

DOI: <https://doi.org/10.18359/rfcb.4204>



# Dinámica espaciotemporal de la calidad de agua en la laguna Las Peonías (Zulia, Venezuela): 2013-2016\*

Julio César Marín-Leal<sup>a</sup> ■ Andreína María Fernández-Álvarez<sup>b</sup> ■ Janett Beatriz Flores-Nava<sup>c</sup> ■ Yoselin del Valle López-Inaudi<sup>d</sup> ■ Ángel Enrique Corona-Quintero<sup>e</sup>

**Resumen:** la laguna Las Peonías es un refugio para numerosas especies tropicales y una fuente alternativa de agua para la población humana. En este trabajo, se explica la dinámica espaciotemporal de la calidad del agua superficial en la laguna, con base en sus características fisicoquímicas y bacteriológicas. Para ello, se realizaron 16 campañas de recolección de muestras, en 10 sitios de estudio, incluyendo las principales fuentes de agua: cañadas Iragorri y Fénix y caño Araguato (canal de intercambio con el lago de Maracaibo), entre septiembre de 2013 y septiembre de 2016, durante las mareas alta y baja. En general, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para las magnitudes de los 22 parámetros analizados, con respecto al régimen de mareas del lago de Maracaibo. Las concentraciones de materia orgánica (DBO y DQO), nitrógeno total y fósforo total fueron de 0,20-22,88 mg/l; 5,25-2074,07 mg/l; 0,52-17,37 mg/l y 0,75-11,49 mg/l, respectivamente; valores típicos de ecosistemas hipereutróficos. Las densidades de bacterias coliformes totales y fecales se presentaron entre  $3,01 \cdot 10^4$  a  $2,40 \cdot 10^4$  NMP/100 ml; por lo que incumplen los límites permisibles de la normativa venezolana para aguas recreacionales (contacto humano parcial y total). Los aportes de agua a través de la cañada Iragorri y el caño Araguato, determinaron la variabilidad espacial de la calidad de agua, mientras que la dinámica temporal estuvo influenciada por las precipitaciones, fundamentalmente hacia finales del periodo de estudio (agosto y septiembre de 2016). Este trabajo contribuye al entendimiento ecológico del ecosistema, al tiempo que sienta las bases para su recuperación ambiental y el establecimiento de planes de manejo de su recurso hídrico.

\* Artículo de investigación cofinanciado por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Disa) de la Escuela de Ingeniería Civil, el Centro de Investigación del Agua (CIA) y el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (Condes) de la Universidad del Zulia (Maracaibo, Venezuela), bajo el programa de investigación VAC-CONDES-CC-0151-17.

- a Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Disa), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Correo electrónico: [jmarin@fing.luz.edu.ve](mailto:jmarin@fing.luz.edu.ve). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2770-5978>
- b Centro de Investigación del Agua (CIA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Correo electrónico: [andreinafernandez@gmail.com](mailto:andreinafernandez@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4677-0698>
- c Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Correo electrónico: [janettbfn@gmail.com](mailto:janettbfn@gmail.com)
- d Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Correo electrónico: [yose104@gmail.com](mailto:yose104@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9508-6502>
- e Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Correo electrónico: [acorona@fing.luz.edu.ve](mailto:acorona@fing.luz.edu.ve)

**Palabras clave:** bacterias coliformes; estado trófico; eutroficación; laguna costera; lago de Maracaibo

**Recibido:** 15 de julio de 2019.

**Aceptado:** 25 de marzo de 2020.

**Disponible en línea:** 14 de agosto de 2020

**Cómo citar:** Marín-Leal, J. C., Fernández-Álvarez, A. M., Flores-Nava, J. B., López-Inaudi, Y. V., y Corona-Quintero, A. E. (2020). Dinámica espaciotemporal de la calidad de agua en la laguna Las Peonías (Zulia, Venezuela): 2013-2016. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 15(2), 83-105. <https://doi.org/10.18359/rfcb.4204>

## *Spatiotemporal Dynamics of Water Quality in Las Peonias Lagoon (Zulia, Venezuela): 2013-2016*

**Abstract:** Las Peonias Lagoon is a shelter for many tropical species and an alternative source of water for the human population. This paper explains the spatiotemporal dynamics of surface water quality in the Lagoon, based on its physicochemical and bacteriological characteristics. 16 sample collection campaigns were conducted at 10 study sites to this end, including the main water sources: Irégorri and Fenix ravines, and Araguato channel (exchange channel to Maracaibo lake), from September 2013 to September 2016, during high and low tides. In general, no significant differences ( $p > 0.05$ ) were observed in the magnitudes of the 22 parameters analyzed, concerning the tidal patterns of Maracaibo lake. The concentrations of organic matter (BOD and COD), total nitrogen and total phosphorus were 0.20-22.88 mg/l; 5.25-2074.07 mg/l; 0.52-17.37 mg/l and 0.75-11.49 mg/l, accordingly; typical values of hypereutrophic ecosystems. Total and fecal coliform bacterial densities were 3.01-2.40×10<sup>4</sup> NMP/100 ml; therefore, they do not meet the permissible limits of the Venezuelan regulation for recreational waters (partial and total human contact). Water inputs through the Irégorri ravine and the Araguato channel determined the spatial variability of water quality, while temporal dynamics were influenced by rainfall, mainly toward the end of the period of study (August and September 2016). This work contributes to the ecological understanding of the ecosystem, while laying the foundations for its environmental recovery and the development of water resource management plans.

**Keywords:** Coastal lake; coliform bacteria; eutrophication; Maracaibo lake; trophic state

## *Dinâmica espaço-temporal da qualidade d'água na lagoa Las Peonías (Zulia, Venezuela): 2013-2016*

**Resumo:** A lagoa Las Peonías é um refúgio para numerosas espécies tropicais e uma fonte alternativa de água para a população humana. Neste trabalho, explica-se a dinâmica espaço-temporal da qualidade da água superficial na lagoa, com base em suas características físico-químicas e bacteriológicas. Para isso, realizaram-se 16 campanhas de coleta de amostras, em 10 lugares de estudo, incluindo as principais fontes de água: canchadas Irégorri e Fénix e Caño Araguato (canal de intercâmbio com o lago de Maracaibo), entre setembro de 2013 e setembro de 2016, durante as marés alta e baixa. Em geral, não se observaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) para as magnitudes dos 22 parâmetros analisados, com relação ao regime de marés do lago de Maracaibo. As concentrações de matéria orgânica (DBO e DQO), nitrogênio total e fósforo total foram de 0,20-22,88 mg/l; 5,25-2074,07 mg/l; 0,52-17,37 mg/l e 0,75-11,49 mg/l, respectivamente; valores típicos de ecossistemas

hipereutróficos. As densidades de bactérias coliformes totais e fecais apresentaram-se entre  $3,01-2,40 \times 10^4$  NMP/100 ml; portanto, não cumprem os limites permitidos pelo regulamento venezuelano para águas recreacionais (contato humano parcial e total). Os deságues de água por meio da canha-da Iragorri e o Caño Araguato determinaram a variabilidade espacial da qualidade da água, enquanto a dinâmica temporal esteve influenciada pelas precipitações, fundamentalmente no final do período de estudo (agosto e setembro de 2016). Este trabalho contribui para o entendimento ecológico do ecossistema, ao mesmo tempo em que finca as bases para sua recuperação ambiental e o estabelecimento de planos de gerenciamento de seu recurso hídrico.

**Palavras-chave:** bactérias coliformes; estado trófico; eutrofização; lagoa costeira; lago de Maracaibo

## Introducción

Las lagunas costeras son sistemas dinámicos, naturalmente estresados, que sufren frecuentes alteraciones y fluctuaciones ambientales. Por tanto, en el concepto de *laguna* se incluye gran diversidad de ambientes, con marcadas diferencias en tamaño, morfología, estado trófico y salinidad, los cuales condicionan la estructura de su conjunto biológico, la composición de las especies y el rendimiento de la pesca (Farreras, 2004; Pereira *et al.*, 2012; Jansen *et al.*, 2019). Estos entornos ofrecen servicios ecosistémicos (SE) muy importantes, por ejemplo, áreas recreativas, acuicultura, actividades turísticas y deportivas, pero se encuentran gravemente amenazados por diversos factores.

El mosaico de los hábitats de las lagunas costeras funciona como grandes filtros para extraer contaminantes, exceso de nutrientes y sedimentos transportados desde aguas residuales municipales e industriales en el interior y por escorrentías de aguas pluviales. La alta tasa de ciclaje de nutrientes producida dentro de estos cuerpos de agua absorbe los contaminantes rápidamente y degrada la materia orgánica. El nitrógeno y el fósforo en exceso se acumulan en los sedimentos a menudo y, por tanto, no entran en el mar costero. Considerando que estos ambientes se encuentran en la interfase tierra-mar, funcionan como zonas de amortiguación, pues protegen a las comunidades costeras de toda la fuerza de los eventos relacionados con el clima, como mareas de tormenta, inundaciones y ciclones, debido a que disminuyen la acción de las olas y disipan las descargas de los ríos (Harris, 2008; Miththapala, 2013).

La dinámica espacial y temporal de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua y el sedimento, por ejemplo, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes inorgánicos disueltos, es de gran utilidad para determinar la heterogeneidad ambiental y el estado de salud de estos ecosistemas litorales (Medina y Herrera, 2003; de la Lanza, Alcocer, Moreno y Hernández, 2008). Esta información es valiosa para la adecuada gestión de estos ambientes costeros, con el objetivo de mitigar o evitar procesos de deterioro ecológico de los recursos naturales (Herrera,

Comin, Aranda, Troccoli y Capurro, 2004; May-Kú, Valdés y Ardisson, 2016).

La laguna Las Peonías forma parte del sistema hidráulico del lago de Maracaibo (Venezuela), uno de los ecosistemas acuáticos de mayor extensión y complejidad ecológica en Suramérica (G. Parra, 1979; Rodríguez, 2000; Polo *et al.*, 2014). Esta laguna es un cuerpo de agua costero tropical somero, perteneciente al Parque Metropolitano Las Peonías, adyacente a la ciudad de Maracaibo, que ampara gran diversidad de fauna y flora. No obstante, ha sufrido un acelerado proceso de eutrofización debido a la descarga continua de aguas residuales y desechos tóxicos en su cuenca (Pernalete, Chacín, Bracho y Rico, 1979; Castro, Falcón y Fejervar, 1981; Iclam, 1988; Rivas, 1989; González y Hernández, 1991; González, 2008; Mora, 2009; González, Aldana y Saules, 2012).

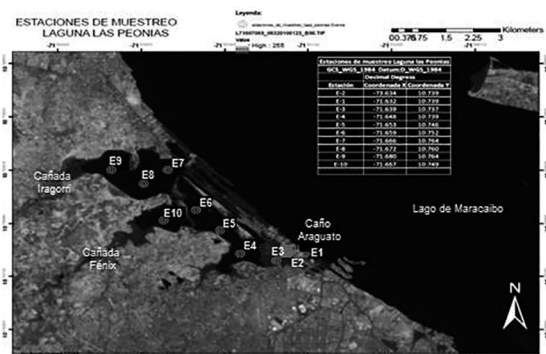
El objetivo de este trabajo es explicar la dinámica espaciotemporal de la calidad del agua superficial de la laguna Las Peonías, con base en sus características físicas, químicas y bacteriológicas, a partir de 16 campañas de muestreo en diez sitios de estudio, realizadas entre septiembre de 2013 y septiembre de 2016. Este enfoque de larga temporalidad permitió establecer diferencias tanto estacionales de las variables climáticas (lluvia-sequía), como del régimen de mareas en la laguna (llenado-vaciado). Los hallazgos relacionados con la dinámica de nutrientes y de los aportes de las distintas fuentes de agua y de contaminación constituyen datos valiosos para el entendimiento ecológico del ecosistema y de su estado trófico actual. Esto, en últimas, permite sentar las bases para su recuperación ambiental y para establecer planes de manejo del recurso hídrico.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio estuvo comprendida geográficamente entre las coordenadas huso 19N, proyección UTM 1191049,27; 210319,57 de latitud Norte y 1189178,13; 193657,96 de longitud Oeste; en el sector Noroeste del estrecho de Maracaibo (Venezuela), entre los municipios de Maracaibo y Mara del estado Zulia, los cual son parte de la cuenca

hidrográfica del sistema lago de Maracaibo. En ella, se encuentra un sistema lacunar costero, conocido como laguna Las Peonías (Figura 1), el cual contiene tres fuentes principales de agua, de distinta naturaleza: cañada Iragorri (375 l/s), cañada Fénix (759 l/s) y caño Araguato, a través del cual se da el intercambio con agua salobre del lago de Maracaibo (González, 2008).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de las 10 estaciones de muestreo (puntos verdes) en la laguna Las Peonías (Venezuela). Imagen satelital SRTM 2005 a 90 m.

**Fuente:** elaboración propia.

## Muestreos y captación de muestras

Los muestreos se llevaron a cabo considerando la influencia de la marea en el canal natural de intercambio de la laguna con el lago de Maracaibo (caño Araguato) y tomando como base información de la predicción de mareas del Instituto Nacional de Canalizaciones (INC), a partir del mareógrafo.

Punta de Palma, el más cercano al área de estudio (aproximadamente a 9 km), ubicado en la posición: latitud 10°48'15" N y longitud 71°37'32" O. Se realizaron dieciséis (16) campañas de muestreo entre septiembre de 2013 y septiembre de 2016, incluyendo épocas de lluvia y sequía y considerando las horas pico de marea alta o baja, en la bahía El Tablazo. El número total de muestreos fue dieciséis (16), constituidos por diez (10) estaciones y dos (2) mareas, equivalentes a 320 muestras. La designación de los periodos climáticos correspondientes a cada campaña de muestreo (lluvia, sequía o transición) se realizó de acuerdo con lo sugerido por Corona (2016).

La ubicación de las estaciones de muestreo en la laguna se determinó de acuerdo con su representatividad, fuentes de contaminación y accesibilidad, según muestreos preliminares. Las estaciones se distribuyeron a lo largo del canal de corriente (caño Araguato) y en el cuerpo de la laguna. Así, se establecieron diez estaciones de muestreo, ubicadas de la siguiente manera: tres en el canal de intercambio, una en las adyacencias de la cañada Iragorri, una en las adyacencias de la cañada Fénix y el resto en el espejo de agua de la laguna (Figura 1). Estas estaciones fueron ubicadas mediante GPS en cada jornada de muestreo.

La captación de las muestras de agua superficial se realizó manualmente desde una embarcación, tomando una porción en envases plásticos de dos litros (2 l) para la caracterización física y química, y una segunda porción en frascos de vidrio esterilizados con tapa de baquelita de 100 ml para los análisis bacterianos. Las muestras se conservaron en una cava con hielo, para su traslado inmediato al laboratorio, donde fueron preservadas y refrigeradas hasta su análisis, de acuerdo con lo establecido por la American Public Health Association (Apha), la American Water Works Association (Awwa) y la Water Environment Federation (WEF) (2017).

## Análisis de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos

En el agua superficial de la laguna se realizaron mediciones *in situ* de los siguientes siete parámetros: temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), potencial redox (PR), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) y salinidad. En las mediciones, se utilizó una sonda multiparamétrica Orion, modelo 5 Star (EE. UU.), previamente calibrada.

En el laboratorio, se analizaron las siguientes quince variables: color verdadero (CV; método de comparación visual con un colorímetro Aquateser Orbeco-Hellige, con filtración previa), turbidez (mediante un turbidímetro digital Orbeco-Hellige, modelo 965-10A), cloruro (método volumétrico), sulfato (método turbidimétrico), demanda biológica de oxígeno (DBO; método de las diluciones),

demanda química de oxígeno (DQO; método volumétrico con digestión a reflujo cerrado), nitrato (método colorimétrico), nitrato (método colorimétrico de reducción en columna de cadmio), amonio (método potenciométrico directo con electrodo Orion, modelo 9512HPBNW), nitrógeno orgánico (N-org; diferencia entre nitrógeno total Kjeldahl [NTK], analizado por el método volumétrico y amonio), nitrógeno total (NT; sumatoria de NTK + nitrato + nitrato), ortofosfato (método colorimétrico de vanadato-molibdato), fósforo total (PT; método colorimétrico de vanadato-molibdato, previa digestión con ácido sulfúrico y persulfato de sodio), bacterias coliformes totales (BCT) y fecales (BCF; técnica de fermentación en tubos múltiples), de acuerdo con los métodos estandarizados (Apha, Awwa y WEF, 2017).

Los resultados de estos análisis fueron contrapuestos con la normativa ambiental vigente para aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia (tipo 4); subtipo 4A contacto humano total y subtipo 4B contacto humano parcial, la cual establece valores permisibles para pH, OD, BCT y BCF (Decreto 883, 1995).

## Análisis estadístico

Para explicar la variabilidad espaciotemporal de la calidad de agua superficial en la laguna Las Peonías, se utilizaron diagramas de dispersión de las variables, estadístico-descriptivos y relaciones bivariadas, entre los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.

Se usó el programa SPSS Statistics, versión 20, para realizar análisis de varianza (Anova) de uno y dos factores (estación-muestreo) y la prueba *a posteriori* de Tukey, con la finalidad de determinar diferencias significativas de las variables de calidad de agua en relación con las estaciones (espacial), el tiempo (muestreo) y la condición de marea (llenado/vaciado). Como paso previo a los Anova, se comprobaron tanto la homogeneidad de las varianzas (prueba de Kolmogorov-Smirnov), como la distribución normal de los residuos (prueba de Shapiro-Wilk). Finalmente, se efectuó un análisis jerárquico de clúster con los valores medios de

los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua superficial, tanto para las estaciones de muestreo como para los periodos de recolección de muestras (muestréos).

## Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presenta el resumen de la estadística descriptiva para los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua superficial de la laguna Las Peonías, en el periodo estudiado.

**Tabla 1.** Resumen global de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016

Parámetro	Media ± DE	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	30,2±1,0	27,2	34,0
pH	7,41±0,36	6,03	7,95
CV (UCV)	8,1±5,7	5,0	50,0
Turbidez (UNT)	29,45±62,52	0,60	683,01
OD (mg/l)	4,49±1,35	1,17	6,80
PR (mV)	-41,52±42,46	-140,30	1,50
CE (mS/cm)	8,56±3,68	0,07	17,31
SDT (mg/l)	5415,1±1957,5	319,1	10 070,0
Salinidad	5,80±2,31	0,30	12,31
Cloruro (mg/l)	2446,28±920,78	100,01	9996,90
Sulfato (mg/l)	125,18±117,71	13,48	516,10
DBO (mg/l)	8,42±5,01	0,20	22,88
DQO (mg/l)	238,42±269,27	5,25	2074,07
Nitrato (mg/l)	0,077±0,042	0,002	0,289
Nitrato (mg/l)	0,39±0,27	<0,02	2,35
Amonio (mg/l)	1,83±1,57	0,05	9,32
N-org (mg/l)	3,87±2,91	0,02	14,50
NT (mg/l)	6,17±3,18	0,52	17,37
Ortofosfato (mg/l)	1,33±0,64	0,11	3,86
PT (mg/l)	2,53±1,42	0,75	11,49
BCT (NMP/100 ml)	921,77±3323,02	3,01	2,40×10 <sup>4</sup>
BCF (NMP/100 ml)	525,31±2426,92	3,01	2,40×10 <sup>4</sup>

n=320. DE: desviación estándar. CV: color verdadero. OD: oxígeno disuelto. PR: potencial redox. CE: conductividad eléctrica. SDT: sólidos disueltos totales. DBO: demanda biológica de oxígeno.



DQO: demanda química de oxígeno. N-org: nitrógeno orgánico. NT: nitrógeno total. PT: fósforo total. BCT: bacterias coliformes totales. BCF: bacterias coliformes fecales.

**Fuente:** elaboración propia.

Los análisis de varianza de dos factores indicaron que no existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para las magnitudes de estos parámetros con respecto al régimen de mareas en el lago de Maracaibo, por lo que en la discusión no se hace distinción referente a esta variable.

## Temperatura y pH

Los valores de temperatura del agua superficial oscilaron entre 27,2 °C (E4 abr-15 y E8 abr-15) y 34,0 °C (E9 sep-16); con una media aritmética de 30,2±1,0 °C (Tabla 1). La diferenciación espacial de estos valores fue altamente significativa ( $p < 0,0001$ ); E2 exhibió los valores más bajos y E3, los más elevados, con tenores intermedios para el resto de las estaciones de muestreo, de acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 2).

La variabilidad temporal fue también significativamente diferente ( $p < 0,0001$ ), con la menor temperatura registrada el nov-14 (transición lluvia-sequía) y la mayor, durante sep-16 (lluvia), según la prueba de Tukey (Tabla 3). Para la interacción estación-muestreo, no se obtuvieron diferencias significativas en la temperatura del agua superficial.

Las fluctuaciones de la temperatura del agua dependen de (a) la absorción de radiación solar, (b) las características de las masas de agua que convergen (incluyendo descargas de efluentes) y (c) los procesos asociados a las actividades bióticas y abióticas del ecosistema (Marín, 2003). En el caso de la laguna Las Peonías, este hecho se ve reflejado tanto por la entrada de agua procedente del lago de Maracaibo, a través del caño Araguato (E2, Figura 1), como por las descargas de las cañadas Fénix e Iragorri, a lo que se suman los cambios temporales propios de cada estación climática (lluvia/sequía).

Los valores de temperatura encontrados son comparables a los reportados en estudios previos de la laguna (Pernalet, Chacín, Bracho y Rico, 1979; Castro, Falcón y Fejervar, 1981; Rivas, 1989; González y Hernández, 1991; González, 2008; Mora, 2009), que se encuentran en el rango 25,0-31,9 °C. También

corresponden con los valores encontrados en otros ecosistemas tropicales y subtropicales, como el lago de Maracaibo (Venezuela) de 31,4±2,1 °C (Polo *et al.*, 2014), laguna de Tres Palos (México) de 28-31 °C (de la Lanza *et al.*, 2008) y laguna de Chautengo (México) de 29,8 °C (Rendón *et al.*, 2012).

El pH, por su parte, se observó en el rango de 6,03 (E8 jun-15) a 7,95 (E1 jul-15), con una media de 7,41±0,36 unidades (Tabla 1). El agua superficial de la laguna no reveló diferencias espaciales significativas en cuanto a este parámetro químico ( $p > 0,05$ , Tabla 2); mientras que, para la variable temporal, se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), con la distinción de tres grupos de datos (prueba de Tukey, Tabla 3): ene-14 (sequía), con los niveles más bajos; y jul-15 (sequía) y nov-15 (transición lluvia-sequía), con los más altos. La interacción estación-muestreo no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). La homogeneidad de los valores de pH evidencia la capacidad amortiguadora y de estabilidad del sistema ante los aportes alóctonos, de acuerdo con la señalado por Bustamante, Monsalve y García (2008) para el río Quindío, en Colombia.

Los niveles de pH son un poco menores que los reportados anteriormente para este sistema hídrico (Pernalet *et al.*, 1979; Castro *et al.*, 1981; Rivas, 1989; González y Hernández, 1991; González, 2008; Mora, 2009), los cuales se encuentran en el rango 7,80-9,95 unidades. Esta variación, posiblemente, se deba a los periodos estudiados y los aportes diferenciales de las diversas fuentes de contaminación en la cuenca, durante los años de estudio.

Además, los valores son comparables con los señalados para otros ecosistemas tropicales y subtropicales, como las lagunas de Atasta y Poom (México), cuyos valores se estiman en el rango 7,6-8,8 (Ruíz, García, Zavala y López, 2009); el lago de Maracaibo (Venezuela), cuyos valores están en el rango 7,4-8,9; y laguna Salá (Colombia), para la cual el rango es 6,8-8,3 unidades de pH (Polo *et al.*, 2014; Rosado, 2009).

Al comparar los valores de pH obtenidos, con respecto a la normativa nacional vigente para aguas recreacionales (Decreto 883, 1995), queda claro que los que reportamos se encuentran dentro del rango permisible (6,5-8,5). En consecuencia, el cuerpo de agua es aceptable para los siguientes usos (aguas tipo

4): balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia (subtipo 4A contacto humano total y subtipo 4B contacto humano parcial), en cuanto a este parámetro.

**Tabla 2.** Distribución espacial (media  $\pm$  DE) de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016

Parámetro/ Estación	E1	E2	E3	E4	E5
Temperatura (°C)	30,2 $\pm$ 1,0 <sup>a,b,c</sup>	29,6 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	30,8 $\pm$ 0,8 <sup>c</sup>	30,4 $\pm$ 0,9 <sup>a,b,c</sup>	30,3 $\pm$ 1,1 <sup>a,b,c</sup>
pH	7,26 $\pm$ 0,39 <sup>a</sup>	7,40 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	7,53 $\pm$ 0,26 <sup>a</sup>	7,45 $\pm$ 0,29 <sup>a</sup>	7,49 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>
CV (UCV)	5,9 $\pm$ 2,9 <sup>a</sup>	6,3 $\pm$ 1,8 <sup>a</sup>	9,1 $\pm$ 5,7 <sup>a</sup>	7,6 $\pm$ 4,7 <sup>a</sup>	7,0 $\pm$ 3,0 <sup>a</sup>
Turbidez (UNT)	19,92 $\pm$ 29,59 <sup>a,b</sup>	23,77 $\pm$ 30,92 <sup>a,b</sup>	30,20 $\pm$ 31,18 <sup>a,b</sup>	32,01 $\pm$ 32,92 <sup>a,b</sup>	35,01 $\pm$ 43,25 <sup>a,b</sup>
OD (mg/l)	4,32 $\pm$ 1,47 <sup>a,b</sup>	3,94 $\pm$ 1,19 <sup>a</sup>	4,63 $\pm$ 1,41 <sup>a,b</sup>	4,62 $\pm$ 1,29 <sup>a,b</sup>	5,17 $\pm$ 1,12 <sup>b</sup>
PR (mV)	-35,6 $\pm$ 35,2 <sup>a</sup>	-37,59 $\pm$ 37,55 <sup>a</sup>	-38,20 $\pm$ 40,95 <sup>a</sup>	-49,63 $\pm$ 51,34 <sup>a</sup>	-47,53 $\pm$ 48,94 <sup>a</sup>
CE (mS/cm)	9,88 $\pm$ 2,97 <sup>c</sup>	9,53 $\pm$ 3,19 <sup>b,c</sup>	9,62 $\pm$ 2,99 <sup>b,c</sup>	9,26 $\pm$ 2,81 <sup>b,c</sup>	8,85 $\pm$ 2,90 <sup>b,c</sup>
SDT (mg/l)	5576,6 $\pm$ 1022,4 <sup>b,c</sup>	5576,0 $\pm$ 897,3 <sup>b,c</sup>	5546,4 $\pm$ 880,5 <sup>b,c</sup>	5296,2 $\pm$ 1065,2 <sup>b,c</sup>	5271,6 $\pm$ 977,9 <sup>b</sup>
Salinidad	6,16 $\pm$ 1,39 <sup>b</sup>	6,03 $\pm$ 1,22 <sup>b</sup>	5,96 $\pm$ 1,26 <sup>b</sup>	5,67 $\pm$ 1,39 <sup>b</sup>	5,66 $\pm$ 1,22 <sup>b</sup>
Cloruro (mg/l)	2668,82 $\pm$ 891,91 <sup>a</sup>	2496,33 $\pm$ 904,24 <sup>a</sup>	2549,59 $\pm$ 795,48 <sup>a</sup>	2418,58 $\pm$ 740,54 <sup>a</sup>	2273,06 $\pm$ 642,23 <sup>a</sup>
Sulfato (mg/l)	144,26 $\pm$ 140,53 <sup>a</sup>	129,39 $\pm$ 122,21 <sup>a</sup>	133,69 $\pm$ 105,98 <sup>a</sup>	120,76 $\pm$ 104,56 <sup>a</sup>	124,75 $\pm$ 111,09 <sup>a</sup>
DBO (mg/l)	7,62 $\pm$ 4,19 <sup>a</sup>	8,87 $\pm$ 5,31 <sup>a</sup>	7,89 $\pm$ 4,67 <sup>a</sup>	10,07 $\pm$ 5,31 <sup>a</sup>	9,42 $\pm$ 5,82 <sup>a</sup>
DQO (mg/l)	247,00 $\pm$ 211,79 <sup>a</sup>	238,49 $\pm$ 121,95 <sup>a</sup>	169,72 $\pm$ 140,66 <sup>a</sup>	218,70 $\pm$ 241,88 <sup>a</sup>	209,44 $\pm$ 176,27 <sup>a</sup>
Nitrito (mg/l)	0,070 $\pm$ 0,031 <sup>a</sup>	0,069 $\pm$ 0,039 <sup>a</sup>	0,086 $\pm$ 0,052 <sup>a</sup>	0,088 $\pm$ 0,037 <sup>a</sup>	0,078 $\pm$ 0,040 <sup>a</sup>
Nitrato (mg/l)	0,33 $\pm$ 0,22 <sup>a</sup>	0,38 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>	0,46 $\pm$ 0,35 <sup>a</sup>	0,40 $\pm$ 0,29 <sup>a</sup>	0,39 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>
Amonio (mg/l)	1,57 $\pm$ 1,46 <sup>a</sup>	1,28 $\pm$ 0,76 <sup>a</sup>	1,54 $\pm$ 1,05 <sup>a</sup>	1,55 $\pm$ 0,99 <sup>a</sup>	1,70 $\pm$ 1,27 <sup>a</sup>
N-org (mg/l)	3,31 $\pm$ 2,78 <sup>a,b</sup>	5,06 $\pm$ 3,48 <sup>b,c</sup>	4,97 $\pm$ 3,53 <sup>b,c</sup>	4,06 $\pm$ 2,53 <sup>a,b,c</sup>	3,78 $\pm$ 2,35 <sup>a,b,c</sup>
NT (mg/l)	5,27 $\pm$ 2,88 <sup>a</sup>	6,79 $\pm$ 3,36 <sup>a</sup>	7,06 $\pm$ 3,64 <sup>a</sup>	6,09 $\pm$ 2,69 <sup>a</sup>	5,96 $\pm$ 2,69 <sup>a</sup>
Ortofosfato (mg/l)	1,15 $\pm$ 0,51 <sup>a</sup>	1,17 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>	1,23 $\pm$ 0,55 <sup>a</sup>	1,22 $\pm$ 0,65 <sup>a</sup>	1,28 $\pm$ 0,57 <sup>a</sup>
PT (mg/l)	2,30 $\pm$ 1,26 <sup>a,b</sup>	2,29 $\pm$ 0,84 <sup>a</sup>	2,46 $\pm$ 1,25 <sup>a,b</sup>	2,45 $\pm$ 1,16 <sup>a,b</sup>	2,49 $\pm$ 1,06 <sup>a,b</sup>
BCT (NMP/100 ml)	2229,22 $\pm$ 5765,43 <sup>a,b</sup>	1625,72 $\pm$ 4564,35 <sup>a,b</sup>	378,97 $\pm$ 558,45 <sup>a,b</sup>	249,53 $\pm$ 178,58 <sup>a</sup>	303,44 $\pm$ 504,46 <sup>a,b</sup>
BCF (NMP/100 ml)	1421,56 $\pm$ 4542,61 <sup>a</sup>	512,28 $\pm$ 1108,35 <sup>a</sup>	176,22 $\pm$ 278,04 <sup>a</sup>	145,25 $\pm$ 121,06 <sup>a</sup>	115,88 $\pm$ 216,45 <sup>a</sup>

Parámetro/ Estación	E6	E7	E8	E9	E10
Temperatura (°C)	30,4 $\pm$ 0,8 <sup>a,b,c</sup>	29,8 $\pm$ 0,8 <sup>a,b</sup>	30,0 $\pm$ 1,2 <sup>a,b,c</sup>	30,5 $\pm$ 1,3 <sup>b,c</sup>	30,4 $\pm$ 0,8 <sup>a,b,c</sup>
pH	7,49 $\pm$ 0,24 <sup>a</sup>	7,43 $\pm$ 0,44 <sup>a</sup>	7,34 $\pm$ 0,40 <sup>a</sup>	7,36 $\pm$ 0,46 <sup>a</sup>	7,38 $\pm$ 0,36 <sup>a</sup>
CV (UCV)	7,3 $\pm$ 3,7 <sup>a</sup>	7,3 $\pm$ 3,8 <sup>a</sup>	7,2 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	14,5 $\pm$ 12,4 <sup>b</sup>	9,1 $\pm$ 2,7 <sup>a</sup>
Turbidez (UNT)	42,32 $\pm$ 109,45 <sup>a,b</sup>	10,71 $\pm$ 8,69 <sup>a</sup>	16,50 $\pm$ 23,26 <sup>a,b</sup>	60,69 $\pm$ 131,29 <sup>b</sup>	23,37 $\pm$ 52,43 <sup>a,b</sup>
OD (mg/l)	4,83 $\pm$ 1,36 <sup>a,b</sup>	4,67 $\pm$ 1,19 <sup>a,b</sup>	4,50 $\pm$ 1,13 <sup>a,b</sup>	4,08 $\pm$ 1,68 <sup>a</sup>	4,12 $\pm$ 1,21 <sup>a,b</sup>
PR (mV)	-44,06 $\pm$ 46,21 <sup>a</sup>	-40,26 $\pm$ 41,18 <sup>a</sup>	-38,61 $\pm$ 40,15 <sup>a</sup>	-45,11 $\pm$ 46,16 <sup>a</sup>	-38,65 $\pm$ 39,52 <sup>a</sup>



Parámetro/ Estación	E6	E7	E8	E9	E10
CE (mS/cm)	8,88±2,94 <sup>b,c</sup>	8,84±3,57 <sup>b,c</sup>	8,48±5,08 <sup>b,c</sup>	5,28±2,37 <sup>a</sup>	6,99±4,83 <sup>a,b</sup>
SDT (mg/l)	5435,2±1084,4 <sup>b,c</sup>	6683,4±2485,3 <sup>c</sup>	6110,1±2990,1 <sup>b,c</sup>	3040,6±952,5 <sup>a</sup>	5614,1±3062,7 <sup>b,c</sup>
Salinidad	5,98±1,40 <sup>b</sup>	7,00±3,13 <sup>b</sup>	6,35±3,58 <sup>b</sup>	3,50±1,23 <sup>a</sup>	5,67±3,61 <sup>b</sup>
Cloruro (mg/l)	2286,32±670,26 <sup>a</sup>	2704,90±864,08 <sup>a</sup>	2667,59±822,46 <sup>a</sup>	2127,24±1.674,54 <sup>a</sup>	2270,37±690,09 <sup>a</sup>
Sulfato (mg/l)	120,03±100,85 <sup>a</sup>	120,64±130,29 <sup>a</sup>	127,18±134,85 <sup>a</sup>	117,46±141,15 <sup>a</sup>	113,62±70,97 <sup>a</sup>
DBO (mg/l)	9,48±5,31 <sup>a</sup>	7,87±4,74 <sup>a</sup>	6,85±4,27 <sup>a</sup>	9,86±5,82 <sup>a</sup>	6,31±3,43 <sup>a</sup>
DQO (mg/l)	187,69±192,25 <sup>a</sup>	179,47±156,94 <sup>a</sup>	280,45±408,32 <sup>a</sup>	377,21±490,97 <sup>a</sup>	276,04±280,30 <sup>a</sup>
Nitrito (mg/l)	0,090±0,062 <sup>a</sup>	0,071±0,029 <sup>a</sup>	0,069±0,022 <sup>a</sup>	0,089±0,054 <sup>a</sup>	0,066±0,026 <sup>a</sup>
Nitrato (mg/l)	0,42±0,28 <sup>a</sup>	0,41±0,19 <sup>a</sup>	0,35±0,18 <sup>a</sup>	0,40±0,42 <sup>a</sup>	0,27±0,17 <sup>a</sup>
Amonio (mg/l)	1,84±2,14 <sup>a,b</sup>	1,94±1,66 <sup>a,b</sup>	1,77±1,81 <sup>a</sup>	3,03±2,18 <sup>b</sup>	2,09±1,21 <sup>a,b</sup>
N-org (mg/l)	3,29±2,74 <sup>a,b</sup>	2,36±2,36 <sup>a</sup>	2,97±2,05 <sup>a,b</sup>	5,82±3,31 <sup>c</sup>	3,08±1,88 <sup>a,b</sup>
NT (mg/l)	5,64±2,99 <sup>a</sup>	4,79±2,94 <sup>a</sup>	5,16±2,37 <sup>a</sup>	9,43±3,77 <sup>a</sup>	5,51±1,57 <sup>a</sup>
Ortofosfato (mg/l)	1,31±0,56 <sup>a</sup>	1,28±0,60 <sup>a</sup>	1,25±0,65 <sup>a</sup>	1,99±0,92 <sup>b</sup>	1,38±0,55 <sup>a</sup>
PT (mg/l)	2,36±1,24 <sup>a,b</sup>	2,25±1,45 <sup>a</sup>	2,26±0,89 <sup>a</sup>	3,40±2,29 <sup>b</sup>	3,03±1,81 <sup>a,b</sup>
BCT (NMP/100 ml)	306,66±593,34 <sup>a,b</sup>	238,47±348,51 <sup>a</sup>	243,06±462,84 <sup>a</sup>	2837,16±6975,42 <sup>b</sup>	805,47±982,01 <sup>a,b</sup>
BCF (NMP/100 ml)	214,03±582,05 <sup>a</sup>	126,13±219,87 <sup>a</sup>	218,53±484,89 <sup>a</sup>	1818,94±5829,82 <sup>a</sup>	504,28±792,60 <sup>a</sup>

n=320. DE: desviación estándar. CV: color verdadero. OD: oxígeno disuelto. PR: potencial redox. CE: conductividad eléctrica. SDT: sólidos disueltos totales. DBO: demanda biológica de oxígeno. DQO: demanda química de oxígeno. N-org: nitrógeno orgánico. NT: nitrógeno total. PT: fósforo total. BCT: bacterias coliformes totales. BCF: bacterias coliformes fecales. Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 3.** Distribución temporal (media ± DE) de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016

Parámetro/ Muestreo	Sep-13	Nov-13	Dic-13	Ene-14	Oct-14	Nov-14	Abr-15	May-15
Temperatura (°C)	30,5±0,80 <sup>b</sup>	30,01±0,91 <sup>b</sup>	29,88±0,80 <sup>b</sup>	30,11±0,79 <sup>b,c</sup>	30,32±0,91 <sup>b,c,d</sup>	28,71±0,96 <sup>a</sup>	30,33±1,07 <sup>b,c,d</sup>	30,07±0,62 <sup>b</sup>
pH	7,33±0,40 <sup>a,b,c</sup>	7,20±0,33 <sup>a,b</sup>	7,50±0,30 <sup>b,c</sup>	7,10±0,37 <sup>a</sup>	7,43±0,39 <sup>a,b,c</sup>	7,38±0,48 <sup>a,b,c</sup>	7,44±0,28 <sup>a,b,c</sup>	7,32±0,47 <sup>a,b,c</sup>
CV (UCV)	6,6±2,0 <sup>a</sup>	6,1±1,7 <sup>a</sup>	6,4±1,5 <sup>a</sup>	6,5±1,7 <sup>a</sup>	10,1±4,6 <sup>a,b</sup>	9,4±4,6 <sup>a,b</sup>	6,1±1,5 <sup>a</sup>	6,5±1,7 <sup>a</sup>
Turbidez (UNT)	10,76±5,64 <sup>a</sup>	9,36±3,47 <sup>a</sup>	12,53±8,84 <sup>a</sup>	25,17±12,02 <sup>a</sup>	14,06±4,38 <sup>a</sup>	19,67±8,15 <sup>a</sup>	20,18±24,74 <sup>a</sup>	9,56±9,67 <sup>a</sup>
OD (mg/l)	4,19±1,73 <sup>a,b,c,d</sup>	5,18±1,45 <sup>c,d</sup>	4,43±1,31 <sup>a,b,c,d</sup>	4,91±1,15 <sup>b,c,d</sup>	4,69±1,71 <sup>a,b,c,d</sup>	5,381,34 <sup>d,e</sup>	4,32±1,11 <sup>a,b,c,d</sup>	5,15±1,22 <sup>c,d</sup>
PR (mV)	-90,37±7,11 <sup>b</sup>	-59,11±9,60 <sup>d</sup>	-70,24±8,17 <sup>c</sup>	-10,38±4,33 <sup>e</sup>	-3,64±0,96 <sup>e</sup>	-72,02±39,39 <sup>c</sup>	-100,31±19,30 <sup>a,b</sup>	-36,03±6,40 <sup>d</sup>
CE (mS/cm)	7,74±3,35 <sup>b,c</sup>	4,80±1,39 <sup>a</sup>	5,30±1,70 <sup>a,b</sup>	6,15±1,71 <sup>a,b</sup>	7,24±2,36 <sup>a,b,c</sup>	4,50±1,38 <sup>a</sup>	9,66±1,80 <sup>c,d,e,f</sup>	12,18±2,79 <sup>f,g</sup>
SDT (mg/l)	4704,6±947,1 <sup>a,b,c,d</sup>	6788,6±1931,6 <sup>e</sup>	5215,2±1037,1 <sup>d,c,d,e</sup>	6001,9±1441,9 <sup>d,e</sup>	6133,4±1430,3 <sup>d,e</sup>	3702,1±1556,2 <sup>a,b</sup>	6307,0±1727,7 <sup>d,e</sup>	6885,9±2198,5 <sup>e</sup>
Salinidad	4,15±1,35 <sup>a,b</sup>	6,19±1,18 <sup>c,d,e,f</sup>	5,19±0,74 <sup>a,b,c,d</sup>	5,74±1,02 <sup>b,c,d,e</sup>	6,60±1,76 <sup>d,e,f</sup>	3,69±1,33 <sup>a</sup>	7,39±2,23 <sup>e,f</sup>	5,93±3,13 <sup>b,c,d,e</sup>
Cloruro (mg/l)	2532,63±437,62 <sup>a,b,c</sup>	1813,87±580,08 <sup>a</sup>	2038,76±519,87 <sup>a,b</sup>	2463,50±778,44 <sup>a,b,c</sup>	2173,25±394,53 <sup>a,b</sup>	1775,00±455,51 <sup>a</sup>	2734,15±475,05 <sup>b,c</sup>	3175,15±687,99 <sup>c,d</sup>
Sulfato (mg/l)	68,54±23,05 <sup>a</sup>	324,68±100,30 <sup>c</sup>	340,71±110,32 <sup>c</sup>	359,74±76,62 <sup>c</sup>	151,85±28,53 <sup>b</sup>	62,33±33,74 <sup>a</sup>	71,28±27,45 <sup>a</sup>	55,78±33,56 <sup>a</sup>
DBO (mg/l)	9,76±2,68 <sup>c,d,e</sup>	8,53±2,85 <sup>b,c,d</sup>	9,37±3,70 <sup>b,c,d,e</sup>	8,73±4,02 <sup>b,c,d</sup>	5,65±5,04 <sup>a,b,c</sup>	9,47±7,22 <sup>b,c,d,e</sup>	3,86±2,80 <sup>a</sup>	11,28±5,57 <sup>d,e</sup>

Dinámica espaciotemporal de la calidad de agua en la laguna Las Peonías (Zulia, Venezuela): 2013-2016

Parámetro/ Muestreo	Sep-13	Nov-13	Dic-13	Ene-14	Oct-14	Nov-14	Abr-15	May-15
DQO (mg/l)	194,27±118,45 <sup>a,b,c,d</sup>	207,92±78,07 <sup>a,b,c,d</sup>	307,97±107,79 <sup>d</sup>	299,86±65,73 <sup>c,d</sup>	134,32±74,81 <sup>a,b,c,d</sup>	287,64±74,16 <sup>b,c,d</sup>	77,87±56,54 <sup>a</sup>	105,28±102,72 <sup>b,c</sup>
Nitrito (mg/l)	0,093±0,034 <sup>e,f,g</sup>	0,090±0,025 <sup>d,e,f,g</sup>	0,090±0,016 <sup>d,e,f,g</sup>	0,077±0,018 <sup>c,d,e,f</sup>	0,090±0,025 <sup>d,e,f,g</sup>	0,098±0,026 <sup>f,g,h</sup>	0,052±0,007 <sup>b,c</sup>	0,065±0,016 <sup>b,c,d,e,f</sup>
Nitrato (mg/l)	0,21±0,19 <sup>a,b,c</sup>	0,06±0,02 <sup>a</sup>	0,10±0,06 <sup>a,b</sup>	0,43±0,12 <sup>c,d,e</sup>	0,55±0,22 <sup>a</sup>	0,50±0,12 <sup>d,e</sup>	0,48±0,16 <sup>d,e</sup>	0,46±0,13 <sup>d,e</sup>
Amonio (mg/l)	2,37±2,21 <sup>b,c</sup>	1,41±1,72 <sup>a,b,c</sup>	2,92±2,22 <sup>c</sup>	2,07±1,64 <sup>a,b,c</sup>	0,87±0,53 <sup>a,b</sup>	2,25±2,34 <sup>b,c</sup>	2,81±1,58 <sup>c</sup>	1,79±0,87 <sup>a,b,c</sup>
N-org (mg/l)	4,36±3,45 <sup>b,c</sup>	1,38±1,72 <sup>a</sup>	2,32±1,94 <sup>a,b</sup>	2,26±1,97 <sup>a,b</sup>	4,61±2,63 <sup>b,c</sup>	3,41±2,47 <sup>b,c</sup>	3,86±2,56 <sup>a,b,c</sup>	4,75±3,91 <sup>b,c</sup>
NT (mg/l)	7,04±3,15 <sup>b,c</sup>	2,94±3,30 <sup>a</sup>	5,43±3,49 <sup>a,b,c</sup>	4,84±3,26 <sup>a,b</sup>	6,12±2,62 <sup>a,b,c</sup>	6,27±2,11 <sup>b,c</sup>	7,21±2,69 <sup>b,c</sup>	7,07±3,79 <sup>b,c</sup>
Ortofosfato (mg/l)	1,74±0,73 <sup>c</sup>	1,73±0,69 <sup>c</sup>	1,37±0,75 <sup>b,c</sup>	0,72±0,14 <sup>a</sup>	1,59±0,63 <sup>b,c</sup>	1,86±0,58 <sup>c</sup>	1,09±0,65 <sup>a,b</sup>	1,00±0,30 <sup>a,b</sup>
PT (mg/l)	3,15±1,44 <sup>d</sup>	3,13±2,07 <sup>c,d</sup>	3,39±2,23 <sup>d</sup>	1,02±0,14 <sup>a</sup>	2,74±0,93 <sup>b,c,d</sup>	3,21±0,82 <sup>d</sup>	2,71±1,93 <sup>b,c,d</sup>	1,74±0,44 <sup>b,c</sup>
BCT (NMP/100 ml)	177,0±194,94 <sup>a</sup>	522,65±728,56 <sup>a</sup>	400,00±0,00 <sup>a</sup>	400,00±0,00 <sup>a</sup>	269,05±285,43 <sup>a</sup>	191,90±457,09 <sup>a</sup>	1417,40±5337,93 <sup>a</sup>	395,65±664,06 <sup>a</sup>
BCF (NMP/100 ml)	75,90±6924 <sup>a</sup>	175,85±357,59 <sup>a</sup>	300,00±0,00 <sup>a</sup>	300,00±0,00 <sup>a</sup>	115,00±116,64 <sup>a</sup>	131,05±328,61 <sup>a</sup>	323,55±1015,38 <sup>a</sup>	127,95±170,19 <sup>a</sup>

Parámetro/ Muestreo	Jun-15	Jul-15	Ago-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Ago-16	Sep-16
Temperatura (°C)	30,48±1,06 <sup>b,c,d</sup>	30,18±0,69 <sup>b,c</sup>	30,24±0,63 <sup>b,c,d</sup>	30,30±0,76 <sup>b,c,d</sup>	30,49±0,46 <sup>b,c,d</sup>	30,39±0,49 <sup>b,c,d</sup>	31,05±1,32 <sup>c,d</sup>	31,15±1,27 <sup>d</sup>
pH	7,37±0,38 <sup>a,b,c</sup>	7,60±0,24 <sup>c</sup>	7,57±0,26 <sup>b,c</sup>	7,28±0,31 <sup>a,b,c</sup>	7,51±0,33 <sup>b,c</sup>	7,57±0,22 <sup>c</sup>	7,54±0,21 <sup>b,c</sup>	7,47±0,29 <sup>b,c</sup>
CV (UCV)	6,5±1,9 <sup>a</sup>	6,8±1,8 <sup>a</sup>	6,9±2,0 <sup>a</sup>	6,6±2,0 <sup>a</sup>	6,4±1,7 <sup>a</sup>	5,6±1,4 <sup>a</sup>	19,3±11,3 <sup>c</sup>	14,0±11,2 <sup>b</sup>
Turbidez (UNT)	8,69±7,73 <sup>a</sup>	5,96±6,10 <sup>a</sup>	36,96±29,74 <sup>a</sup>	21,28±9,73 <sup>a</sup>	32,78±27,75 <sup>a</sup>	21,49±9,99 <sup>a</sup>	30,53±13,13 <sup>a</sup>	192,25±177,03 <sup>a</sup>
OD (mg/l)	4,47±0,93 <sup>a,b,c,d</sup>	3,86±0,73 <sup>a,b,c</sup>	4,04±0,94 <sup>a,b,c,d</sup>	4,80±1,12 <sup>b,c,d</sup>	4,14±0,47 <sup>a,b,c,d</sup>	5,22±0,91 <sup>c,d</sup>	3,39±1,38 <sup>a</sup>	3,64±1,71 <sup>a,b</sup>
PR (mV)	-3,03±0,68 <sup>e</sup>	-2,77±0,56 <sup>e</sup>	-1,06±2,65 <sup>e</sup>	-5,00±0,59 <sup>e</sup>	-6,01±1,14 <sup>e</sup>	-8,37±1,26 <sup>e</sup>	-98,75±23,40 <sup>a,b</sup>	-106,31±16,14 <sup>a</sup>
CE (mS/cm)	12,09±2,99 <sup>f,g</sup>	12,57±3,23 <sup>a</sup>	10,67±2,88 <sup>b,c,d,e,f,g</sup>	7,83±3,47 <sup>b,c,d</sup>	11,10±2,64 <sup>f,g</sup>	6,46±2,83 <sup>b</sup>	10,76±2,67 <sup>a,b,c</sup>	7,93±2,95 <sup>b,c,d,e</sup>
SDT (mg/l)	6575,3±1726,7 <sup>a</sup>	6904,6±2208,1 <sup>e</sup>	5577,5±1441,7 <sup>c,d,e</sup>	3831,6±1699,9 <sup>a,b</sup>	5691,5±1313,4 <sup>d,e</sup>	3163,4±1384,8 <sup>a</sup>	5274,1±1308,4 <sup>b,c,d,e</sup>	3884,0±1445,5 <sup>a,b,c</sup>
Salinidad	8,18±2,27 <sup>f</sup>	8,22±2,79 <sup>f</sup>	6,45±1,78 <sup>a,f</sup>	4,37±2,01 <sup>b,c</sup>	6,61±1,60 <sup>d,f</sup>	3,56±1,62 <sup>a</sup>	6,13±1,66 <sup>b,c,d,e</sup>	4,42±1,71 <sup>a,b,c</sup>
Cloruro (mg/l)	2829,65±737,59 <sup>b,c,d</sup>	1851,93±921,02 <sup>a</sup>	2622,91±743,51 <sup>a,b,c</sup>	2736,65±550,16 <sup>b,c</sup>	2384,26±682,87 <sup>a,b,c</sup>	1800,69±332,40 <sup>a</sup>	3598,88±1003,37 <sup>d</sup>	2609,19±1901,74 <sup>a,b,c</sup>
Sulfato (mg/l)	86,24±44,89 <sup>a</sup>	60,78±35,24 <sup>a</sup>	68,04±25,92 <sup>a</sup>	80,94±44,98 <sup>a</sup>	59,60±26,65 <sup>a</sup>	70,69±43,06 <sup>a</sup>	71,69±20,95 <sup>a</sup>	69,94±27,76 <sup>a</sup>
DBO (mg/l)	12,29±3,95 <sup>d,e</sup>	13,13±4,69 <sup>a</sup>	9,32±2,55 <sup>b,c,d,e</sup>	9,88±2,36 <sup>d,e</sup>	5,32±3,20 <sup>a,b</sup>	12,42±4,33 <sup>d,e</sup>	3,35±1,75 <sup>a</sup>	2,43±1,19 <sup>a</sup>
DQO (mg/l)	147,47±119,44 <sup>a,b,c,d</sup>	88,73±53,03 <sup>a,b</sup>	112,52±57,11 <sup>a,b,c,d</sup>	148,64±97,83 <sup>a,b,c,d</sup>	115,80±49,70 <sup>b,c,d</sup>	152,38±53,44 <sup>a,b,c,d</sup>	574,81±419,95 <sup>e</sup>	859,26±516,79 <sup>f</sup>
Nitrito (mg/l)	0,057±0,011 <sup>b,c,d</sup>	0,059±0,015 <sup>b,c,d,e</sup>	0,118±0,045 <sup>a,b</sup>	0,075±0,053 <sup>c,d,e,f</sup>	0,130±0,051 <sup>h</sup>	0,091±0,027 <sup>b,e,f,g</sup>	0,031±0,042 <sup>a,b</sup>	0,017±0,035 <sup>a</sup>
Nitrato (mg/l)	0,35±0,27 <sup>c,d,e</sup>	0,46±0,17 <sup>d,e</sup>	0,39±0,18 <sup>d,e</sup>	0,33±0,16 <sup>c,d,e</sup>	0,89±0,58 <sup>f</sup>	0,31±0,16 <sup>b,c,d</sup>	0,32±0,13 <sup>b,c,d</sup>	0,40±0,08 <sup>c,d,e</sup>
Amonio (mg/l)	1,05±0,79 <sup>a,b</sup>	1,02±1,02 <sup>a,b</sup>	2,71±1,39 <sup>c</sup>	2,19±0,82 <sup>b,c</sup>	0,57±0,40 <sup>a</sup>	1,70±1,80 <sup>a,b,c</sup>	1,84±0,75 <sup>a,b,c</sup>	1,71±0,88 <sup>a,b,c</sup>
N-org (mg/l)	4,52±2,62 <sup>b,c</sup>	4,33±3,21 <sup>a,b,c</sup>	3,06±2,56 <sup>a,b,c</sup>	5,79±3,80 <sup>e</sup>	3,86±2,50 <sup>a,b,c</sup>	3,04±3,15 <sup>a,b,c</sup>	5,17±1,83 <sup>b,c</sup>	5,23±1,92 <sup>b,c</sup>
NT (mg/l)	5,98±2,90 <sup>a,b,c</sup>	5,87±3,46 <sup>a,b,c</sup>	6,28±2,66 <sup>c</sup>	8,39±3,62 <sup>c</sup>	5,45±2,72 <sup>a,b,c</sup>	5,14±3,23 <sup>a,b,c</sup>	7,35±2,09 <sup>c</sup>	7,36±2,21 <sup>b,c</sup>
Ortofosfato (mg/l)	1,28±0,43 <sup>a,b,c</sup>	1,33±0,64 <sup>a,b,c</sup>	1,34±0,43 <sup>a,b,c</sup>	1,30±0,55 <sup>a,b,c</sup>	1,52±0,60 <sup>b,c</sup>	1,55±0,47 <sup>b,c</sup>	0,74±0,12 <sup>a</sup>	1,05±0,77 <sup>a,b</sup>
PT (mg/l)	2,42±1,27 <sup>a,b,c,d</sup>	2,53±1,24 <sup>b,c,d</sup>	2,26±1,05 <sup>a,b,c,d</sup>	2,94±1,22 <sup>c,d</sup>	2,51±1,20 <sup>b,c,d</sup>	3,08±1,36 <sup>c,d</sup>	1,42±0,25 <sup>a,b</sup>	2,22±0,73 <sup>a,b,c,d</sup>
BCT (NMP/100 ml)	133,40±534,20 <sup>a</sup>	412,00±725,79 <sup>a</sup>	308,95±679,82 <sup>a</sup>	720,15±1157,96 <sup>a</sup>	550,45±667,03 <sup>a</sup>	1293,45±2454,56 <sup>a</sup>	2068,80±5266,92 <sup>a,b</sup>	5487,45±9534,71 <sup>a</sup>
BCF (NMP/100 ml)	58,55±207,82 <sup>a</sup>	409,65±726,42 <sup>a</sup>	144,55±338,27 <sup>a</sup>	293,35±554,09 <sup>a</sup>	190,70±295,27 <sup>a</sup>	600,80±1094,58 <sup>a</sup>	421,70±502,20 <sup>a</sup>	4736,35±8648,31 <sup>a</sup>

**n=320**, DE: desviación estándar. CV: color verdadero. OD: oxígeno disuelto. PR: potencial redox. CE: conductividad eléctrica. SDT: sólidos disueltos totales. DBO: demanda biológica de oxígeno. DQO: demanda química de oxígeno. N-org: nitrógeno orgánico. NT: nitrógeno total. PT: fósforo total. BCT: bacterias coliformes totales. BCF: bacterias coliformes fecales. Letras diferentes en una misma fila representan diferencias significativas según prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Fuente:** elaboración propia.

## Color verdadero y turbidez

Los niveles de CV del agua superficial variaron entre 5,0 (todos) y 50,0 UC (E9 sept-16); con una media aritmética de  $8,1 \pm 5,7$  UC (Tabla 1). La variabilidad espacial fue altamente significativa ( $p < 0,0001$ ), con los mayores valores en E9 (adyacencias de la cañada Iragorri); y los menores, distribuidos en el resto de las estaciones (prueba de Tukey, Tabla 2). Temporalmente, también se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ), con intensidades mayores en ago-16 (transición sequía-lluvia); intensidades medias en oct-14 (lluvia), nov-14 (transición lluvia-sequía) y sep-16 (lluvia); mientras que las menores se obtuvieron en los muestreos restantes (prueba de Tukey, Tabla 3). La interacción estación-muestreo fue, de igual manera, altamente significativa ( $p < 0,0001$ ). De esta manera, se evidenció que la variabilidad del CV en la laguna Las Peonías está determinada por las precipitaciones, debido al aumento de sustancias disueltas y coloidales en el agua superficial (Crites y Tchobanoglous, 2000; Sierra, 2011).

Los tenores de CV de las aguas superficiales de la laguna Las Peonías resultan comparables a los de la laguna de Perlas (Nicaragua), que son de 5 a 70 UC, y menores que los de la laguna de Yuriria (México), cuyos niveles son de 17 a 176 UCV, debido a las diferencias de sustancias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos, metabolitos orgánicos y sales solubles propias de cada ambiente (Molina, 2001; Espinal, Sedeño y López, 2013; Marín, 2003).

En la Tabla 1 se presentan los niveles de turbidez durante el periodo de estudio, con media aritmética de  $29,45 \pm 62,52$  UNT, mínimo de 0,60 UNT (E8 ago-15) y máximo de 683,01 UNT (E9 sep-16). La turbidez varió significativamente desde el punto de vista espacial ( $p < 0,05$ ); temporal ( $p < 0,0001$ ) y para la interacción estación-muestreo ( $p < 0,0001$ ). Los menores valores se observaron en E7 (espejo de agua); los mayores, en E9 (adyacencias de la cañada Iragorri); y los intermedios, en las otras estaciones (prueba de Tukey, Tabla 2).

Con respecto a los muestreos, en sep-16 (lluvia) se presentaron los mayores tenores de turbidez

(Tabla 3), como consecuencia de las precipitaciones, lo cual aumenta la resuspensión de sedimentos en los cauces y la posible influencia de los desechos domésticos e industriales, correspondientes a las zonas de descargas. No obstante, en estos cuerpos de agua con relativa quietud, la mayor parte de la turbidez se debe a dispersiones coloidales extremadamente finas, cuya tendencia restringe los usos del agua, lo que, además, indica el deterioro estético de las masas de agua (Sierra, 2011; Sawyer, McCarty y Parkin, 2001).

El grado de turbidez del agua superficial de la laguna es comparable, relativamente, con el reportado por Espinoza y Morales (2008) para este mismo ecosistema, cuyos valores oscilan entre 5,6 y 74,7 UNT (media  $40,2 \pm 48,9$  UNT). Son, además, mayores a los indicados para la laguna Los Milagros (Perú), que varían de 29,31 a 44,79 UNT, y mucho menores a los determinados para la laguna Yuriria (México), cuyos valores oscilan entre 37,9 y 1643,7 UNT, debido a las diferencias bióticas y abióticas de las regiones geográficas particulares (Espinal *et al.*, 2013; Peña, 2015).

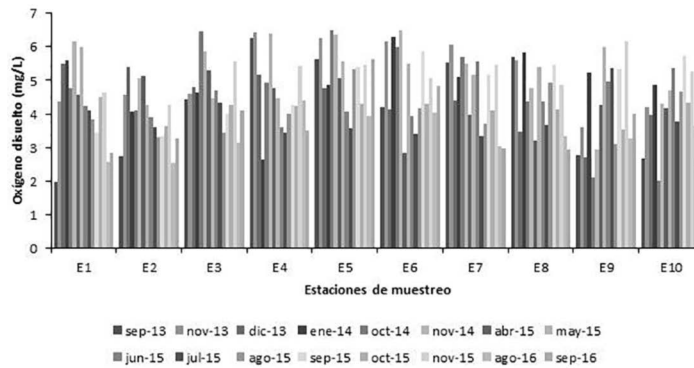
## Oxígeno disuelto y potencial redox

Las concentraciones de OD oscilaron entre 1,17 mg/l (E1 ago-16) y 6,50 mg/l (E5 oct-14 y E6 nov-14); con una media aritmética de  $4,49 \pm 1,35$  mg/l (Tabla 1). Los resultados mostraron diferencias significativas entre las estaciones de muestreo ( $p < 0,01$ ), con los menores valores en E2 (caño Araguato) y E9 (adyacencias de la cañada Iragorri) y los mayores en E5 (espejo de agua), de acuerdo con la prueba de Tukey (Tabla 2). La diferencia entre los muestreos (variabilidad temporal) fue altamente significativa ( $p < 0,0001$ ): se obtuvieron las menores concentraciones de OD en ago-16 (transición sequía-lluvia), mientras que las mayores se presentaron durante nov-14 (transición lluvia-sequía) (Tabla 3, Figura 2). Para la interacción estación-muestreo no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Las fluctuaciones del OD en el agua superficial son dependientes de diversos factores físicos, químicos y biológicos, los cuales pueden contribuir a su generación o consumo (Marín, 2003; Sawyer *et al.*, 2001). En el caso de la laguna Las Peonías, el descenso

de este parámetro en las adyacencias de la cañada Iragorri y el caño Araguato estaría relacionado con un aporte exógeno de materia orgánica, procedente de asentamientos urbanos e industriales (E9), y del lago de Maracaibo (E2, Figura 1), respectivamente; aporte que contribuye a la reducción de su contenido,

debido a los procesos de oxidación microbiana (Maidigan, Martinko y Parker, 2003). Teniendo en cuenta la cantidad media de OD presente en la laguna (Tabla 1), el cuerpo de agua se encuentra cercano al valor mínimo requerido para albergar la vida (4 mg/l), de acuerdo con Aznar, Amaro y Alcaide (1991).



**Figura 2.** Dinámica espaciotemporal media de oxígeno disuelto en el agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

Los niveles de OD encontrados son menores a los reportados previamente para esta laguna por Pernalet *et al.* (1979), Castro *et al.* (1981), Rivas (1989) y González (2008), quienes reportan concentraciones desde 13,35 hasta 29,57 mg/l, lo cual podría estar relacionado con los periodos estudiados o con problemas analíticos durante las mediciones, ya que los valores son extrañamente elevados. En contraste, los datos resultan mayores a los señalados por González y Hernández (1991), con concentraciones medias de 2,61 mg/l; mientras que Mora (2009) presentó contenidos medios de 5,54 mg/l; todos para este mismo cuerpo de agua. Adicionalmente, los valores resultan menores a los reportados por Polo *et al.* (2014) para el lago de Maracaibo, que oscilan entre 4,32 y 8,50 mg/l, y comparables a los indicados por Rendón *et al.* (2012), con una media anual de 4,71 mg/l, para la laguna de Chautengo (México), ecosistema afectado por la eutroficación.

Contrastando los valores obtenidos con la normativa nacional vigente en materia de calidad de agua (Decreto 883, 1995), se observó que el contenido de OD está por debajo de la concentración

mínima permisible (5 mg/l) para balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia (tipo 4), en consecuencia, el agua de la laguna no resulta apta para estos fines.

El potencial redox (PR) presentó una media aritmética de  $-41,52 \pm 42,46$  mV; con un rango de valores entre  $-140,30$  (E4 abr-15) y  $1,50$  mV (E9 ago-15, Tabla 1). Este parámetro no mostró diferencias espaciales significativas ( $p > 0,05$ ), pero sí desde el punto de vista temporal ( $p < 0,0001$ ), considerando que se calcularon los menores valores durante sep-16 (lluvia) y los mayores en ene-14 (sequía), oct-14 (lluvia), jun-15 (transición lluvia-sequía), jul-15 (sequía), ago-15 (transición sequía-lluvia), sep-15 (lluvia), oct-15 (lluvia) y nov-15 (transición lluvia-sequía). Para la interacción estación-muestreo, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

Las aguas con potenciales de óxido-reducción bajos contienen abundantes compuestos en estado reducido, apenas oxígeno y cantidades apreciables de sulfuros, amoníaco y materias orgánicas difícilmente mineralizables. Cuando los valores son inferiores a 13 mV, imperan estas condiciones

de reducción, características de aguas sépticas y malolientes (Marín, 2003), como en el caso de la laguna Las Peonías, cuyo máximo tenor se ubicó en 1,50 mV; producto de una baja circulación y oxigenación de las aguas, aunado a altas tasas de descomposición de material orgánico, donde el O<sub>2</sub> se utiliza como aceptor final de electrones durante los procesos aeróbicos (Madigan *et al.*, 2003). Así, se encontró una correlación directa positiva entre el contenido de OD y el PR en el agua superficial de la laguna Las Peonías ( $r=0,114$ ;  $p<0,05$ ).

Parra y Espinosa (2008) reportaron valores de PR entre 10 y 90 mV para agua superficial de la ciénaga grande de Santa Marta (Colombia), los cuales son mayores a los encontrados en la laguna Las Peonías, debido, posiblemente, a diferencias hidrológicas y ecológicas entre los dos ecosistemas. También resultan menores a los encontrados en la laguna somera de Chilika (India) de  $-0,32$  a  $179,38$  mV, un ecosistema básicamente mesotrófico (Barik *et al.*, 2019).

## Conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad

La CE se presentó en un rango entre 0,07 mS/cm (E8 sep-13) y 17,31 mS/cm (E10 jul-15), con una media aritmética de  $8,56\pm 3,68$  mS/cm (Tabla 1). Se encontraron diferencias altamente significativas de estos valores ( $p<0,0001$ ), respecto a las estaciones de muestreo (espacial), los periodos de muestreo (temporal), y para la interacción estación-muestreo. La prueba de Tukey mostró que los menores valores se encuentran en E9 (adyacencias de la cañada Iragorri) y los mayores, en E1 (entrada caño Araguato, Tabla 2). Con respecto a la variabilidad temporal, durante nov-13 (transición lluvia-sequía) y nov-14 (transición lluvia-sequía), se obtuvieron los menos tenores de CE; mientras que los mayores se ubicaron en jul-15 (sequía), según se muestra en la Tabla 3.

Las variaciones de CE están relacionadas con las características geoquímicas de la región donde se localizan los cuerpos de agua y con las condiciones climáticas (época seca y de lluvia). La dilución de iones ocurre durante la época de lluvia; mientras que su concentración, por evaporación del agua, tiene lugar en época de sequía (Esteves,

1988; Aznar, 2000). Este planteamiento anterior puede explicar las variaciones espaciotemporales de CE encontradas durante esta investigación, las cuales resultaron, principalmente, de los aportes de agua salobre, a través del caño Araguato, y de agua dulce, por las cañadas (Figura 1).

Los niveles de CE encontrados son menores a los reportados por González (2008) para esta misma laguna, los cuales estuvieron entre 14,44 y 15,21 mS/cm. No obstante, Mora (2009) señaló valores de 0,6-14,5 mS/cm, valores comparables a los presentados en este estudio. Asimismo, resultan menores a los de 53,1-58,6 mS/m, encontrados por Aknaf *et al.* (2017) en la laguna Marchica (Marruecos), caracterizada por su conexión con el mar Mediterráneo, a través de un canal artificial.

Las concentraciones de SDT oscilaron entre 319,1 (E10 sep-15) y 10070,0 mg/l (E7 jul-15); con media aritmética de  $5415,1\pm 1957,5$  mg/l (tabla 1). Se observaron diferencias altamente significativas ( $p<0,0001$ ) de los SDT, con respecto a las estaciones y los muestreos, así como para la interacción estación-muestreo, cuya variabilidad espacial estuvo caracterizada por valores bajos en E9 (adyacencias de la cañada Iragorri) y altos en E7 (espejo de agua), según la prueba de Tukey (tabla 2). Mientras que, en la temporalidad, se presentaron los niveles más bajos en nov-15 (transición lluvia-sequía) y los más altos en nov-13 (transición lluvia-sequía), may-15 (lluvia), jun-15 (transición lluvia-sequía) y jul-15 (sequía), también según la prueba de Tukey (tabla 3).

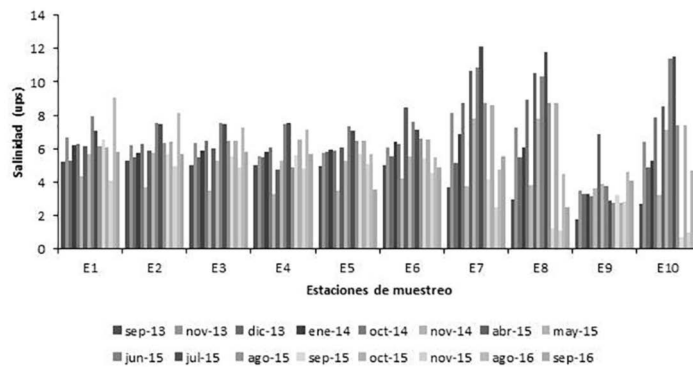
La medida de SDT incluye el contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas del agua en forma molecular, ionizada o en suspensión microgranular, representadas por minerales, sales, metales, cationes y aniones disueltos, por tanto, su variabilidad depende de las posibles fuentes, que puede estar constituidas por hojas, sedimentos, plancton, desechos industriales y aguas residuales, escorrentías de zonas urbanas, fertilizantes y pesticidas, entre otros (Panachlor, 2019). Considerando que su medición está basada en la determinación de la CE, normalmente existe una correlación directa significativa entre estos dos parámetros (Panachlor, 2019; Sawyer *et al.*,

2001); como la encontrada en este trabajo para el agua superficial de la laguna ( $r=0,574$ ;  $p<0,01$ ).

Las concentraciones de SDT determinadas resultan ligeramente menores que las reportadas por González (2008) para este mismo ecosistema (5606,0-11 400,0 mg/l). Además, son mayores a las señaladas para la laguna De Los Padres (Argentina), cuyo rango es 412-569 mg/l, debido a su carácter lóxico (Colasurdo, Díaz, Grosman y Sanzano, 2011).

En cuanto a la salinidad, se obtuvieron niveles entre 0,30 (E10 sep-15) y 12,31 (E7 jul-15); con una media de  $5,80\pm 2,31$  (Tabla 1). La diferenciación espacial de estos valores fue altamente significativa ( $p<0,0001$ ),

donde E9 (adyacencias de la cañada Irigorri) exhibió los valores más bajos y el resto de las estaciones valores mayores (prueba de Tukey, tabla 2). La variabilidad temporal estuvo caracterizada de igual manera por diferencias altamente significativas ( $p<0,0001$ ) de las concentraciones (figura 3), cuyos valores más bajos se presentaron durante nov-14 (transición lluvia-sequía) y nov-15 (transición lluvia-sequía); los más altos en jun-15 (transición lluvia-sequía) y jul-15 (sequía), según la prueba de Tukey (tabla 3). Los datos también fueron significativamente diferentes ( $p<0,0001$ ), para la interacción estación-muestreo.



**Figura 3.** Dinámica espaciotemporal media de salinidad en el agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

Según la clasificación del sistema de Venice, la laguna Las Peonías puede clasificarse como una zona mixomesohalina, cuyos valores de salinidad van desde 5 hasta 18; aunque en algunas áreas cercanas a las cañadas puede ser del tipo mixooligohalina (entre 0,5 y 5), de acuerdo con Herman (1997). Esta salinidad se origina, principalmente, por el intercambio con agua salobre del lago de Maracaibo, a través del caño Araguato.

Los niveles de salinidad encontrados en este estudio son ligeramente mayores a los obtenidos por Mora (2009) y González *et al.* (2012) para este cuerpo de agua, quienes reportaron valores entre 0,0 y 9,9; lo cual puede estar relacionado con los periodos de mediciones y el régimen hidráulico del lugar. De igual manera, son mayores a los

encontrados por G. de la Lanza *et al.* (2008) para la laguna Tres Palos (México), reportados en el rango 2,3-3,7; y menores a los de Rendón *et al.* (2012) para la laguna de Chautengo (México), los cuales fueron de tenores desde 0,7 hasta 38, resultado de la interacción con agua dulce y marina, respectivamente.

### Cloruro y sulfato

Las concentraciones de cloruro para el periodo analizado oscilaron entre 100,01 mg/l (E9 nov-13) y 9996,90 mg/l (E9 sep-16); con una media aritmética de  $2446,28\pm 920,78$  mg/l (Tabla 1). Los datos no variaron significativamente ( $p>0,05$ ) con respecto a la estación de muestreo (tabla 2), ni para la interacción estación-muestreo. La variabilidad temporal fue significativamente diferente ( $p<0,0001$ ),



con los mayores tenores en ago-16 (transición sequía-lluvia) y los menores en nov-13 (transición lluvia-sequía), nov-14 (transición lluvia-sequía), jul-15 (sequía) y nov-15 (transición lluvia-sequía), según resultados de la prueba de Tukey (Tabla 3).

En los cuerpos de agua, el contenido de cloruro aumenta conforme con el aumento del contenido de minerales, los cuales están en gran proporción en el agua marina, como producto de la convergencia de los contenidos minerales de las aguas superficiales y la evaporación (Marín, 2003; Sawyer *et al.*, 2001). De esta manera, se observó una correlación directa significativa entre la concentración de SDT y el contenido de cloruro de  $r=0,307$  ( $p<0,01$ ). Por ello, la variabilidad espaciotemporal de cloruro en la laguna Las Peonías resulta de la dinámica hídrica del sistema, en relación con los aportes diferenciales de agua dulce de las cañadas y agua salobre del lago de Maracaibo, a través del caño Araguato (E9), aunado al régimen de mareas.

Los contenidos de cloruro observados son menores a los indicados para este cuerpo de agua por Peralete *et al.* (1979), Castro *et al.* (1981), Rivas (1989), González y Hernández (1991), González (2008) y Mora (2009), quienes reportaron valores en el rango 5186,41-8415,33 mg/l. Estas diferencias pueden atribuirse a la extensión de los periodos de muestreo, así como a los aportes diferenciales de las distintas fuentes de agua en la cuenca (cañadas frente a caño Araguato). En contraste, Colasurdo *et al.* (2011) determinaron concentraciones entre 1,58 y 2,25 mg/l en la laguna De Los Padres (Argentina), las cuales son bastante bajas, debido a la poca influencia marina en ese ecosistema.

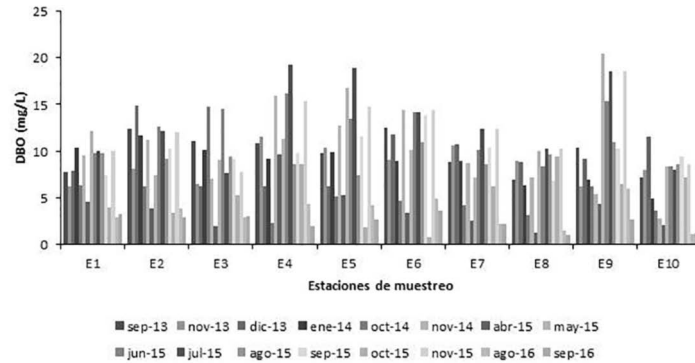
En la laguna Las Peonías las concentraciones de sulfato fluctuaron entre 13,48 mg/l (E1 may-15) y 516,10 mg/l (E9 ene-14), con una media aritmética de  $125,18\pm 117,71$  mg/l (Tabla 1). No se obtuvieron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) de los valores entre las estaciones de muestreo (Tabla 2), ni para la interacción estación-muestreo. Temporalmente, los datos variaron significativamente ( $p<0,0001$ ), con los niveles mayores durante nov-13 (transición lluvia-sequía), dic-13 (sequía) y ene-14 (sequía); intermedios en oct-14 (lluvia) y menores en el resto de las campañas de muestreo (prueba de Tukey, Tabla 3).

El sulfato en el agua proviene principalmente de la disolución de minerales de las rocas, de procesos bacterianos relacionados y del agua marina (Sawyer *et al.*, 2001; Marín, 2003), de manera que las concentraciones encontradas en la laguna estarían afectadas por alguna o todas estas fuentes, lo que modifica su disponibilidad en el tiempo y el espacio. Asimismo, el aporte de agua salobre del lago de Maracaibo, a través del caño Araguato, con composiciones iónicas muy diferentes, interviene sobre esta variabilidad (F. Parra, 1986).

Al comparar las concentraciones de sulfato obtenidas con las reportadas por Hernández (1997) para la laguna de Sinamaica (Venezuela), con un rango de 0,01 a 2916,97 mg/l, resultan menores, debido al aporte continuo y puntual de desechos antropogénicos y agrícolas, a la intemperización de las rocas de la cuenca de drenaje, la precipitación atmosférica y a las aguas provenientes de la explotación de minas de carbón, que son vertidas directamente a la laguna de Sinamaica por el río Guasare. Por su parte, Espinal *et al.* (2013) indicaron concentraciones de sulfato de 28,4 a 115,7 mg/l para la laguna de Yuriria (México), que resultan inferiores a las de la laguna Las Peonías, debido a los contrastes en cuanto al intercambio con agua de mar y las características geológicas de cada cuenca hidrográfica.

## Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en el agua superficial de la laguna Las Peonías fue estimado como DBO y DQO, para conocer la cantidad de material carbonado biodegradable y la cantidad total, respectivamente. Las concentraciones medias de DBO se ubicaron en  $8,42\pm 5,01$  mg/l, con un rango desde 0,20 mg/l (E2 oct-15) hasta 20,48 mg/l (E9 may-14, tabla 1). La comparación espacial de los datos no mostró diferencias significativas ( $p>0,05$ , Tabla 2), ni para la interacción estación-muestreo. La dispersión temporal varió significativamente ( $p<0,0001$ ; Figura 4), con los niveles mayores durante jul-15 (sequía) y los menores en abr-15 (transición sequía-lluvia), ago-16 (transición sequía-lluvia) y sep-16 (lluvia), según la prueba de Tukey (Tabla 3).



**Figura 4.** Dinámica espaciotemporal media de demanda biológica de oxígeno (DBO) en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

La magnitud y la variabilidad del material orgánico biodegradable en las aguas naturales están relacionadas con el estado trófico del ecosistema y el tipo de influencia a que está sometido tales como contribución alóctona o contaminación, entre otros (Roldán y Ramírez, 2008). En la laguna Las Peonías, esto está representado por los aportes de las cañadas (aguas residuales y escorrentías) y del lago de Maracaibo, a través del caño Araguato.

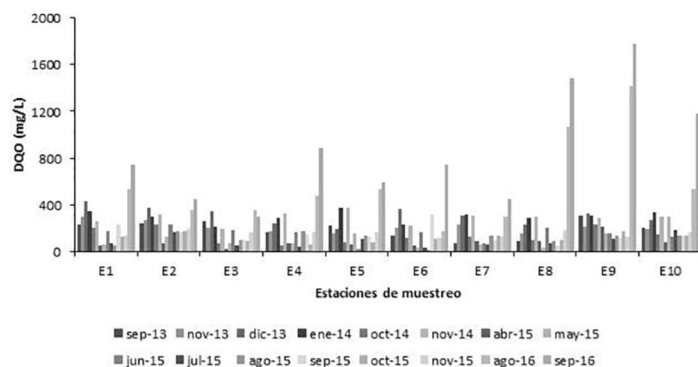
De esta manera, las concentraciones de DBO correlacionaron significativamente ( $p < 0,05$ ) con la temperatura ( $r = -0,147$ ), OD ( $r = 0,235$ ), PR ( $r = 0,277$ ), salinidad ( $r = -0,128$ ), cloruro ( $r = -0,187$ ), turbidez ( $r = -0,214$ ), CV ( $r = -0,232$ ), DQO ( $r = -0,288$ ) y nitrato ( $r = 0,203$ ). Estos parámetros determinan la dinámica temporal de la materia orgánica biodegradable en esta laguna.

Las concentraciones de demanda biológica de oxígeno (BDO) de la laguna resultan inferiores a las determinadas por González (2008) para este mismo cuerpo de agua (11,65-92,20 mg/l), tal vez, debido a una reducción en el influjo de desechos biodegradables al cuerpo de agua o a las diferencias entre los

periodos de estudio. Asimismo, son menores a las encontradas en la laguna Yuriria (México), donde se calcularon en el rango 0,4-47,5 mg/l (Espinal *et al.*, 2013), y mayores a las indicadas para la laguna somera Chilika (India), un ecosistema con bajo impacto antropogénico, donde fueron calculados entre 1,14 y 5,29 mg/l (Barik *et al.*, 2019).

Las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO), por su parte, fluctuaron entre 5,25 mg/l (E6 ago-15) y 2074,07 mg/l (E9 sep-16), con una media aritmética de  $238,42 \pm 269,27$  mg/l, datos que presentan bastante dispersión con respecto a la media (Tabla 1). En la Figura 5, se presenta la variabilidad espacial y temporal de los valores, los cuales no mostraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las estaciones (Tabla 2).

Con respecto a los periodos de muestreo, se observaron diferencias altamente significativas de los datos ( $p < 0,0001$ ), igual que para la interacción estación-muestreo. Las menores concentraciones se ubicaron en abr-15 (transición sequía-lluvia) y los mayores en sep-16 (lluvia), de acuerdo con la prueba de Tukey (tabla 3).



**Figura 5.** Dinámica espaciotemporal media de demanda química de oxígeno (DQO) en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

Como se mencionó, el contenido orgánico de las aguas naturales es dependiente del nivel trófico del ecosistema (ejemplo: productividad primaria y nutrientes) y de las contribuciones alóctonas, incluyendo la contaminación (Roldán y Ramírez, 2008); que en el caso de la laguna Las Peonías provienen principalmente de la cañada Iragorri (E9) y del caño Araguato.

En este sentido, la DQO se correlacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con la temperatura ( $r = 0,165$ ), OD ( $r = -0,203$ ), PR ( $r = -0,441$ ), CE ( $r = -0,198$ ), SDT ( $r = -0,256$ ), salinidad ( $r = -0,245$ ), turbidez ( $r = 0,597$ ), CV ( $r = 0,597$ ), DBO ( $r = -0,288$ ), nitrito ( $r = -0,310$ ) y también nitrato ( $r = -0,121$ ). Estos parámetros determinan su variabilidad espaciotemporal en el agua superficial de este ecosistema.

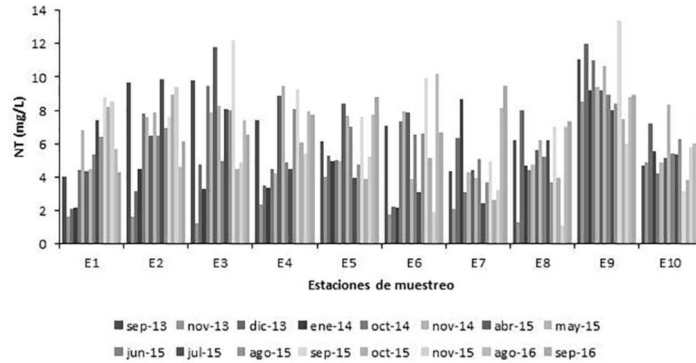
Los resultados son similares a los reportados por González (2008) en estudios previos de la laguna Las Peonías, cuyos valores estuvieron entre 73,3 y 1758,7 mg/l. De igual manera, se encuentran muy por encima a los señalados por Mora (2009), con concentraciones que oscilaron entre 6,0 y 48 mg/l para esta misma laguna. Esta disparidad puede deberse al aumento del vertido de efluentes al cuerpo de agua en el tiempo, con sustancias complejas como detergentes o insecticidas, que afectan la calidad del agua y, por ende, su biota. A ello, se suma al escurrimiento superficial y los drenajes de las comunidades establecidas alrededor o cerca de la laguna (Rosado y Castro, 2011). Por su parte, los

niveles de DQO resultan mayores a los obtenidos por G. de la Lanza *et al.* (2008), quienes reportaron valores en el rango de 102-476 mg/l para la laguna de Tres Palos (México), como consecuencia del nivel trófico del ecosistema.

## Nitrógeno

En la Tabla 1 se presentan las concentraciones media, máxima y mínima de las diferentes formas de nitrógeno analizadas en el agua superficial de la laguna. El nitrito se encontró en  $0,077 \pm 0,042$  mg/l; con valores que oscilaron entre 0,002 mg/l (varias estaciones y muestreos) y 0,289 mg/l (E6 sep-15). El nitrato varió en el rango de menos de 0,02 mg/l (E2 jun-15) a 2,35 mg/l (E9 oct-15); el amonio de 0,05 mg/l (E1 sep-13) a 9,32 mg/l (E9 sep-13); el N-org de 0,02 mg/l (E6 ago-15) a 14,50 mg/l (E9 sep-15); y el NT de 0,52 mg/l (E1 sep-13) a 17,37 mg/l (E9 sep-15).

Los niveles de NT no variaron significativamente ( $p > 0,05$ ) entre las estaciones de muestreo (Tabla 2). En relación con la temporalidad, se obtuvieron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ). Durante nov-13 (transición lluvia-sequía), se observaron las concentraciones más bajas, mientras que las más altas fueron obtenidas en sep-15 (lluvia), como se muestra en la Figura 6. No se presentaron diferencias significativas de las concentraciones de NT para la interacción estación-muestreo ( $p > 0,05$ ).



**Figura 6.** Dinámica espaciotemporal media de nitrógeno total (NT) en el agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

Los ecosistemas acuáticos de regiones tropicales están influenciados, la mayor parte del año, por afluentes y otras entradas de agua. Por ende, están sujetos a recibir mayor aporte de nutrientes, provenientes de diversas actividades antropogénicas y naturales (Roldán y Ramírez, 2008). En la laguna Las Peonías, estos aportes están representadas por la cañada Irigorri (E9), donde se obtuvieron las mayores concentraciones de las formas de nitrógeno (Tabla 2).

Adicionalmente, los contenidos de NT en las muestras de agua superficial correlacionaron significativamente ( $p < 0,05$ ) con el OD ( $r = -0,206$ ), PR ( $r = -0,119$ ), SDT ( $r = -0,224$ ), salinidad ( $r = 0,157$ ), sulfato ( $r = -0,224$ ), turbidez ( $r = 0,127$ ), CV ( $r = 0,243$ ), amonio ( $r = 0,396$ ), N-org ( $r = 0,872$ ) y PT ( $r = 0,147$ ); los cuales son parámetros que regulan su disponibilidad en la laguna.

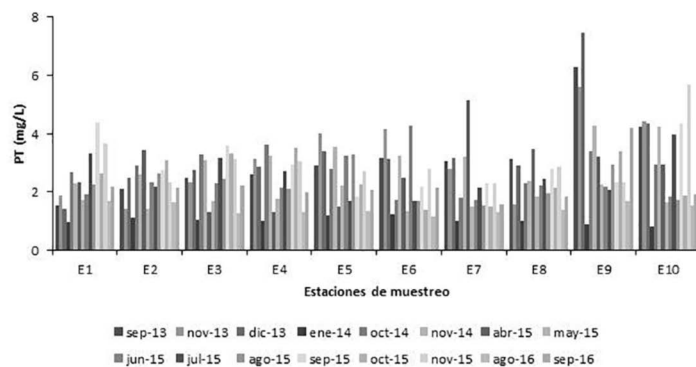
Las cantidades de NT obtenidas son comparables a las reportadas para este mismo cuerpo de agua por González (2008), las cuales estuvieron en el rango 6,0-8,4 mg/l. No obstante, resultan mayores a las presentadas por Mora (2009), quien reportó valores de 0,2-2,3 mg/l para este sistema. También son mayores a las de la laguna Chilika (India), donde se reportaron valores de 0,26-1,05 mg/l (2019); y a los de la laguna Tres

Palos (México), cuyos valores oscilaron entre 0,30 y 3,50 mg/l, debido al grado de eutroficación de sus aguas (de la Garza *et al.*, 2008).

## Fósforo

Los niveles de ortofosfato oscilaron entre 0,11 mg/l (E4 abr-15) y 3,86 mg/l (E9 sep-13), con una media aritmética de  $1,33 \pm 0,64$  mg/l. Para PT se obtuvo una media de  $2,53 \pm 1,42$  mg/l y un rango desde 0,75 (E9 ene-14) hasta 11,49 mg/l (E9 dic-13), según se muestra en la Tabla 1. La variabilidad espaciotemporal de las concentraciones de PT en el agua superficial (Figura 7) fueron significativamente diferentes entre las estaciones ( $p < 0,05$ ) y entre los muestreos ( $p < 0,0001$ ), según se muestra en las Tablas 2 y 3.

No se observaron diferencias significativas para la interacción estación-muestreo ( $p > 0,05$ ). Atendiendo a la distribución espacial, los mayores niveles de PT se ubicaron en E9 (adyacencias de la cañada Irigorri) y los menores en E2 (caño Araguato), E7 (espejo de agua) y E8 (espejo de agua, Figura 1). En relación con los muestreos, en oct-14 (lluvia) se observaron los valores más bajos; mientras que los más altos se tuvieron en sep-13 (lluvia), dic-13 (sequía) y nov-14 (transición lluvia-sequía).



**Figura 7.** Dinámica espaciotemporal media de fósforo total (PT) en agua superficial de la laguna Las Peonías: 2013-2016.

**Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a la dinámica del fósforo (P) en los cuerpos de agua, las fuentes naturales alóctonas incluyen rocas y suelos, mientras que las antropogénicas están representadas por fertilizantes, detergentes y aguas residuales en general. A ello se suma una fuente interna de fósforo, contenida en los sedimentos, especialmente si son de naturaleza anaerobia (Roldán y Ramírez, 2008). La cañada Irigorri (E9) fue identificada como la fuente principal de fósforo en la laguna. Esta entrada contribuye con la productividad primaria y con el proceso de eutroficación. Así, el contenido de PT de la laguna se correlacionó significativamente ( $p < 0,05$ ) con la temperatura ( $r = -0,164$ ), CE ( $r = -0,262$ ), SDT ( $r = -0,181$ ), salinidad ( $r = -0,171$ ), cloruro ( $r = -0,223$ ), nitrito ( $r = 0,161$ ), amonio ( $r = 0,272$ ), NT ( $r = 0,147$ ) y ortofosfato ( $r = 0,653$ ).

De acuerdo con el comité de eutroficación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982; Moreno, Quintero y López, 2010), la laguna Las Peonías puede clasificarse como ecosistema hipereutrífico, considerando que las concentraciones medias de PT fueron superiores a 0,1 mg/l.

Las cantidades de fósforo total (PT) observadas resultan mayores a las obtenidas por González (2008) para esta laguna costera, con valores en el rango 0,72-1,02 mg/l, quien además estableció que se encuentra en un estado avanzado de eutrofización. Las concentraciones son mayores a las

reportadas por Barik *et al.* (2019), para la laguna Chilika (India), cuyos valores oscilan entre 0,06 y 0,16 mg/l; y a las reportadas por G. de la Lanza *et al.* (2008) para la laguna de Tres Palos (México), donde los valores fueron de 0,15 a 2,50 mg/l, como consecuencia de las características tróficas de cada ecosistema.

## Bacterias coliformes

La cuantificación de BCT y BCF exhibió valores medios que oscilan entre  $921,77 \pm 3323,02$  y  $525,31 \pm 2426,92$  NMP/100 ml; con rangos de  $3,01 - 2,40 \times 10^4$  y  $3,01 - 2,40 \times 10^4$  NMP/100 ml, respectivamente (Tabla 1). Las densidades de estas bacterias variaron significativamente entre los periodos de muestreo ( $p < 0,0001$ ; Tabla 3) y para la interacción estación-muestreo ( $p < 0,0001$ ). Para la variabilidad espacial (entre estaciones de muestreo), solo se observaron diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) de los valores de BCT (Tabla 2), con las menores proporciones en E4 (espejo de agua), E7 (espejo de agua) y E8 (espejo de agua); mientras que las mayores fueron en E9 (adyacencias de la cañada Irigorri). Durante el último muestreo realizado en este trabajo (sep-16; lluvia), se detectaron las mayores densidades, tanto de BCT como de BCF, en el agua superficial de la laguna (tabla 3).

Las grandes dispersiones encontradas en las densidades de bacterias coliformes pueden deberse



a la dinámica propia de los microorganismos en ambientes acuáticos (Brock, 2003), los cuales pueden aparecer luego de eventos de lluvia o de descarga de efluentes contaminados, tendiendo luego a disminuir o desaparecer con el tiempo, o pueden concentrarse en los sedimentos (Chigbu, Gordon y Strange, 2005). Su dinámica en aguas costeras es una función del aporte de bacterias a través de ríos, arroyos o efluentes, transporte de masa y pérdidas debido a su muerte y sedimentación.

En tal sentido, en la laguna Las Peonías, se evidenciaron entradas importantes en las estaciones E1, E2 y E9 (Tabla 2), especialmente, al final del periodo de estudio (ago-16 y sep-16, Tabla 3), correspondientes a la época de lluvias. De esta manera, los contenidos de BCT se correlacionaron con PR ( $r = -0,156$ ), SDT ( $r = -0,113$ ), cloruro ( $r = 0,198$ ), turbidez ( $r = 0,457$ ), CV ( $r = 0,485$ ), DBO ( $r = -0,126$ ), DQO ( $r = 0,431$ ), nitrito ( $r = -0,242$ ) y BCF ( $r = 0,823$ ); mientras que los de BCF, se correlacionaron con temperatura ( $r = 0,155$ ), PR ( $r = -0,144$ ), cloruro ( $r = 0,260$ ), turbidez ( $r = 0,606$ ), CV ( $r = 0,423$ ), DBO ( $r = -0,128$ ), DQO ( $r = 0,489$ ), nitrito ( $r = -0,223$ ), ortofosfato ( $r = 0,155$ ) y BCT ( $r = 0,823$ ).

Las cantidades de BCT determinadas en el presente estudio son menores a las obtenidas por González (2008) para este ecosistema, cuyo valor medio fue 1121,67 NMP/100 ml; además fueron considerablemente mayores a las reportadas por Peña (2015) para la laguna Los Milagros (Perú), donde el valor medio fue de  $90,0 \pm 7,7$  NMP/100 ml para BCT. Pero resultan semejantes a las indicadas para la laguna de Yuriria (México), donde los valores fueron 19,7-1922,1 NMP/100 ml para BCT y 3,0-1462,4 NMP/100 ml para BCF (Espinal *et al.*, 2013).

De acuerdo con los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental venezolana (Decreto 883,1995), solo el 25 % de las muestras estuvo por debajo de 1000 NMP/100 ml de BCT, y más del 10 % del restante se encontró por encima de 5000 NMP/100 ml. Esto indica que el agua de la laguna no es apta para el contacto humano total (subtipo 4A). Adicionalmente, solo el 30 % de las muestras presentó un contenido por debajo de

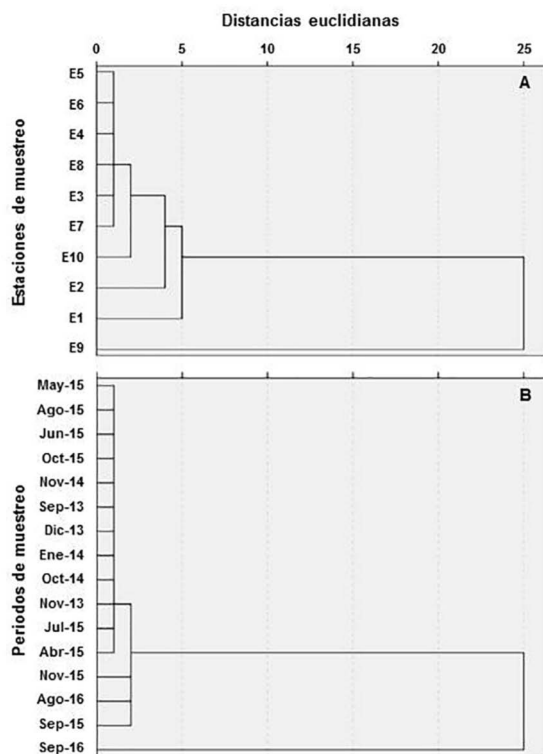
5000 NMP/100 ml de BCT; y más del 20 % de las restantes se ubicó por encima de 10 000 NMP/100 ml, lo cual sugiere que tampoco es apta para contacto humano parcial (subtipo 4B).

En cuanto a la cantidad de BCT, se observó que solo en el 21 % de las muestras se presentó por debajo de 200 NMP/100 ml, mientras que en más del 10 % de las restantes fue menor a 400 NMP/100 ml, lo que determina que el agua no es apta para contacto humano total (tipo 4A). De igual manera, solo en el 28 % se presentó una densidad por debajo de 1000 NMP/100 ml, lo que implica que incumple también los requerimientos de la norma para contacto humano parcial (subtipo 4B). Así, el agua de la laguna Las Peonías no debe considerarse apta para bañistas, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial ni de subsistencia.

## Comparación entre estaciones de muestreo y entre muestreos

En la Figura 8, se presentan los dendrogramas de análisis de clúster para valores medios de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en el agua superficial de la laguna Las Peonías, con respecto a las estaciones de muestreo (Tabla 2) y los muestreos (Tabla 3). Considerando las estaciones, se distinguen dos grandes grupos (Figura 8a): el primero, formado por la E9 y el segundo, por el resto de las estaciones de muestreo. Dentro de este segundo grupo, se distinguen dos subgrupos: uno constituido por la E1 y el otro, por el resto de las estaciones. De esta manera, puede decirse que, desde el punto de vista de la variabilidad espacial, la laguna Las Peonías presenta una condición bastante homogénea en cuanto a características físicas, químicas y bacteriológicas, con excepción de las adyacencias de la cañada Iragorri (E9) y la entrada del caño Araguato (E1, Figura 1), como resultado del influjo de aguas de lluvia-escorrentías y agua salobre del lago de Maracaibo, respectivamente, como se ha mencionado a lo largo de este trabajo.





**Figura 8.** Dendrogramas de análisis de clúster para valores medios de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos en agua superficial de la laguna Las Peonías. A: estaciones de muestreo. B: periodos de muestreo.

**Fuente:** elaboración propia.

Atendiendo a los periodos de muestreo (Figura 8b), el análisis de Clúster permitió la jerarquización de dos grupos disímiles: el primero, formado por el muestreo de sep-16 (lluvia); el segundo, por el resto de las campañas de recolección de muestras. En este segundo grupo, se distinguen dos subgrupos: el primero que contiene los muestreos de nov-15 (transición lluvia-sequía), ago-16 (transición sequía-lluvia) y sep-15 (lluvia), mientras que el segundo agrupa el resto de las campañas.

De manera general, los muestreos realizados desde sep-13 hasta ago-15, si bien incluyeron periodos de lluvia, sequía y transiciones, realmente presentaron características similares, con muy pocas precipitaciones, de allí que sean agrupados en este análisis. Hacia finales del presente estudio,

particularmente, en ago-16 y sep-16, se observó un incremento en las precipitaciones sobre la cuenca de la laguna, lo que incide en la variabilidad de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua superficial y, por ende, en la agrupación distintiva de estos periodos de muestreo, con respecto a los anteriores.

Este análisis permitió distinguir las similitudes y contrastes espaciotemporales en la laguna Las Peonías, con especial atención a las características del agua superficial. Ello contribuye notoriamente a la toma de decisiones al momento de realizar nuevos estudios de calidad de agua, con respecto al número de estaciones de muestreo y su ubicación; así como a los periodos de recolección de muestras. Esto, en últimas, reduce considerablemente el número de muestras necesarias y también los gastos asociados a los análisis de laboratorio.

Finalmente, es necesario que los entes reguladores de la calidad de las aguas naturales de Venezuela ejecuten planes de recuperación y manejo para este cuerpo de agua tropical, encaminados a resguardar la supervivencia de la flora y fauna que lo habita; así como asegurar una fuente de agua destinada a diferentes usos. Los planes pueden incluir eliminación de los vertidos domésticos e industriales a las cañadas Iragorri y Fénix, control de la deforestación y de desarrollos industriales en la cuenca, labores de mantenimiento y supervisión de los intercambios de agua con el lago de Maracaibo, a través del caño Araguato. Asimismo, puede incluirse el estudio de soluciones hidráulicas que permitan una mejor oxigenación de las masas de agua internas.

## Conclusiones

La calidad del agua superficial de la laguna Las Peonías muestra un estado de eutroficación avanzado, por lo que puede considerarse un cuerpo de agua hipereutrófico, con altas concentraciones de materia orgánica (DQO), nitrato, amonio, ortofosfato y sulfato, procedentes de fuentes puntuales de contaminación de su cuenca, principalmente a través de la cañada Iragorri. Las variables físico-químicas que determinaron la distribución espaciotemporal de estos macronutrientes fueron temperatura, CV, turbidez, OD, PR, CE, SDT,

salinidad y cloruro; mientras que la distribución de bacterias coliformes dependió de los niveles de CV, turbidez, PR, cloruro, DBO, DQO y nitrito. Atendiendo al grado de salinidad, esta laguna es del tipo mixomesohalina.

La dinámica de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos exhibió grandes variaciones desde el punto de vista espaciotemporal, con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las estaciones, para temperatura, OD, CE, SDT, salinidad, turbidez, CV, amonio, N-org, ortofosfato, PT y BCT. Todos los parámetros analizados variaron significativamente ( $p < 0,0001$ ), entre los periodos de muestreo (dinámica temporal). Para la interacción muestreo-estación, los parámetros con valores significativamente diferentes ( $p < 0,0005$ ) fueron CE, SDT, salinidad, turbidez, CV, DQO, nitrato, BCT y BCF, lo cual evidencia la naturaleza no estática de la laguna.

Los ciclos de mareas no mostraron gran influencia sobre esta dinámica, pues se observó mayor peso de los cambios climáticos, con mayor dominio de las precipitaciones y los aportes puntuales de agua procedentes de la cañada Irigorri y el caño Araguato. Fue característico un mayor flujo de materia orgánica no biodegradable (DQO) durante las lluvias, así como de CV, turbidez, N-org, NT, BCT y BCF, lo que, en consecuencia, afecta notablemente la calidad de agua de la laguna en esta época.

En definitiva, el agua de la laguna Las Peonías no es apta para contacto humano total ni parcial (bañistas, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial ni de subsistencia), particularmente, debido a las concentraciones de OD y las densidades de BCT y BCF, de acuerdo con lo establecido en la normativa venezolana vigente.

## Agradecimientos

Esta investigación fue cofinanciada por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Disa) de la Escuela de Ingeniería Civil, el Centro de Investigación del Agua (CIA) y el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (Condes) de la Universidad del Zulia, Venezuela, bajo el programa de investigación VAC-CONDES-CC-0151-17.

## Conflicto de intereses

El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

## Referencias

- Aknaf, A., Akodad, M., Layachi, M., El Madani, F., Jaddar, A., Mesfioui, A., y Baghour, M. (2017). Study of the spatial and temporal variation of physical-chemical parameters characterizing the quality of surface waters of the lagoon Marchica-north-east Morocco. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(9), 3216-3225.
- American Public Health Association (Apha), American Water Works Association (Awwa) y Water Environment Federation (WEF) (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23<sup>ra</sup> edición. Washington DC: Apha, 2017.
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 12-19.
- Aznar, R., Amaro, C., y Alcaide, E. (1991). Physico-chemical and bacteriological parameters in a hypereutrophic lagoon (Albufera lake, Valencia, Spain). *Zentralbl. Mikrobiol*, 146, 311-321. [https://doi.org/10.1016/S0232-4393\(11\)80215-5](https://doi.org/10.1016/S0232-4393(11)80215-5)
- Castro, H., Falcón, J., y Fejervar, R. (1981). Análisis de calidad físico-químico del agua de la laguna Las Peonías (trabajo especial de grado). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela.
- Chigbu, P., Gordon, S., y Strange, T. (2005). Fecal coliform bacteria disappearance rates in a north-central Gulf of Mexico estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, 309-318. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.05.020>
- Colasurdo, V., Díaz, O., Grosman, F., y Sanzano, P. (2011). Análisis de la calidad del agua de la laguna De Los Padres: potencial uso para riego. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 110(1), 20- 25.
- Corona, A. (2016). Modelo hidrogeográfico de la cuenca de la laguna Las Peonías (tesis de maestría). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela, 2016.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas*. México: McGraw-Hill Interamericana S. A.

- De la Lanza, G., Alcocer, J., Moreno, J., y Hernández, S. (2008). Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la laguna de Tres Palos, Guerrero, México. *Hidrobiológica*, 18(1), 21-30.
- Espinal, T., Sedeño, J. y López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 147-163.
- Espinoza, E., y Morales, F. (2008). Macroinvertebrados bentónicos de la laguna Las Peonías, estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 42(3), 345-363.
- Esteves, F. (1988). *Fundamentos de limnología*. Río de Janeiro: Interciencia.
- Farreras, S. (2004). *Hidrodinámica de lagunas costeras*. México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- González, M. (2008). Dominio de la marea y del régimen climatológico sobre la variación de la concentración de nutrientes y sedimento en la laguna Las Peonías (tesis de maestría). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela.
- González, M., Aldana, G., y Saules, L. (2012). Ciclos de marea y condiciones climáticas sobre la variación del nitrógeno en la laguna Las Peonías. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 46(2), 137-157.
- González, W., y Hernández, J. (1991). Estudio actualizado de la calidad físico-química del agua de la laguna Las Peonías (trabajo especial de grado). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela.
- Harris, G. (2008). Lagoons. En S. E. Jørgensen y B. D. Fath, (eds.). *Encyclopedia of ecology* (pp. 539-545). Segunda edición. Amsterdam: Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00344-9>
- Herman, S. (1997). Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo. Maracaibo: Iclam, 1997.
- Hernández, J. (1997). Evaluación espacial y temporal de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de la laguna de Sinamaica (trabajo especial de grado). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela, 1997.
- Herrera, J., Comin, F., Aranda, N., Troccoli, L., y Capurro, L. (2004). Coastal water quality assessment in the Yucatan Peninsula: management implications. *Ocean and Coastal Management*, 47, 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.12.005>
- Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (Iclam) (1988). Estudio sobre el comportamiento hidrodinámico de la laguna Las Peonías. Informe técnico. Maracaibo: Iclam.
- Jansen, M., Santos, F. Duarte, A., Furtado, L., de Oliveira, B., Gomes, A., Adorno J. y Lima, A. (2019). Trophic state of an urban coastal lagoon (northern Brazil), seasonal variation of the phytoplankton community and environmental variables. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 216, 98-109. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.013>
- Madigan, M., Martinko J., y Parker, J. (2003). *Brock: biología de los microorganismos*. Décima edición. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A.
- May-Kú, M., Valdés, D., y Ardisson, P.(2016). Variación espacial y temporal de las características fisicoquímicas del agua y sedimento en la laguna costera Yalahau, Quintana Roo. *Hidrobiológica*, 26(1), 41-51. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1/May>
- Medina, I., y Herrera J. (2003). Spatial characterization of water quality in a karstic coastal lagoon without anthropogenic disturbance: a multivariate approach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58, 455-465. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(03\)00112-4](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(03)00112-4)
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Comisión Nacional de Normas Técnicas. Subcomisión de Aguas (1995, 18 de diciembre). Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos, extraordinario [Decreto 883]. *Gaceta Oficial* 5021.
- Miththapala, S. (2013). Lagoons and estuaries, coastal ecosystems series. Volumen 4. Colombo: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Molina, J. (2001). Características físicas, químicas y del fitoplancton de la laguna costera Laguna de Perlas, con énfasis en la calidad del agua (tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua.
- Mora, R. (2009). Variaciones en la composición, abundancia y biomasa del fitoplancton de la laguna de Las Peonías (Zulia, Venezuela) (trabajo de ascenso). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela.
- Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, 78, 25-33.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1982). The OCDE listo social indicators. Paris: OCDE.
- Panachlor (2019). Sólidos disueltos totales (TDS) y electroconductividad (EC)". Panachlor-Panamá [internet]. Recuperado de <http://www.panachlor.com>

- Parra F. (1986). *La conservación del lago de Maracaibo: diagnóstico ecológico y plan maestro*. Caracas: Lagoven S. A.
- Parra, G. (1979). *Estudio integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes*. Parte 2. *Evaluación del proceso de eutroficación*. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Dirección General Sectorial de Información e Investigación del Ambiente.
- Parra J., y Espinosa, L. (2008). Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en el río Sevilla - ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 37(1), 95-110. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2008.37.1.184>
- Peña, L. (2015). Calidad del recurso hídrico de la laguna Los Milagros-José Crespo y Castillo (trabajo especial de grado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.
- Pereira, P., Botelho, M., Cabrita, M., Vale, C., Moita M., y Gonçalves, G. (2012). Winter-summer nutrient composition linkage to algae-produced toxins in shellfish at a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Estuarine Coastal Shelf Science* 112, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.07.016>
- Pernalet, H., Chacín, O., Bracho, L., y Rico, J. (1979). Estudio preliminar del contenido de nutrientes de la laguna Las Peonías (trabajo especial de grado). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela, 1979.
- Polo, C., Marín, J., Rojas, J., Behling, E., Mesa, M., Fernández, A., y Flores, J. (2014). Variaciones espaciales de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 48(1), 21-38.
- Rendón, J., Ponce, J., Rojas, A., Arredondo, J. de La Lanza, G., y Flores, F. (2012). Morfometría, hidrodinámica y fisicoquímica del agua de laguna de Chautengo, Guerrero, México. *Revista Biociencias*, 1(4), 25-37.
- Rivas, Z. (1989). Determinación de la calidad físico-química del agua de la laguna Las Peonías (tesis de grado). Universidad del Zulia, Zulia, Venezuela.
- Rodríguez, G. (2000) *El sistema de Maracaibo: biología y ambiente*. Segunda edición. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
- Roldán G., y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosado, J. (2009). *Laguna Salá: su biología y ambiente. Segunda edición*. Riohacha: Universidad de La Guajira, 2009.
- Rosado, V., y Castro, E. (2011). *Comportamiento de las variables fisicoquímicas en los diferentes recursos hídricos del departamento de La Guajira*. Bogotá: Editorial Gente Nueva.
- Ruiz, A., García, C., Zavala, L., y López, C. (2009). Hydrological aspects of the lagoons of Atasta and Pom, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 63-74.
- Sawyer, C., McCarty, P., y Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. Cuarta edición. Bogotá: McGraw- Hill S. A.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Medellín: Universidad de Medellín, 2011.