidad (Villate y Ruiz 1989). Asimismo, el tiempo de residencia juega un papel clave en el funcionamiento del ecosistema, y debe ser una de las primeras características de las lagunas costeras que hay que conocer. Esta variable rige el comportamiento de la laguna como: trampa o sumidero de contaminantes, así como exportador de materia orgánica, enriqueciendo las zonas marinas adyacentes (Herrera-Silveira 2006).

No existe un patrón para establecer si un tiempo de residencia particular es largo o corto, algunos factores que lo influyen son, el área de cobertura del cuerpo de agua, la morfología y profundidad (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017). Los tiempos de residencia suelen variar tanto espacial como temporalmente. Las lagunas con mayor tiempo de residencia tienen mayor riesgo a la contaminación y eutrofización, en tanto que las de menor tiempo de residencia, además de ser potenciales exportadoras de materia orgánica, son menos vulnerables (Herrera-Silveira 2006).

En el caso de La Restinga, considerando la baja profundidad, el área de cobertura, que es amplia, y que no existen reportes de eutrofización u otro tipo de contaminación química, puede considerarse que posee un tiempo de residencia corto.

Sal asociada al flujo residual ($V_R S_R$)

El intercambio de sal fue evaluado a partir del término $V_R S_R$. El este fue la zona con mayor cantidad de sal asociada al flujo residual ($2313 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) (Fig. 3), debido a que el efecto de la evaporación es mayor en esta área del ecosistema y favorece la concentración de las sales. A este fenómeno se le llama hipersalinización y ocurre en estuarios donde la evaporación excede la precipitación y la descarga fluvial (Soares 2016), además puede dar como resultado valores amplios de salinidad dentro de una misma laguna, como ocurre por ejemplo, en las lagunas de Bardawil en Egipto (38,3-73 g/kg); Anatoliki en Grecia (0,5-42 g/kg) o la laguna de Mundel en Sri Lanka (9-109 g/kg) (Pérez-Ruzafa *et al.* 2019).

En este tipo de ecosistemas lagunares, un aumento en la precipitación o una mayor comunicación con el mar, incrementa el volumen del agua y produce mayor variabilidad espacial y temporal en la salinidad (Anthony *et al.* 2009; Angus 2017; Pérez-Ruzafa *et al.* 2019).

Intercambio de nutrientes asociado al flujo residual ($V_R YID_R$) y horizontal $V_X(YID_{OCEAN} - YID_{SIS})$.

El comportamiento del flujo residual de nutrientes fue similar tanto para el nitrógeno como para el fósforo. En ambos nutrientes, fue mayor el intercambio en el este del ecosistema, dicho comportamiento se corresponde con el observado en el intercambio de agua (Figs. 3 y 4).

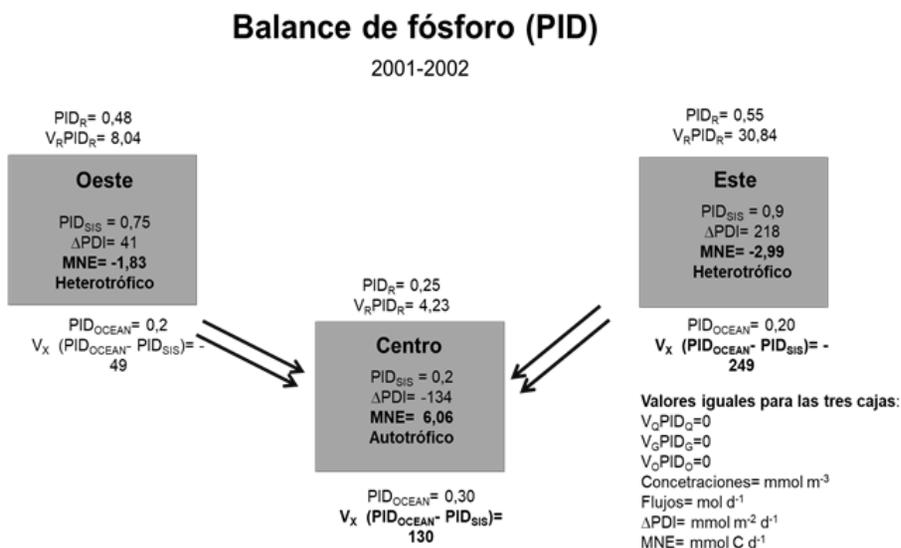


Figura 3. Balace de fósforo de la laguna de La Restinga periodo de 2001-2002.

Se calculó un mayor intercambio de nutrientes debido a mareas y oleaje [$V_X(YID_{OCEAN} - YID_{SIS})$] más que por el flujo residual ($V_R YID_R$) (Figs. 3 y 4). Este comportamiento es usual en sistemas hipersalinos, en los que, suele ser más importante el flujo desde la laguna hacia el océano (Buddemier *et al.* 2002).

El hecho de que todos los flujos en el centro del ecosistema sean positivos es un indicador de que siempre existe exportación de nutrientes hacia el mar adyacente (Figs. 3 y 4), por lo que la laguna de La Restinga fertiliza las aguas costeras de la zona, tal como han sugerido previamente algunos autores (Gómez 1991; Pereira 2007), quienes señalan además que los nutrientes se extienden a los alrededores durante el refluo de la laguna (Monente 1978). Este comportamiento es común en ecosistemas costeros, en donde el flujo neto de nitrógeno y fósforo a largo plazo es hacia el exterior del sistema (Falcão y Vale 2003). Y concuerda con lugares con tiempos de residencia cortos en los que los nutrientes suelen exportarse más rápidamente en contraste con aquellos que poseen tiempos de residencia largos (Umgiesser y Zonta 2010).

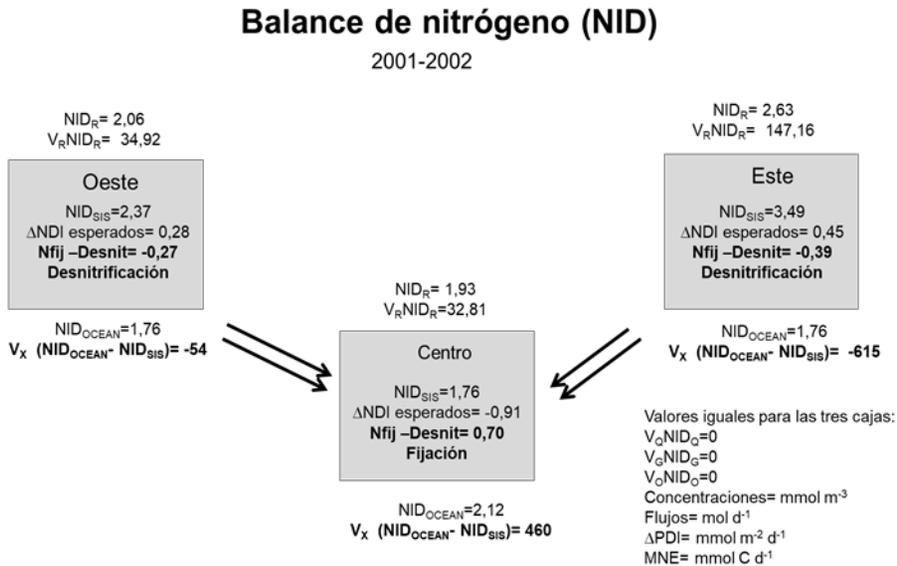


Figura 4. Balance de nitrógeno de la laguna de La Restinga periodo de 2001-2002.

Flujo de fósforo (ΔPID) y Metabolismo neto del ecosistema (MNE)

El ΔPID, tuvo un comportamiento heterogéneo. Los valores fueron positivos en los extremos de la laguna y negativos en el centro. Esta variable (ΔPID) es un reflejo de la materia orgánica planctónica. El signo negativo en sus valores indica que es más rápido el proceso de conversión hacia el material particulado que la remineralización. Mientras que, valores positivos, señalan que hay un exceso de este elemento debido a que los productores no incorporan todo el fósforo, que es remineralizado (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2017).

Por su parte, el metabolismo neto del ecosistema (MNE) es un indicador del estado trófico del área de estudio, ya que muestra la relación entre la producción primaria bruta y la respiración. En el caso de la laguna de La Restinga, los cálculos indican que el centro es autotrófico (MNE signo positivo) mientras que el oeste y el este son heterotróficos (MNE signo negativo) (Fig. 3).

La condición autotrófica es particularmente importante en el metabolismo del oxígeno, ya que significa que los productores (macrofitobentos y fitoplancton) suministran el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica producida y, por lo tanto, mantienen el equilibrio del sistema acuático (Guimaraes y González 2011).

El comportamiento heterogéneo en el MNE coincide con el de otras lagunas costeras como, Las Marites (isla de Margarita, Venezuela) (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia 2018) y la bahía de Magdalena (Colombia), en esta última la variación es

temporal: un MNE autótrofo durante el periodo de surgencia intensa y heterótrofo en surgencia débil (Cervantes 2016).

Flujo de nitrógeno (Δ NID) y relación fijación de N- desnitrificación (Nfij- Desnit)

El Δ NID representa la mínima cantidad de N que debe estar disponible para el MNE (Gordon *et al.* 1996). En la laguna de La Restinga se estimaron Δ NID positivos en los extremos este ($0,45 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$) y oeste ($0,28 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$) (Fig. 4) lo que significa un buen suministro de N para los procesos metabólicos del fitoplancton (Gordon *et al.* 1996). El aspecto más importante de esta variable en el ecosistema es el resultado negativo obtenido en el centro ($0,91 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$). Esto es un indicador de la deficiencia de N en esa zona de la laguna, lo que convierte al N en el elemento limitante para la productividad primaria en el centro del ecosistema. Lo anterior permite suponer qué en el centro hay menos procesos de excreción del zooplancton, descomposición de la materia orgánica y reciclaje a partir de las formas oxidadas o por procesos biogeoquímicos a diferencia del resto de la laguna (Pereira 2007).

Por su parte la relación entre los procesos de fijación del nitrógeno y la desnitrificación (Nfij- Desnit) también es interpretada con base en el signo de los flujos estimados. De esta manera se observó que se produce fijación de N en el centro ($0,70 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$) y desnitrificación en los extremos este ($-0,39 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$) y oeste ($-0,27 \text{ mmol m}^2 \text{ d}^{-1}$) de la laguna (Fig. 4).

La dinámica de los nutrientes en la laguna es dominada por mecanismos de reoalimentación entre el ecosistema y las aguas costeras. Dentro de la laguna, los procesos biogeoquímicos son extremadamente complejos debido a la interacción agua-sedimentos y la competencia bentónica-pelágica de los productores primarios, por lo que es importante mencionar que existen otros factores que no son considerados en la aplicación del modelo, como es el rol de los sedimentos que representan una fuente y un sumidero de N y afectan el ciclo de este nutriente (Falcão y Vale 2003).

Asociación entre las variables estudiadas

El análisis de conglomerado permitió obtener tres grupos de variables claramente relacionadas. Un grupo muestra que el MNE y los procesos de fijación de N y desnitrificación en la laguna están asociados al intercambio debido a la marea: que incorpora agua (V_x), fósforo ($V_x \text{ P}$) y nitrógeno ($V_x \text{ N}$) (Fig. 5A).

Por su parte los flujos netos de N y P no están relacionados con los procesos estudiados (Fig. 5B). Estos resultados indican que existen otros factores, además de los estudiados en esta investigación, que parecen ser más importantes en el flujo total de N y P en la laguna de La Restinga. Estos podrían incluir el intercambio con el sedimento y los aportes debido a la hojarasca y raíces de los manglares que han demostrado ser fuentes netas de nutrientes en lagunas costeras (Dittmar y Lara 2001; Valenzuela *et al.* 2007; Sánchez-Arias *et al.* 2010; Pérez-Ruzafa *et al.* 2019).

En un tercer grupo puede observarse la asociación entre la evaporación, precipitación y los flujos residuales (Fig. 5C). Este comportamiento es predecible ya que, la evaporación y la precipitación son usadas para el cálculo de los flujos. Lo interesante en este caso, es que es evidente que la evaporación influye más en la salinidad (V_{RSR}) y el flujo de agua compensatorio (V_R), mientras que la precipitación incorpora N (V_{RN}) y P (V_{RP}) (Fig. 5C).

Finalmente, el tiempo de residencia (T_R), no parece estar asociado a ninguna variable particular. Esto tal vez es debido al complejo sistema de canales de manglares en la laguna, los cuales restringen el libre movimiento del agua (Monente 1978).

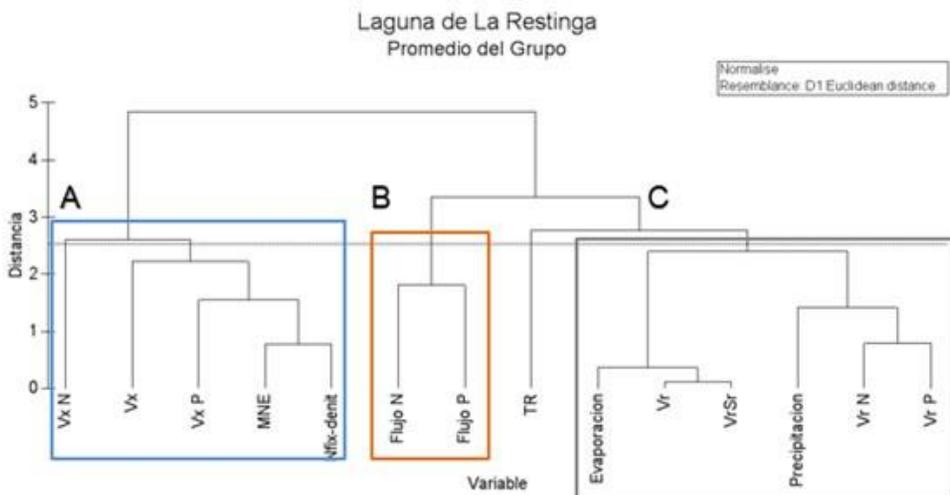


Figura 5. Asociación de variables estudiadas en la laguna de La Restinga

LITERATURA CITADA

ANGUS, S. 2017. Scottish saline lagoons: Impacts and challenges, Estuarine Coast Shelf Sci. 16

ANÓNIMO. 2006. Venezuela, Parque Nacional Laguna de la Restinga. Parkswatch.:34. [Accedido 2018 ene 10]. http://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/lrnp_spa.pdf.

ANTHONY, A., J. ATWOOD, A. GOLD, K. HAGOS, L. HEFFNER, D. Q. KELLOGG, K. LELLIS-DIBBLE Y J. J. OPALUCH. 2009. Coastal Lagoons and Climate Change: Ecological and Social Ramifications in the U. S. Atlantic and Gulf Coast Ecosystems Authors. Ecol Soc. 14(1).

ARAUJO, J., P. GUEVARA, F. BUITRAGO, F. VELÁSQUEZ. 2008. Seguimiento de eco- sistemas fuertemente afectados por la intervención humana y factores climáticos: La- gunas costeras y playas del Estado Nueva Esparta. Capítulo 1 Morfodinámica, sedi- mentología, geoquímica y dinámica sedimentaria. Fund La Salle – Conoc Phillips Inf Final.: 4.2.3-1 – 4.2.3-20.

BUDDERMIER, R., S. SMIT, D. SWANEY, C. CROSSLAND. 2002. The role of the coastal ocean in the disturbed and undisturbed nutrient and carbon cycles. LOICZ Reports y Studies No. 24. LOICZ. En: Texel, The Netherlands. p. 83.

BUITRAGO, E., K. LUNAR, P. MORENO. 2002. Cultivo piloto de la ostra de man- gle *Crassostrea rhizophorae* (Guilding, 1828) en la Laguna de La Restinga, Isla de Margarita. Mem Fund La Salle Cienc Nat. 154: 25-38.

CAFFREY, J. 2004. Factors Controlling Net Ecosystem Metabolism in U. S. Estuaries. Estuaries. 27(1): 90-101.

CASTILLO, R. 2003. Estructura comunitaria del fitoplancton de la laguna de La Restinga y su relación con las condiciones hidrográficas durante el periodo de surgencia costera (noviembre 2001 hasta mayo, 2002). Boca del Río: Universidad de Oriente, Departamento de Acuicultura [Disertación Grado Licenciado en Biología Marina]. p. 77.

CERVANTES, R. 2016. Flujo de nutrientes y metabolismo neto de una laguna costera del SW de la península de Baja California, México. Bio Ciencias. 52(01): 104-115.

CONAN, P., M. PUJO-PAY, M. AGAB, L. CALVA-BENÍTEZ, S. CHIFFLET, P. DOUILLET, C. DUSSUD, R. FICHEZ, C. GRENZ, F. MENDIETA, M. ORIGEL-MORENO, A. RODRÍGUEZ-BLANCO, C. SAURET, T. SEVERIN, M. TEDETTI, R. TORRES ALVARADO y J. F. GHIGLIONE 2017. Biogeochemical cycling and phyto- and bacterioplankton communities in a large and shallow tropical lagoon (Términos Lagoon , Mexico) under 2009–2010 El Niño Modoki drought conditions. Biogeosci Discuss. 14: 959-975.

DITTMAR, T. y R. LARA. 2001. Do mangroves rather than rivers provide nutrients to coastal environments south of the Amazon River Evidence from long-term flux measurements. Mar Ecol Prog Ser. 213: 67-77.

FALCÃO M. y C. VALE. 2003. Nutrient dynamics in a coastal lagoon (Ria Formosa, Portugal): The importance of lagoon–sea water exchanges on the biological productivity. *Cienc Mar.* 29(3): 425-433.

GÓMEZ, A. 1991. Interacción entre un estuario negativo (Laguna de La Restinga, Isla de Margarita) y el mar Caribe adyacente. *Boletín del Inst Ocean Venez.* 30(1-2): 47-55.

GORDON D., P. BOUDREAU, K. MANN, J. ONG, W. SILVERT, S V. SMITH, G. WATTAYAKORN, F. WULFF, AND T. YANAGI. 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ Reports Stud No 5, Netherlands Inst Sea Res Den Burg, Netherlands.: 96.

GUERRA-CASTRO, E., J. CRUZ-MOTTA, y J. CONDE. 2011. Cuantificación de la Diversidad de Especies Incrustantes Asociadas a las Raíces de *Rhizophora mangle* L. en el Parque Nacional Laguna de la Restinga. *Interciencia.* 36:923-930.

GUERRA, E., P. YOUNG, A. PÉREZ-VÁZQUEZ, S. CARTERON y A. ALVIZU. 2011. Spatial variability and human disturbance of sponge assemblages associated with mangrove roots in the southern Caribbean. *Mar Freshw Res.* 62(5): 491-501.

GUIMARAIS, M. Y R. GONZÁLEZ. 2011. Productividad primaria en Laguna Larga, cayo Coco, Cuba. *Rev Mar Cost.* 3: 31-41.

HERRERA-SILVEIRA, J. 2006. Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): investigación, diagnóstico y manejo. *Ecotropicos.* 19(2): 94-108. doi: 94-108 2006.

Hoyos, J. 1985. Flora de la isla Margarita. En: Flora de la isla de Margarita. Venezuela. Sociedad y Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Monografía No 34. p. 277.

KJERFVE, B., CAF. SCHETTINI, B. KNOPPERS, G. LESSA Y HO. FERREIRA. 1996. Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuar Coast Shelf Sci.* 42(6): 701-725.

LARA-LARA, J., M. ILEANA, E. CARBAJAL, M. GUZMÁN, A. LYDIA, M. LÓPEZ, H. ENRIQUE, A. MELING, L. PATRICIA, P. MORENO-CASASOLA-BARCELÓ, H. REYES-BONILLA, E. RÍOS-JARA y J. ZERTUCHE. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En: Capital Natural de México. Vol. I. México. p. 109-134.

LENTINO, M. y A. BRUNI. 1994. Humedales costeros de Venezuela: situación ambiental. En: Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela. Caracas. p. 188.

LÓPEZ-MONROY, F. y L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2014. Aproximación sobre la climatología de la isla de Margarita y su importancia en los procesos oceánicos. *Saber.* 26(4): 465-471.

LÓPEZ-MONROY, F., Y L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2017. Modelaje de la interacción entre la laguna costera tropical Las Marites (isla de Margarita, Venezuela) y el Mar Caribe adyacente. *Saber*. 29: 534-545.

LÓPEZ-MONROY, F., Y L. TROCCOLI-GHINAGLIA. 2018. Aplicación de índices de estado trófico en la laguna costera tropical las Marites (Isla de Margarita, Venezuela). *Saber*. 30: 151-159.

LOZA, S, M. SÁNCHEZ, M. CARMENATE, Y D. SIQUEIROS. 2011. Adición a la microflora de diatomeas de las aguas marinas de Cuba. Addition to diatom microflora in Cuban marine waters. *Ser Ocean*. (8): 59-64.

MALHADAS, M, A. SILVA, P. LEITÃO, R. NEVES. 2009. Effect of the Bathymetric Changes on the Hydrodynamic and Residence Time Effect of the Bathymetric Changes on the Hydrodynamic and Residence Time in Óbidos Lagoon (Portugal). *J Coast Res*. 56: 549-553.

MARINOV, D., S. MILADINOVA, J. MARINSKI. 2014. Assessment of material fluxes in aquatorium of Burgas Port (Bulgarian black sea coast) by LOICZ biogeochemical model. En: 3rdIAHR Europe Congress, Book of Proceedings. Portugal. p. 1-10.

MARN, 1974. Decreto No 1591: Creación del Parque Nacional “Laguna de la Restinga”. *Gaceta Oficial* N° 30.325, 6 de febrero de 1974.

MCMANUS, L., S. SMITH, R. BUDDEMEIER. 2003. Biophysical and socio-economic assessments of the coastal zone: the LOICZ approach. *Ocean Coast Manag*. 46(3-4): 323-333.

MENDOZA, S. 2010. Características físico químicas de la laguna La Restinga. Boca del Río: Universidad de Oriente, Departamento de Acuicultura [Requisito Parcial Aprobatorio de la asignatura Seminario]. p. 54.

MENDOZA, S. 2012. Caracterización de los sedimentos superficiales de la laguna de La Restinga, isla de Margarita, Venezuela. Boca del Río: Universidad de Oriente, Departamento de Acuicultura [Disertación Grado Licenciado en Biología Marina]. p. p 84.

MONENTE, J. 1978. Estudio químico y físico de la laguna de La Restinga. *Boletín del Inst Ocean Venez*. 83: 307.

MORALES, G. 2016. Dinámica sedimentaria de la laguna de La Restinga. Boca del Río: Universidad de Oriente, Departamento de Acuicultura [Disertación Grado Licenciado en Biología Marina]. p. 49.

PEREIRA, Y. 2007. Caracterización hidrográfica de la Bahía de Boca del Río durante el período de marea alta (septiembre-noviembre 2006) y marea baja (marzo-mayo 2007). Boca del Río: Universidad de Oriente, Departamento de Acuicultura [Disertación Grado Licenciado en Biología Marina]. p. 55.

PÉREZ-RUZAFÁ, A., IM. PÉREZ-RUZAFÁ, A. NEWTON Y C. MARCOS. 2019. Coastal Lagoons: Environmental Variability, Ecosystem Complexity, and Goods and Services Uniformity. En: Coasts and Estuaries. Elsevier Inc. p. 253-276.

RAMSAR, 2017. La Lista de Humedales de Importancia Internacional. (SECRETARIAT RAMSAR CONVENTION). p. 55.

REDFIELD, A. 1934. On the proportions of organic derivatives in seawater and their relation to the composition of plankton. James Johnstone Meml Vol Liverpool.: 177- 192.

SALAZAR, J. 2009. Parque Nacional Laguna La Restinga. EcoCria. 4:11.

SALAZAR, J., J. ROSAS Y J. RODRÍGUEZ. 2003. Condiciones Sedimentológicas de la Laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. Interciencia. 28(1): 44-50.

SÁNCHEZ-ARIAS, L., J. PAOLINI Y J. RODRÍGUEZ. 2010. Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) en Isla de Margarita, Venezuela. Rev Biol Trop. 58(2): 547-564.

SOARES, S. 2016. Importância do balanço hídrico na circulação de um estuário do semiárido: o estuário do rio Coreaú (nw/Ceará/Brasil). Universidade Federal do Ceará, Disertación título de Pós-Graduação Ciências Marinhas Tropicais. p. 163.

SWANEY, D., S. SMITH Y F. WULFF. 2011. The LOICZ biogeochemical modeling protocol and its application to estuarine ecosystems. En: Wolanski, E., McLusky, D (Eds.), Treatise on estuarine and coastal science. Academic Press, Waltham. (Capítulo 9.08). p. 135–159.

TAPIA-GARCÍA, M., M. GARCÍA-ABAD, F. PENAGOS-GARCÍA, J. MORENO RUIZ, L. JUÁREZ HERNÁNDEZ, J. RAMÍREZ GUTIÉRREZ, D. HERRERA OLAYO. 2011. Subsistemas hidrológicos de la laguna Mar Muerto, Oaxaca-Chiapas, México. Lacandonia. 5(1): 97-112.

TOVILLA, C., Y G. DE LA LANZA. 2001. Balance hidrológico y de nutrientes en un humedal costero del Pacífico Sur de México. Hidrobiológica. 11(2): 133-140.

TROCCOLI, L., J. HERRERA-SILVEIRA, Y J. SALAZAR. 1999. Laguna de La Restinga, Venezuela. En: Smith S, Marshall-Crossland J, Crossland C. (Eds.). Mexican and Central American Coastal Lagoon Systems: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes (Regional Workshop II), LOICZ Reports y Studies No. 13. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands. p. 115.

UMGIESSER, G., R. ZONTA. 2010. Classification and physical attributes of wetlands and their interaction with pollutant inputs. NEAR Curri. Nat Envir Sci. 88(1): 79-87.

VALENZUELA, M., A. ARREOLA, S. SÁNCHEZ, Y G. PADILLA. 2007. Flujos de nutrientes y metabolismo neto de la laguna costera Lobos, México. Hidrobiológica. 17(3): 193- 202.

VILLATE, F. Y A. RUIZ. 1989. Caracterización geomorfología e hidrológica de cinco sistemas estuáricos del país Vasco. Kobie. XVIII: 157-170.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

**BOLETÍN DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS**

Vol. 54 N° 2 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en Diciembre de 2020, por el **Fondo Editorial Serbiluz,**
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*