


Article:

Physical-chemical variables evaluation in Venezuelan coastal lagoons

Alexandra Natera* , Fabiola López, Amalia Barceló
Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente,
Nueva Esparta, Venezuela.

Recibido: febrero, 2020,

Aceptado: agosto, 2020.

*Autor para correspondencia: A. Natera e-mail: alexandranatera21@gmail.com .

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4281246>

Abstract

Given the importance of coastal lagoons for being one of the most productive ecosystems in the world, it is necessary to carry out a temporary evaluation of the physical-chemical variables in order to organize and analyze the information already existing in the Ministry of Popular Power to Ecosocialismo y Aguas (Minea), to test if these variables changed during the period 2005-2016. The study was carried out in four lagoons of the Nueva Esparta state. The samplings in each lagoon were carried out three times a week during the beginning, middle and end of each year. The determinations of dissolved oxygen, pH, temperature and salinity were made with a multiparametric probe, for nitrite + nitrate and turbidity, the colorimetric method was used and for phosphorus the ascorbic acid method. The total suspended solids and total solids were analyzed by the gravimetric method. The Punta de Piedras lagoon presented the greatest variation in the temporal distribution of its variables, followed by Los Mártires and La Restinga. The Los Mártires lagoon, with a greater number of variables, exceeded the limits established in Decree No. 883.

Keywords: coastal lagoons; physicochemical variables; water quality control.

Artículo:

Evaluación de variables físico-químicas en lagunas costeras venezolanas

Resumen

Dada la importancia que tienen las lagunas costeras por ser uno de los ecosistemas más productivos del mundo, es necesario realizar una evaluación temporal de las variables físico-químicas con el fin de organizar y analizar la información ya existente en el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas (Minea), para probar si estas variables cambiaron durante el período 2005–2016. El estudio fue realizado en cuatro lagunas del estado Nueva Esparta. Los muestreos en cada laguna se realizaron tres veces por semana durante el principio, mediados y final de cada año. Las determinaciones de oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad se realizaron con una sonda multiparamétrica, para el nitrito+nitrato y la turbidez, se utilizó el método colorimétrico y para el fósforo el método del ácido ascórbico. Los sólidos suspendidos totales y sólidos totales, se analizaron mediante el método gravimétrico. La laguna de Punta de Piedras presentó la mayor variación en la distribución temporal de sus variables, seguida por Los Mártires y La Restinga. La laguna de Los Mártires sobrepasó con mayor número de variables los límites establecidos en el Decreto Nro. 883.

Palabras clave: lagunas costeras; variables físico-químicas; control de calidad de aguas.

1. Introducción

Las lagunas costeras son depresiones que se dan en la costa, con poca profundidad, y que pueden tener comunicación con el mar, pero están separadas de él por una barrera de arena más o menos extensa [1]. Ocupan el 13% de la línea de la costa del planeta y presentan diferentes tamaños, biotas, flujos de energía y régimen en sus aguas. Su productividad varía de acuerdo al productor primario presente, el año y las características físico-químicas del agua [2].

En este orden de ideas, las variables físico-químicas en las lagunas costeras juegan un rol importante dentro del buen mantenimiento y control de la calidad del agua. Variables como sólidos suspendidos totales, sólidos totales, nitritos+nitratos, fósforo y turbidez son determinantes del grado de contaminación tanto orgánica como inorgánica de estos cuerpos de agua [3]. Otras variables como pH, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto, contribuyen a acelerar o desacelerar la contaminación.

Las lagunas son importantes reservorios naturales, que sirven de hábitat y refugio a muchas especies marinas debido a la disponibilidad de alimento que poseen estos ecosistemas [4]. Inclusive, las lagunas también se encargan de la fertilización del agua de mar adyacente mediante la producción de materia orgánica y actúan como filtros de materiales orgánicos e inorgánicos que vienen de ríos, atmósfera y océanos [5].

Las ventajas naturales que ofrecen las lagunas ha provocado que las mismas sean aprovechadas por el hombre, esto ha conllevado a un gran impacto antropogénico y contaminación puntual o difusa de estos cuerpos de agua. Debido al mal uso y manejo de las lagunas costeras se han generado pérdidas en la cobertura de manglar, mortandad masiva en algunos organismos y hasta el desarrollo de mareas rojas [6]. Por efecto del hombre, se ha generado contaminación por aguas servidas que muchas veces no son tratadas en plantas de tratamiento, por acumulación de desechos sólidos en los alrededores o dentro de la laguna y hasta por pesquerías no reguladas [7].

Según el Decreto Nro. 883, sobre las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos,

el agua de las lagunas se clasifica según su uso como tipo 3, destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos, o tipo 4, aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia. Este instrumento legal establece los límites o rangos permisibles de las principales variables físico-químicas que son evaluadas por las autoridades en materia ambiental [8].

En el estado Nueva Esparta la frecuente descarga de aguas servidas de origen urbano, es la mayor amenaza de contaminación en las lagunas costeras, principalmente debido a que contribuye a la eutrofización del sistema lagunar causando el aumento excesivo de la cantidad de nutrientes en el agua [1]. Cabe destacar que la evaluación de las variables físico-químicas y el monitoreo periódico de las lagunas costeras en el estado Nueva Esparta es de importancia fundamental para su conservación y manejo adecuado, ya que permite caracterizar el ambiente, detectar alteraciones causadas por la contaminación o intervención de las lagunas, y en algunos casos, precisar las posibles fuentes de perturbación [9].

En Nueva Esparta existen un total de 11 lagunas costeras que son monitoreadas por MINEA: laguna de La Restinga, La Acequia, Los Mártires, Punta de Piedras, Boca de Palo, Caño El Cardón, El Morro, El Yaque, Las Marites, Zaragoza y laguna de Raya, de las cuales las seleccionadas para la evaluación de las variables físico-químicas son: laguna de La Restinga debido a que presenta un impacto antropogénico por las descargas constantes de aguas residuales de origen urbano recibidas en el sector de Piedras Negras dentro de la poligonal del Parque Nacional [10]; la laguna de La Acequia presenta una elevada eutrofización causada por las descargas puntuales de aguas servidas proveniente de la planta de tratamiento de la comunidad de Boca de Río, la cual se encuentra adyacente a este cuerpo de agua. A su vez, la laguna de Punta de Piedras se encuentra amenazada por la acumulación de desechos sólidos en los alrededores y dentro de la laguna [10], y la laguna de Los Mártires se encuentra contaminada por descargas de aguas no tratadas que provienen de las regiones cercanas y por descargas de aguas provenientes de la Planta de Tratamiento de Juan Griego [11].

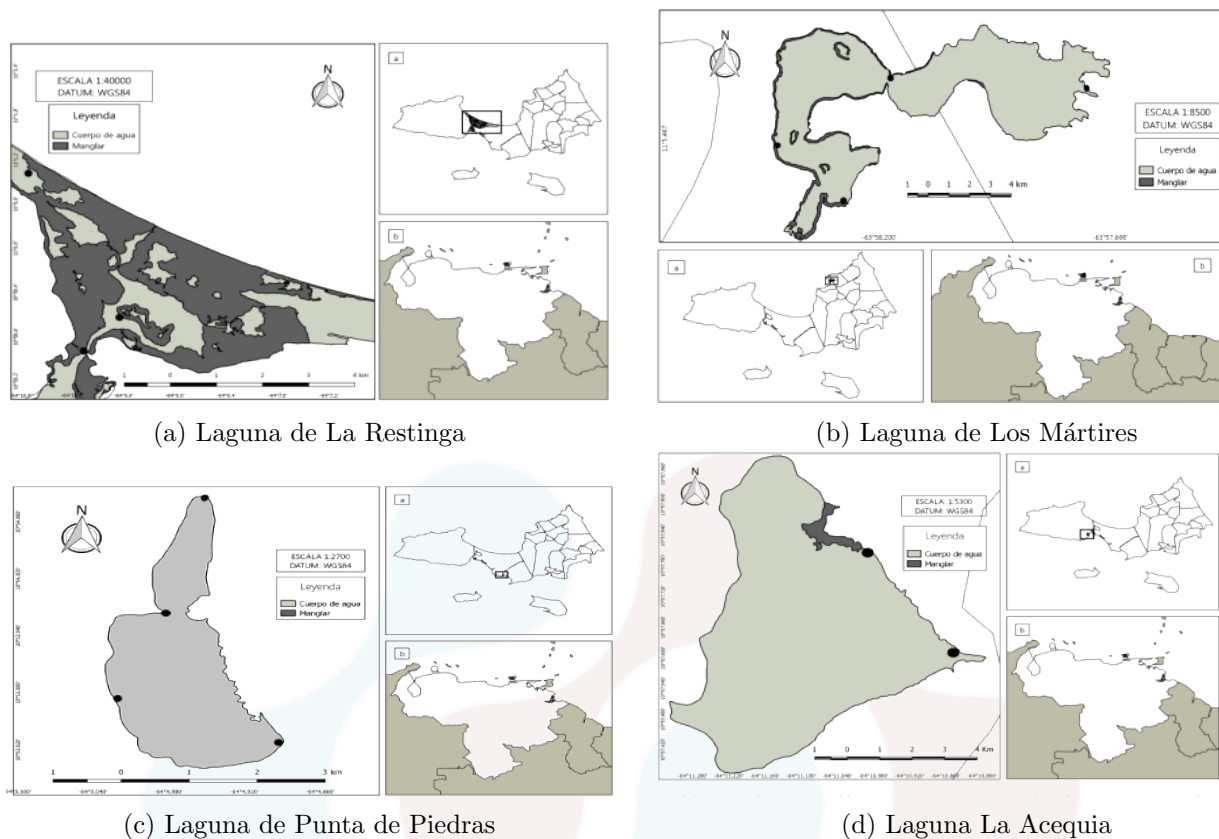


Figura 1: Ubicación geográfica de las lagunas en estudio.

(● Estaciones de toma de muestra.)

Dada la importancia que tienen las lagunas costeras como La Restinga, Los Mártires, Punta de Piedras y La Acequia desde el punto de vista ecológico por ser uno de los ecosistemas más productivos del mundo, que cumplen funciones importantes como trampas de sedimentos, regulación de flujos de agua y fijación de carbono, es importante realizar una evaluación temporal de las variables físico-químicas con el fin de organizar y analizar la información ya existente en el Minea para probar si éstas variables cambian durante los años de muestreo. En este sentido, la meta de este trabajo es evaluar la variación temporal de las variables físico-químicas en cuatro lagunas costeras (La Restinga, Los Mártires, Punta de Piedras y La Acequia), de la isla de Margarita, estado Nueva Esparta durante el período 2005-2016.

2. Materiales y métodos

Los datos de las variables físico-químicas de las lagunas presentes en la investigación fueron suministrados por el Minea, específicamente por el Laboratorio de Calidad Ambiental, Unidad que se encuentra adscrita a la Coordinación de Manejo de Residuos y Desechos. La información generada durante el período 2005-2016 está basada en las técnicas descritas en el APHA AWWA WEF (2005). Los puntos (●) en las Figuras 1 indican las diferentes estaciones donde se realizó la toma de muestras de agua para cada laguna.

Área de estudio

La laguna de La Restinga está localizada en el sureste del Mar Caribe en la isla de Margarita, entre los 11°2,4' N -64°10.8' O y los 11°1,2' N -64°7,2' O (Figura 1a). Fue declarada en 1974 como Parque Nacional según Decreto Nro. 1591 (República de Venezuela 1974). Es de forma triangular y se comunica con el mar por una boca o canal de 800 m de largo, de 80 a 100 m de ancho, con profundidad aproximada de 6 m [12].

La laguna de Los Mártires se encuentra al nororiente de la isla de Margarita, específicamente al norte de ciudad de Juan Griego, entre las bahías de Juan Griego y La Galera del estado Nueva Esparta, entre los 11°5.467' N -63°58.200' O y los 11°5.467' N -63°58.600' O (Figura 1b). Es considerada Zona Protegida de acuerdo al Decreto Nro. 2535 de 9 de noviembre de 1988 [13].

La laguna de Punta de Piedras se encuentra en la población de Punta de Piedras en el Municipio Tubores, en la costa meridional de la isla de Margarita, entre los 10°54.060' N -64°4.860' O y 10°53.940' N -64°4.920' O (Figura 1c). Forma parte del Monumento Natural “Tetas de María Guevara”. Tiene un área total de 76,18 ha [4].

La laguna de La Acequia está ubicada al suroeste de la Isla de Margarita, entre los 10°57.960' N -64°11.280' O y 10°57.660' N -64°10.800' O, específicamente entre el Sector Carujo y el Sector Caracas de la población de Boca de Río, capital del Municipio Península de Macanao, estado Nueva Esparta (Figura 1d); y posee una longitud de 1390 m [14].

Datos de la muestra

A partir de la información facilitada por el Minea, los muestreos en cada laguna se realizaron tres veces por semana durante el principio, mediados y final de cada año. Las muestras de agua fueron tomadas desde diferentes estaciones marcadas para cada laguna. En el caso de la laguna de La Restinga se tomaron tres estaciones (Figura 1a); en la laguna Los Mártires y laguna de Punta de Piedras se establecieron cuatro estaciones en las mismas (Figura 1b y 1c). Por su parte, en la laguna de La Acequia, se tomaron dos estaciones (Figura 1d). Las

estaciones son las mismas donde se han realizado los muestreos en años anteriores (Tabla 1).

Tabla 1: Lagunas con sus respectivas estaciones de muestreo

Laguna	Estaciones
La Restinga	El Indio Centro La Tortuga
Los Mártires	Planta de Tratamiento Boca Hotel Playa Caribe Brisas de Altagracia
Punta de Piedras	Boca Paseo Esther Gil Laguna Juan Benito Atolladar
La Acequia	Boca Planta de Tratamiento

Variables físico-químicas

Las determinaciones de oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad se realizaron con una sonda multiparamétrica YSI 600R acoplada a un capturador de datos YSI 650 DMS.

Para la determinación de nitrito+nitrato, se utilizó el método colorimétrico presente en el HACH DR/2010 Spectrophotometer handbook. Method 8507, siguiendo lo establecido en las normas COVENIN 2634 [15].

El fósforo fue determinado con el método del ácido ascórbico (4500-P E), descrito en el APHA AWWA WEF (2005).

Para el análisis de los sólidos suspendidos totales (2540-D) y sólidos totales (2540- B), se utilizó el método gravimétrico señalado en el APHA AWWA WEF (2005) siguiendo las normas COVENIN 2634 [15].

La turbidez del agua se obtuvo mediante el método colorimétrico presente en el HACH DR/2010 Spectrophotometer handbook. El análisis se realizó tomando en cuenta los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración COVENIN 2634 [15].

Análisis estadístico

La evaluación de la hipótesis de la distribución del oxígeno disuelto, pH, temperatura, salinidad, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, turbidez, nitrito+nitrato y fósforo en cada una de las lagunas estudiadas y su variación con el tiempo, se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, utilizando como factor los años muestreados, y luego se aplicó una prueba a posteriori de comparación de múltiples rangos representada mediante gráficos de medias e intervalos de Bonferroni. Para comparar los valores obtenidos de los análisis estadísticos con los valores permitidos para aguas marinas en la legislación venezolana, se utilizaron los rangos establecidos en las Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, el Decreto Nro. 883 (Tabla 2). A los datos tomados de la laguna de La Acequia no se les realizó el análisis de varianza debido a que solo se obtuvieron dos muestras por año, lo cual no se considera una muestra representativa para el estudio.

Tabla 2: Límites o rangos máximos permitidos para aguas marinas (tipo 4) según el Decreto Nro. 883.

Variable	Límite o rango máximo
pH	6,5 - 8,5
Oxígeno disuelto	Mayor a 5,0 (mg/l)
Sólidos suspendidos totales	80 (mg/l)
Nitritos+nitratos	10 (mg/l)
Fósforo total	10 (mg/l)
Sólidos totales	1600 (mg/l)

3. Resultados y discusión

El resumen de los resultados del ANOVA de las variables físico-químicas están expuestos en la Tabla 3.

Laguna de La Restinga

En la laguna de La Restinga, la temperatura máxima fue de 26,4°C correspondiente al muestreo realizado a principios del mes de mayo de 2008, mientras que la temperatura más baja, 21,7°C,

correspondió al mes de mayo de 2014. La temperatura más alta y la más baja, están directamente relacionadas con la profundidad del cuerpo de agua, por lo que, la luz solar calienta las aguas más superficiales, generando una capa de agua tibia y menos densa sobre una capa de agua más fría y densa [16]. Cabe destacar que la temperatura máxima, se obtuvo en un punto de la laguna con aguas más someras (La Tortuga), mientras que el valor mínimo de temperatura se obtuvo en el punto del centro de la laguna donde existe una mayor profundidad.

El mes de mayo forma parte de la época de sequía y, a su vez, el período de aguas bajas, razón por la cual se observaron las temperaturas más altas y más bajas en este mes. Según Ríos *et al* [16], en este período la fuerte irradiación solar produce el calentamiento de la capa superficial de la columna de agua hasta los 40 cm de profundidad, resultando en la disminución de la temperatura del agua en las zonas con mayor profundidad debido a la poca acción de los vientos y aumento de la nubosidad.

En cuanto al pH, el rango obtenido (7,78 – 8,50), se mantuvo dentro del límite máximo permitido establecido en el Decreto Nro. 883 para aguas marinas (Tipo 4). Las variaciones de pH en un cuerpo de agua pueden ocurrir dentro de unos límites muy estrechos por efecto de la actividad fotosintética, la respiración celular y el efecto de descargas antropogénicas [17].

La variable salinidad presentó un promedio anual de 3,908 ‰, donde el valor máximo de 4,000 ‰ está relacionado con el calentamiento de las aguas superficiales por la radiación solar y con el afloramiento de las aguas subsuperficiales más densas hacia la superficie [17]. Los meses febrero – junio corresponden al período de sequía, época de intensos vientos que permiten el ascenso de aguas profundas, por su parte, los meses de septiembre – octubre son de más precipitaciones, es por esta razón que la salinidad más baja de 3,500 ‰ se encontró durante este período de 2005.

Para el oxígeno disuelto se observó un valor promedio de 4,73 mg/l, donde el valor máximo se considera adecuado para el mantenimiento de la vida de la gran mayoría de las especies de peces y otros organismos acuáticos. Se debe tener en cuenta que el muestreo fue realizado en horas

Tabla 3: Resumen de los resultados del ANOVA de las variables físico-químicas.

Laguna	Variable							
	temp.	pH	Salin.	O. disuelto	S. en suspensión	nitratos+nitritos	P totales	S. Totales
La Restinga	DS	NDS	DS	DS	DS *	DS	DS	DS *
Los Mártires	DS	NDS *	NDS	DS *	DS *	DS	DS *	NDS *
Pta. Piedras	DS	DS *	DS	DS	DS *	DS	DS	NDS *

Notación

DS: Hay diferencia significativa entre los valores de los diferentes años

NDS: No hay diferencia significativa entre los valores de los diferentes años

*: No cumple con Decreto Nro. 883 (ver Tabla 2)

de la mañana. Bain y Stevenson [18] explicaron en su investigación que durante el día suelen encontrarse concentraciones mayores de oxígeno disuelto, cuando la fotosíntesis llega a sus mayores niveles luego del medio día. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de lo contaminado que está un cuerpo de agua y a su vez, puede indicar si ese cuerpo de agua puede aportar buen soporte a la vida vegetal y animal del mismo. Un nivel de oxígeno disuelto alto indica un agua de mejor calidad. Por otra parte, los niveles bajos pueden ser dañinos para los organismos acuáticos y pueden relacionarse con la temperatura del agua como lo menciona Peña [19] quien encontró que un agua más caliente puede retener menos oxígeno en ella que el agua más fría, lo que explica el valor hipóxico de oxígeno encontrado en el punto La Tortuga de la laguna.

Los sólidos suspendidos totales tuvieron un valor promedio de 14304,7 mg/l. El aumento de los sólidos suspendidos totales puede atribuirse principalmente al impacto antropogénico, debido a que en el año 2014 ya se habían comenzado los trabajos para la construcción del segundo puente sobre la laguna, lo que causó un impacto ambiental de contaminación por sedimentos en el flujo de agua de la laguna [20].

Para el nitrito+nitrato, el valor máximo registrado fue de 6,03 mg/l para el año 2008 en principios del mes de mayo. Castillo [21] reporta que los valores superiores observados en la Laguna de La Restinga son indicadores de actividades de descomposición de materia orgánica de origen antropogénico y por lo tanto son signos de contaminación. A su vez, en el año 2014 se obtuvo el mínimo valor (0,01 mg/l) durante el muestreo de mayo, lo que indica que se observó una concentración de nitrito+nitrato muy

baja lo que puede considerarse una buena condición del hábitat para los organismos que se encuentran en la laguna [22].

En cuanto al fósforo total, el valor máximo encontrado (5,0 mg/l), se encuentra dentro del promedio estimado para la laguna [23]. Los ortofosfatos pueden retirarse del agua por absorción en sedimentos hasta en un 60 %, por lo que este alto nivel de fósforo puede deberse a procesos de deposición de materia orgánica proveniente de vertidos domésticos, agrícolas e industriales, lo que explica su alta concentración. La laguna de La Restinga es un importante hábitat de aves migratorias y permanentes que pueden representar fuentes importantes de fósforo. A su vez, la actividad antrópica de las poblaciones adyacentes a la laguna también puede representar aportes de ese elemento.

Para los sólidos totales, los altos valores observados muestran la poca circulación del agua, lo cual permite la acumulación de los sólidos en la laguna. A su vez, estos se mantuvieron altos en comparación con los valores obtenidos por Castillo [21] en su estudio realizado en la laguna de La Restinga en el período 2001 – 2002; sin embargo, se debe tener en cuenta las remociones de sedimento ocasionadas por la construcción del segundo puente sobre la laguna de La Restinga, evento que comenzó en noviembre del 2013 y puede relacionarse con el incremento considerable de los sólidos totales durante el año 2014 en la laguna [20].

La turbidez en el agua puede ser causada por la presencia de material sólido en suspensión o disuelto, así como también, por gases, líquidos y otros componentes orgánicos e inorgánicos que pueden causar que el agua pierda su transparencia.

El máximo valor encontrado de turbidez fue de 24 unt, el cual puede considerarse bajo en comparación con los valores que se han encontrado para otras lagunas como Los Mártires (2538 unt) y La Acequia (820 unt). Esta variable es muy importante para la determinación de la calidad del agua y del grado de contaminación de la misma. El informe del Minea del año 2007 [24] señaló que el agua de la laguna se encontró totalmente apta y sin ningún grado significativo de contaminación. En el informe para el año 2014 [25], el valor mínimo de turbidez (1 unt) nos indica que la laguna no presentó alteración alguna en su transparencia por partículas suspendidas, disueltas; esto puede deberse a que la muestra fue tomada en La Tortuga, donde no hay influencia del viento o corrientes dentro de la laguna evitando que haya mezcla de sedimentos o de partículas presentes en el fondo de la laguna.

Laguna Los Mártires

En la laguna de Los Mártires, el mayor valor promedio de temperatura fue de 27,1°C, muy similar al encontrado por Brito y Martínez [26], el cual fue de 27,2°C. La temperatura máxima se registró para el período septiembre–octubre, y la mínima para el mes de noviembre de 2007, lo cual coincide con lo reportado por Gómez [27] quien indica que en los primeros meses del año los vientos son más fuertes y las temperaturas son menores. A su vez, la temperatura baja reportada para el mes de noviembre puede deberse a la influencia permanente del viento en la zona.

En cuanto al pH, las concentraciones resultaron mayores con relación a las encontradas en la laguna de La Restinga y Punta de Piedras. Los altos valores indican que el pH de la laguna es alcalino. A su vez, los mismos pueden ser causados por una elevada cantidad de minerales presentes en la misma a causa de las descargas de agua dulce que recibe, así como de las aguas de escorrentías que transportan compuestos como los carbonatos, que actúan sobre la química del agua, tornando el pH alcalino [1].

Para la salinidad, el valor máximo reportado de 2,950%, está relacionado con la comunicación con el agua de mar que tiene la zona de Brisas de Altagracia, donde se recolectó la muestra. Por su

parte, la salinidad mínima (0,380 %) se encontró en la muestra colectada en la planta de tratamiento adyacente a la laguna, lo que explica el bajo promedio de salinidad por la frecuente descarga de agua dulce de la planta y del río El Toro. La laguna de Los Mártires es un cuerpo de agua de baja salinidad en comparación con otras lagunas costeras de Venezuela, debido a que constantemente recibe agua de la planta de tratamiento, mientras que su intercambio de agua con la playa de Juan Griego es bastante limitado [28].

El oxígeno disuelto, se ubicó entre los 0,21 mg/l y los 10,00 mg/l. Según Brito y Martínez [26], en esta laguna los valores altos de oxígeno disuelto pueden explicarse por la gran cantidad de nutrientes aportados por la planta de tratamiento de Juan Griego, poblaciones cercanas y escorrentías, las cuales producen un aumento de la biomasa fitoplanctónica, que aportan oxígeno al cuerpo de agua a través del proceso fotosintético. A su vez, el valor mínimo reportado de esta variable se encontró en la boca de la laguna, zona que se encuentra altamente impactada por las descargas de aguas servidas provenientes de la planta de tratamiento. Esto, aunado al consumo de oxígeno producto de la degradación de materia orgánica, y a la actividad bacteriana, causan condiciones hipóxicas que pueden afectar a los organismos que allí habitan [1].

En cuanto a los sólidos suspendidos totales, los valores reportados se mostraron bastante elevados en el año 2014, se debe tener en cuenta que la muestra se tomó detrás del hotel Playa Caribe, donde existe un impacto ambiental por aguas servidas de origen antropogénico y por las descargas de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento [25]. Estas altas concentraciones son características de las lagunas costeras de la isla de Margarita, debido a que son aguas turbias con un alto contenido de sólidos suspendidos, que son ocasionados generalmente por la poca profundidad del cuerpo de agua, lo que favorece la resuspensión de los sedimentos por efecto del viento, lo que puede llegar a afectar la composición química del agua. Las concentraciones se consideran altas con relación a las señaladas por Castillo [21] para la laguna de La Restinga (150,0 mg/l), y por Pereira [7] para la laguna de Punta de Piedras (82,7 mg/l).

Esta laguna, por estar ubicada en una zona urbana recibe constantes aportes de aguas de escorrentía y descargas de aguas residuales y domésticas, lo que provoca el aumento de la concentración de los sedimentos y la acumulación de materia orgánica.

Para nitritos+nitratos, las concentraciones presentaron un incremento significativo a partir del año 2008, las mismas se consideran altas en relación con las reportadas por Fontanive *et al* [1], quienes explicaron que uno de los mayores aportes de nitritos+nitratos en la laguna lo representa la planta de tratamiento de Juan Griego, lo cual se evidencia en la abundancia detectada en la muestra tomada detrás del hotel Playa Caribe, región cercana a la mencionada planta. Los elevados valores de estas variables pueden ser causados por la oxidación del nitrógeno inorgánico, lo cual es favorecido por altas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, tal y como se observó durante el período de estudio.

Los valores de fósforo total estuvieron entre 0,4 mg/l y los 10,0 mg/l respectivamente, reportado para la estación de la planta de tratamiento de Juan Griego. Cabe destacar, que la elevada concentración de fósforo está relacionada con la gran cantidad de nutrientes aportado al medio por el incremento de la descarga de aguas residuales, a su vez, las lagunas costeras se ven afectadas por los procesos de resuspensión de los sedimentos y remineralización que se producen en estos ambientes por efecto del viento y las bajas profundidades. Las concentraciones observadas se consideran altas en relación con las reportadas por Fontanive *et al.* [1] y Britto y Martínez [26].

Por otro lado, los sólidos totales presentaron valores entre los 5080 mg/l y los 39525 mg/l. El valor máximo reportado para el mes de julio coincide con Britto y Martínez [26], quienes explicaron que este mes coincidió con la temporada vacacional, durante la cual, la planta de tratamiento no poseía la capacidad para tratar las grandes cantidades de aguas utilizadas por los turistas, y la población de dicha ciudad, razón por la cual, es posible que dichos efluentes fueran vertidos a la laguna de Los Mártires sin ningún tratamiento previo.

El valor máximo registrado de turbidez fue de 2538 unt, y está relacionado con el aumento de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos.

Según Cordero [29], el material orgánico disuelto procedente de vegetación en descomposición y ciertas sustancias orgánicas, puede colorear el agua. La turbidez se debe a la presencia de materiales suspendidos como arcilla, limo, y partículas de otros materiales en el agua, lo que se evidenció en los altos valores de turbidez registrados para esta laguna.

Laguna de Punta de Piedra

La laguna de Punta de Piedras presentó un rango de temperatura entre 22,0°C y 33,4°C. El valor máximo se reportó para el período de septiembre–octubre, en el centro de la laguna, donde la incidencia de luz solar es mayor, y por ende la temperatura es más elevada que en los otros puntos de la laguna; los valores son similares a los reportados por Voltolina y Voltolina [30], y Ramírez [4] para este mismo cuerpo de agua. Pereira [7] indicó que en este cuerpo de agua se identifican dos épocas claramente identificadas, una entre junio–noviembre donde se pueden observar las temperaturas máximas y otra desde noviembre a marzo que corresponde a las temperaturas mínimas, lo que coincide con el rango obtenido en este estudio, donde la temperatura mínima se registró en el mes de diciembre.

En relación con el pH, se observó un incremento de la variable en el año 2014, en la estación del paseo Esther Gil. Esta concentración máxima reportada (8,84), está relacionada con la influencia de la descarga de aguas servidas de origen antropogénico, y los desechos vertidos por las embarcaciones que llegan a esa zona. Los valores obtenidos son altos con relación con los reportados por Mata [31].

Con respecto a la salinidad, el rango para esta variable osciló entre 3,370–4,000 ‰ y la mayor salinidad se reportó para octubre del año 2007. Mata [31], reportó los máximos valores de salinidad en este mismo mes para esta laguna y Pereira [7], indicó que las salinidades superiores generalmente se hallan en los meses de junio, agosto y octubre. Se debe destacar que los altos valores de salinidad pueden estar influenciados por la intensidad de luz solar, y por la poca profundidad que posee la laguna. A su vez, la constante descarga de aguas de la red de alcantarillado de la población cercana, y la salinidad

de los suelos adyacentes arrastrados por las lluvias hacia la laguna, podrían explicar los altos valores obtenidos de salinidad en este cuerpo de agua.

El oxígeno disuelto presentó un incremento en el mes de noviembre del año 2006, en la región cercana a la boca de la laguna. Según Pereira [7], las concentraciones máximas encontradas en la boca o entrada de la laguna puede deberse a la poca profundidad de esa zona del cuerpo de agua. Por su parte, el valor mínimo de OD (1,63 mg/l) fue reportado en la zona de Atolladar, región que recibe constantes descargas de aguas servidas provenientes de la comunidad de Punta de Piedras, lo que acarrea un deterioro ambiental y contaminación microbiana que trae como consecuencia un aumento de la demanda química de oxígeno para degradar la materia orgánica presente. De acuerdo a Rabalais y Turner [32] en sistemas estuarinos, los valores menores a 2,00 mg/l son considerados niveles de hipoxia, que pueden afectar la distribución, ocurrencia y metabolismo de los seres vivos.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales, los valores obtenidos son altos en relación con el valor permitido (80 mg/l) en el Decreto Nro. 883. El valor máximo se reportó en Atolladar. En esta zona, y en la laguna en general, el deterioro observado, no solo se debe a la acumulación de desechos orgánicos e inorgánicos dentro y en la orilla del cuerpo lagunar, sino también, a la presencia de un gran número de manglares muertos producto de la tala de los mismos para la construcción de las rancharías que se encuentran cercanas a la laguna. Las lagunas costeras de la isla de Margarita se caracterizan por presentar aguas turbias, con un elevado contenido de sólidos suspendidos que son causados por la alta productividad y por factores como el viento y la acción de las mareas que permiten que los sedimentos sean suspendidos [7, 31].

Para nitrito+nitrato, el valor máximo se reportó en el mes de mayo del año 2008. El promedio anual obtenido es similar al determinado por Pereira [7] de 2,95 mg/l para este mismo cuerpo lagunar. Esta variable presenta poca estabilidad en el agua de mar, por lo que no es de esperarse que sus concentraciones sean bajas. Los rangos obtenidos son superiores a los reportados por Palazón y Penoth [33] en laguna de Raya donde el valor

fue de 0,05 mg/l, y Castillo [21] en la laguna de La Restinga donde el valor encontrado fue de 0,00 mg/l.

El fósforo total presentó un rango de (0,01 – 3,50) mg/l. Según Pereira [7], la laguna de Punta de Piedras se caracteriza por presentar aguas mesotróficas, lo que significa que los valores de fósforo generalmente son bajos y se encuentran en el límite entre aguas oligotróficas y mesotróficas. Cabe destacar que el mayor valor de fósforo fue reportado para la zona del paseo Esther Gil, donde es mayor las descargas urbanas o efluentes que contienen detergentes ricos en polifosfatos. A su vez, están los desechos de origen inorgánico como los contenedores de aceites lubricantes, tobos de pinturas, aerosoles, que pueden llegar a producir disposición de sustancias tóxicas o la liberación de grasas en el cuerpo lagunar que puede causar una incidencia en su densidad poblacional, por efecto de la contaminación.

Las concentraciones de sólidos totales estuvieron entre 4491 mg/l y los 70310 mg/l, sin embargo no presentaron diferencias significativas con el paso de los años. El aumento de los sólidos disueltos está influenciado por la disposición de desechos dentro y fuera de la laguna, arrojados principalmente por los habitantes de la comunidad de Punta de Piedras. Por otra parte, los pescadores al realizar el mantenimiento de sus embarcaciones, sus motores fuera de borda y sus artes de pesca, generan desechos y desperdicios que son dispuestos en ella y producen una sedimentación de los mismos [31].

Los valores observados de turbidez estuvieron entre los 4 y 64 unt. El valor máximo reportado para el mes de mayo del 2008 está relacionado con la abundancia de sedimentos en suspensión. En el mes de mayo existe mayor impacto antropogénico debido a la influencia de las descargas de aguas de origen doméstico que pueden causar el aumento de la turbidez en el cuerpo de agua.

Laguna de La Acequia

La temperatura máxima reportada en la laguna de La Acequia fue en el mes de mayo del 2014. Este mes forma parte del período de sequía, donde las temperaturas son más altas debido a la incidencia del sol y la disminución de los vientos y la

profundidad. El promedio anual para esta variable (26,9°C) fue menor a la reportada por Pereira [34] en la bahía de Boca de Río. La temperatura mínima se reportó en la boca de la laguna, zona que está más expuesta al intercambio con las aguas de la zona costera, por ende se ve afectada por las aguas frías provenientes de los procesos de surgencia costera.

En cuanto al pH, el rango estuvo entre 8,28 y 9,00. El máximo valor se encontró en la boca de la laguna, zona que está influenciada por el intercambio con la zona costera, lo que causa disminución de la temperatura del agua, y por ende favorece la actividad de los organismos fitoplanctónicos que contribuyen al aumento de la fotosíntesis y a la disminución del dióxido de carbono. El valor más bajo de pH se reportó para la zona de la planta de tratamiento, el cual se asimila con el reportado por Díaz y Monsanto (2009) en la misma laguna el cual fue de 8,50.

Con respecto a la salinidad, los valores estuvieron entre 2,990 y 4,000 ‰. El valor máximo de salinidad está relacionado con la alta incidencia de luz solar y la poca profundidad en la zona. Los valores obtenidos fueron inferiores en relación con los señalados para otras lagunas costeras como Laguna de Raya (4,502 ‰) y la Laguna de Las Marites (4,249 ‰). Ambos puntos en los que se tomaron las muestras son zonas con baja profundidad, por lo que mostraron salinidades relativamente altas.

El oxígeno disuelto presentó concentraciones entre los 0,40 mg/l y los 8,20 mg/l. El valor máximo se reportó en la boca de la laguna, zona característica por su baja profundidad y por el intercambio de agua con la zona costera. Por su parte, el valor mínimo se registró en la zona detrás de la planta de tratamiento, lo que indica que existen niveles de hipoxia en ese cuerpo de agua debido a la gran abundancia de microorganismos quienes toman el oxígeno disuelto para descomponer la materia orgánica presente en esas aguas [35].

Los sólidos suspendidos totales mostraron un rango de 1940 mg/l y 43635 mg/l. El valor máximo se reportó en la zona detrás de la planta de tratamiento, la cual aparte de que posee una baja profundidad, recibe los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca del Río, también recibe vertidos de desechos sólidos, lo que genera un cambio de coloración y mayor turbidez

en el agua. Los valores mínimos encontrados en la boca de la laguna son superiores a los reportados por Marín [36], quien obtuvo mínimos de 30 mg/l para la planta de tratamiento de Punta de Piedras y González [37], quien halló valores de 52 mg/l en la planta de tratamiento de Los Bagres.

En cuanto al nitrito+nitrato, los valores máximo y mínimo fueron de 0,70 mg/l y 1,83 mg/l. Las concentraciones obtenidas se consideran bajas debido a que según (Crites y Tchobanoglous 2000) los rangos menores de 2,00 mg/l de esta variable son tóxicas para las especies que habitan este cuerpo lagunar, ya que pueden causar lesiones branquiales en peces, que pueden provocar dificultades respiratorias y asfixia. Es por esta razón, que se podría decir que los organismos han sufrido algún tipo de proceso adaptativo para poder tolerar estas concentraciones de nitrito+nitrato.

Con respecto al fósforo total, las concentraciones estuvieron entre los 0,07 mg/l y los 4,65 mg/l. Los altos valores de fósforo en la laguna se deben a la descarga directa de las aguas residuales sin tratar de las casas que la rodean, además los habitantes arrojan sus excrementos y animales muertos hacia la laguna. El valor mínimo encontrado en la boca de la laguna está relacionado con el movimiento de las aguas en la misma que causa la disminución de la variable.

Los sólidos totales se encontraron entre 31740 mg/l y 59415 mg/l; el valor máximo es superior al reportado por Díaz y Monsanto [35] el cual fue de 46131 mg/l para esta misma laguna.

La turbidez mostró concentraciones estimadas entre los 2 y los 820 unt. El incremento de la turbidez en el punto detrás de la planta de tratamiento se debe a la constante descarga de aguas residuales sin tratar provenientes de la comunidad adyacente a la laguna. Así como también, por la acumulación de sólidos en suspensión y la sedimentación que ocurre dentro del cuerpo de agua. Por su parte, el valor mínimo de turbidez se reportó en la boca de la laguna, zona con una profundidad muy baja donde el valor de turbidez se puede considerar poco significativo.

Actualmente, las lagunas de Punta de Piedras, La Acequia y Los Mártires son las que poseen un mayor impacto antropogénico debido a que se encuentran recibiendo descargas constantes de aguas servidas

provenientes de las comunidades adyacentes, y en el caso de Los Mártires y La Acequia, de las plantas de tratamiento de Juan Griego y de Boca de Río respectivamente. Asimismo, en estas lagunas se observaron los valores más elevados en las variables físico-químicas donde los resultados obtenidos superaron los límites establecidos en el Decreto Nro. 883. Por su parte, la laguna de La Restinga se encuentra recibiendo descargas de aguas residuales de forma puntual, en este caso, proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad construida por Misión Vivienda, donde las aguas son depositadas en la laguna sin ningún tipo de tratamiento debido a que la planta de tratamiento se encuentra inoperativa según el informe del Minea del año 2016 [10], lo que causa el impacto ambiental en la zona de Piedras Negras ubicada dentro de la poligonal del Parque Nacional laguna de La Restinga.

4. Conclusiones

La laguna de Punta de Piedras presentó la mayor variación en la distribución temporal de sus variables, donde la temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, nitritos+nitratos y fósforo total mostraron diferencias significativas durante los años de estudio. Sin embargo, los sólidos totales y la turbidez mostraron una distribución homogénea. Por otra parte, en la laguna Los Mártires, el pH, la salinidad y los sólidos totales no presentaron variación en sus concentraciones, mientras que en la laguna de La Restinga solo la turbidez y el pH no mostraron diferencias significativas en su distribución temporal.

En laguna de Los Mártires se observó la mayor cantidad de variables cuyos valores sobrepasaron los límites establecidos en el Decreto Nro. 883 (pH, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto y sólidos totales superaron el límite máximo), seguida por La Acequia (pH, sólidos suspendidos totales y sólidos totales) y por último, Punta de Piedras y La Restinga (sólidos suspendidos totales y sólidos totales). El comportamiento de los valores de las variables evidenció que la acumulación de desechos sólidos y la constante y puntual descarga de aguas residuales de origen doméstico, sin ningún tipo

de tratamiento, es la causa principal del impacto ambiental en estos cuerpos de agua.

Referencias

- [1] P. Fontanive, J. Fuentes, J. Salazar, J. López, and P. López. Condición trófica de la Laguna de Los Mártires, Isla de Margarita, Venezuela, periodo enero-diciembre 2006. *Ciencia*, 18(2):81–90, 2010.
- [2] L. Valerio, Y. García, A. Guilarte, L. Tróccoli, and J. López. Macroalgas asociadas a neumatóforos del mangle negro (*Avicennia germinans* (L.) en Laguna El morro, Isla de Margarita, estado nueva esparta, Venezuela. *Saber*, 25(4):365–372, 2013.
- [3] D Hernández and J. Ocanto. Caracterización físico-química, bacteriológica, pigmentos fotosintéticos y sedimentológicas de la Laguna El Hato sector La Isleta, Isla de Margarita, Edo. Nueva Esparta, durante el período enero-diciembre 2009. Disertación grado licenciado en acuicultura, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2010.
- [4] P. Ramírez. *Lagunas costeras venezolanas*. Edit. Benavente y Martínez, C.A., Porlamar, Venezuela, 1996.
- [5] D. Rosas-Mendoza and F. López-Monroy. Algunos aspectos de la dinámica sedimentaria de la Laguna de Las Marites, estado Nueva Esparta. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 53(1):47–55, 2014.
- [6] J. Herrera and S. Morales. *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán Durán, R. y M. Méndez (eds)*, chapter Lagunas costeras, pages 24–26. Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Mérida, Yucatán, México, 2008.
- [7] C. Pereira. Condiciones hidrográficas y estado trófico de la Laguna de Punta de Piedras, Isla de Margarita (febrero 2005-2006). Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2006.

- [8] MARN. Norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Decreto Nro. 883. Gaceta Oficial Nro. 5.021, 1995.
- [9] A. Machado and M. Castillo. La importancia de las lagunas costeras. *Acta Biológica Venezolana*, 29(1–2):1, 2009.
- [10] MINEA. Caracterización de la calidad de lagunas del estado Nueva Esparta, año 2016. Informe, Ministerio del poder popular para Ecosocialismo y Aguas, 2016.
- [11] J. Fuentes, R. Patiño, G. López, and J. López. Densidad de bacterias coliformes y su relación con algunas variables físico-químicas en aguas de la Laguna Los Mártires, Isla de Margarita, Venezuela. *Saber*, 21(2):126–132, 2009.
- [12] J. Salazar, J. Rosas, and J. Rodríguez. Condiciones sedimentológicas de la Laguna La Restinga, Isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia*, 28(1):44–50, 2003.
- [13] C. Ramos. Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la Zona Protectora Laguna de Los Mártires: instrumento para el desarrollo sustentable de la actividad turística en el municipio Marcano, estado Nueva Esparta. Disertación grado licenciado en hotelería y turismo, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2003.
- [14] M. Antón, Y. Marín, L. Romero, Y. Hernández, D. Farías, and Hernández L. Diagnóstico socioambiental de la laguna La Acequia, Boca de Río, estado Nueva Esparta, Venezuela. Disertación grado licenciado en gestión ambiental, Universidad Bolivariana de Venezuela, Nueva Esparta, Venezuela, 2015.
- [15] COVENIN. Covenin 2639. Normativa venezolana: aguas naturales, industriales y residuales. Definiciones. Fondonorma, 2002.
- [16] E. Ríos, J. Palacio, and N. Aguirre. Variabilidad fisicoquímica del agua en la ciénaga El Eneal, Reserva Natural Sanguaré municipio de San Onofre- Sucre, Colombia. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*, 46:39–45, 2008.
- [17] A. Massol. *Manual de laboratorio*. Impresos RUM, San Juan, Puerto Rico, 2006.
- [18] M. Bain and N. Stevenson. *Aquatic habitat assessment: common methods*. American Fish. Society, Bethesda, Maryland. USA, 1999.
- [19] E. Peña. Calidad de agua: Trabajo de investigación sobre el oxígeno disuelto (OD). Informe de investigación, Ing. en Auditoría y Control de Gestión, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2007.
- [20] E. Guerra, R. Lazo, and K. Herrera. Construcción del segundo puente sobre la Laguna de la Restinga. *Saber*, 29:400–409, 2017.
- [21] R. Castillo. Estructura comunitaria del fitoplancton de la laguna de La Restinga y su relación con las condiciones hidrográficas durante el período de surgencia costera (noviembre, 2001 hasta mayo, 2002). Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2003.
- [22] S. Philips, H.J. Laanbroek, and W. Verstraete. Origin, causes and effects of increase nitrite concentrations in aquatic environments. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 1:115–141, 2002.
- [23] A. García. Cuantificación de hidrocarburos totales y aromáticos policíclicos (Hap) en ostra de mangle (*Crassostrea rizophorae*) y en agua de la Laguna de La Restinga en el período junio- octubre 2005. Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2006.
- [24] MINEA. Caracterización de la calidad de lagunas del estado Nueva Esparta, año 2007. Informe, Ministerio del poder popular para Ecosocialismo y Aguas, 2007.
- [25] MINEA. Caracterización de la calidad de lagunas del estado Nueva Esparta, año 2014.

- Informe, Ministerio del poder popular para Ecosocialismo y Aguas, 2014.
- [26] M. Britto and M. Martínez. Variación estacional y temporal de la estructura comunitaria fitoplanctónica de la laguna de Los Mártires y su relación con algunos parámetros ambientales, Juan Griego, estado Nueva Esparta, Venezuela. enero–diciembre 2006. Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2008.
- [27] A. Gómez. Interacción entre un estuario negativo (Laguna de la Restinga, Isla de Margarita) y el Mar Caribe adyacente. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 30(1–2):47–55, 1991.
- [28] E. Rodríguez. Composición y aspectos ecológicos de la ictiofauna de la Laguna de Los Mártires, Isla de Margarita, durante el período enero–diciembre del 2006. Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2007.
- [29] R. Cordero. Evaluación del tratamiento físicoquímico en un efluente de una industria procesadora de harina. Trabajo de grado magíster en ingeniería ambiental, Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 2013.
- [30] A. Voltolina and P. Voltolina. Observaciones hidrológicas en la Laguna de La Restinga durante el período enero 1969-abril 1970. *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 62(102):271–290, 1976.
- [31] M. Mata. *Efecto antropogénico originado por la comunidad adyacente a la Laguna de Punta de Piedras, Municipio Tubores, estado Nueva Esparta*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas, 2015.
- [32] N. Rabalais and R. Turner. *Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: description, causes and change*. American Geophysical Union, Washington, DC. USA, 2001.
- [33] J. Palazón-F. and E. Penoth. Condiciones hidroquímicas de la Laguna de Raya, Isla de Margarita, Venezuela, durante el período comprendido entre febrero de 1986 y febrero de 1987. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 33(1–2):5–17, 1994.
- [34] C. Pereira. Caracterización hidrográfica de la bahía de Boca del Río durante el período de marea alta (septiembre-noviembre 2006) y marea baja (marzo-mayo 2007). Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2007.
- [35] A. Díaz and L. Monsanto. Calidad del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales de Boca de Río y su posible influencia en la Laguna La Acequia, Municipio Península de Macanao, Venezuela durante el período febrero-julio 2008. Disertación grado licenciado en biología marina, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Universidad de Oriente, Nueva Esparta, Venezuela, 2009.
- [36] S. Marín. Evaluación de la calidad bacteriológica y físico-química de la zona marino costera de la población de Las Mercedes, municipio Tubores, Isla de Margarita (febrero-junio de 2008), como base para una propuesta de gestión ambiental. Trabajo de grado para magíster en gerencia ambiental, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana, 2008.
- [37] J. González. Evaluación bacteriológica y físico-química de dos plantas de tratamiento de aguas residuales operadas por el Ministerio del Ambiente de Recursos Naturales (M.A.R.N.) en el Estado Nueva Esparta. Trabajo de grado de magíster en ciencias marinas, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Núcleo Sucre, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela, 2007.