

Water quality assessment in a Caribbean saltwater wetland

R. Pérez^a, F. Riveiro^a, M. Jiménez–Noda^{*b}, Lisbeth Manganiello^b, C. Vega^c, R. Cova^d, J. Moreno^d

^a*Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela*

^b*Centro de Investigaciones Química (CIQ), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela*

^c*Instituto de Matemáticas y Cálculo Aplicado, IMYCA, Facultad de Ingeniería, U. de Carabobo, Valencia, Venezuela*

^d*Instituto Nacional de Parques – INPARQUES, Valencia, Venezuela.*

Abstract.-

The La Bocaina Lagoon is a saltwater wetland of the Caribbean Sea, it is located in the San Esteban National Park, its hydrographic space is divided into two zones: coastal and deep, located in the Bay of Patanemo, place of great tourist affluence. The lagoon has presented notorious physical changes in its waters, as a result of the misuse and management of the man of said resource. The goal was to evaluate the water quality with the purpose of providing a physicochemical and microbiological support to the National Institute of Parks. Physicochemical and microbiological parameters were determined. When comparing this results obtained with the permissible limits established in the current legal regulations, it was found that the dissolved oxygen, the sedimentable solids, total coliforms and fats, oils and hydrocarbons are outside the permissible ranges. Later, the percentage estimation of the water quality index of the lagoon was carried out, with the purpose of defining its current condition in terms of quality, the evaluation of the impact of the lagoon.

Keywords: saltwater wetland; water pollution; Water Quality Index; WQI

Evaluación de la calidad del agua en un humedal de agua salada del Caribe

Resumen.-

La Laguna La Bocaina es un humedal de agua salada típico del Mar Caribe, está ubicado en el Parque Nacional San Esteban, su espacio hidrográfico se divide en dos zonas: costera y profunda, ubicada en la Bahía de Patanemo, lugar de gran afluencia de turismo. La laguna ha presentado notorios cambios físicos en sus aguas, como resultado del mal uso y manejo del hombre. La meta fue evaluar la calidad del agua a fin de brindar un apoyo fisicoquímico y microbiológico al Instituto Nacional de Parques. Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron determinados. Al comparar los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos en las normas legales vigentes, se encontró que el oxígeno disuelto, los sólidos sedimentables, los coliformes totales y las grasas, aceites e hidrocarburos están fuera de los rangos permisibles. Posteriormente, se realizó la estimación porcentual del índice de calidad del agua (ICA) de la laguna, con el objetivo de definir su condición actual en términos de calidad, y evaluación del impacto de la laguna.

Palabras clave: humedal de agua salada; contaminación de agua; índice de calidad del agua; ICA

Recibido: noviembre 2017

Aceptado: diciembre 2017

1. Introducción

El 71 % de la superficie del planeta tierra se encuentra cubierta por mar, que mediante sus interacciones con la atmósfera, la litosfera y la biosfera y los océanos han ayudado a modelar las

* Autor para correspondencia

Correo-e: ing.milagrosjimeneznoda@gmail.com

(M. Jiménez–Noda)

condiciones que hacen posible la vida. Cerca del 60% de la población mundial y el 70% de la población venezolana, se encuentra emplazadas a una distancia inferior de los 100 Km de la línea costera. Venezuela posee una superficie de espacio acuático de 630.620 Km² aproximadamente, que incluyen el Mar territorial, la Zona Contigua y la proyección de la Zona económica exclusiva, diferenciado por una gran diversidad de paisajes y recursos escénicos naturales, entre los que destaca el paisaje costero con 4.989 Km de costa; constituido por playas, islas, islotes, lagunas y bahías de gran valor escénico, que realzan el interés turístico de la zona. En el espacio costero y marítimo existen áreas de importante valor ecológico y paisajístico; como las lagunas costeras, arrecifes coralinos, playas arenosas, manglares, estuarios, humedales costeros, bahías, entre otros, muchas de ellas protegidas a través de 95 Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). El Estado Carabobo, específicamente el municipio Puerto Cabello cuenta con grandes cuerpos de aguas saladas propias del Mar Caribe; destinadas principalmente al turismo, en el cual se destaca la Bahía de Patanemo cuyo lindero geográfico se ubica dentro del Parque Nacional San Esteban. Este parque fue creado el 14 de enero de 1987, mediante el decreto N° 1430, bajo el nombre “José Miguel Sanz” sin embargo, en el año 1990 se reformó el decreto anteriormente citado, dándole la denominación de Parque Nacional San Esteban y tiene como finalidad proteger una gran variedad de ecosistemas asociados a la zona central de la Cordillera de la Costa y las áreas marinas e insulares ubicadas frente a la costa noreste del municipio.

La laguna La Bocaina es el objeto de estudio de este trabajo, su representación geográfica y zonas está representado en la Figura 1.

La importancia de estudiar este importante ecosistema venezolano ha quedado evidenciado por los trabajos de Yánes [1] donde se evaluó el ensamblaje de aves acuáticas asociado a la Laguna La Bocaina, representaban un elemento de importancia ecológica y socioeconómica a considerar. La riqueza y la abundancia de especies de aves acuáticas varían de acuerdo a la época del



Figura 1: Vista satelital y fotografías panorámicas de la Laguna la Bocaina, mostrando el área total. Fuente: Imágenes: Google Earth, 2012 y Fotografías Sabina Caula.

año y la población aledaña al área posee una alta sensibilidad hacia la conservación del ambiente. Otros ecosistemas de la misma naturaleza han sido estudiados por Malaver, *et al.* [2], tal es el caso de la Laguna de Tacarigua exponiéndose en su trabajo un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua, utilizando parámetros físicos, químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad sanitaria, ambiental y de intervención antrópica del ecosistema. Los resultados obtenidos indicaron la evidente contaminación y mala calidad del agua del humedal, por influencia de factores ambientales y antrópicos. Espinoza y Rodríguez [3] estudio la presencia de macroinvertebrados, a fin de dar un diagnóstico de la calidad del agua de la laguna evaluada, estos organismos proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua ya que algunos de ellos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Los resultados obtenidos reflejan la mala calidad del agua de la Laguna de Yahuarcocha por las influencias de factores antrópicos aledaños al sistema lagunar. Espinal, *et al* [4] también investigó sobre los parámetros de calidad que definen la laguna de Yuriria, Guanajuato, México en dos periodos estacionales mediante el método evaluando mejoras introducidas para su saneamiento. López, *et al.* [5] determinaron las

variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México, en diferentes estaciones climáticas durante el período enero de 2009 a marzo de 2010 con el fin de contribuir a su conocimiento ecológico. Determinándose in situ las variables de temperatura, pH, porcentaje de saturación de oxígeno, salinidad, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT) entre otras. Todos los antecedentes que anteceden a esta investigación muestran la importancia de determinar la calidad de las aguas de las lagunas a fin de establecer un índice de calidad de las mismas e iniciar un plan de conservación y saneamiento. El desarrollo del presente trabajo tiene gran importancia a nivel ambiental y social; ya que mediante la evaluación de la calidad del agua de la laguna de La Bocaina se identificaron las fuentes y niveles de contaminación generados por las actividades antrópicas, lo que le permite al Instituto Nacional de Parques (INPARQUES) contar con un soporte científico para la implementación de planes integrales que contribuyan a la disminución del impacto ambiental mediante la elaboración de un plan de gestión integral para la conservación de ese humedal.

2. Cuencas Hidrográficas del Estado Carabobo

El Estado Carabobo cuenta con seis cuencas hidrográficas (Véase Figura 2): La cuenca del Mar Caribe, el Lago de Valencia, Alta del Río San Carlos, Alta y Media del Río Pao, Alta del Río Tiznado, Alta del Río Guárico, todos conformados por 268 cursos de agua aproximadamente entre ríos, quebradas, caños y arroyos dispersos a lo largo y ancho del territorio, (Martínez [6]).

2.1. La laguna La Bocaina

La Laguna la Bocaina ($10^{\circ}26'56,42''N - 67^{\circ}55'51,37''O$) es un humedal de agua salada; se encuentra localizada dentro del Parque Nacional San Esteban específicamente en la costa del Estado Carabobo, 10 Km al este de Puerto Cabello, se encuentra bajo la administración y cuidado de INPARQUES, su extensión territorial es de 190,55 Km exactos y se encuentra dividida en dos zonas: la zona profunda como su nombre lo indica

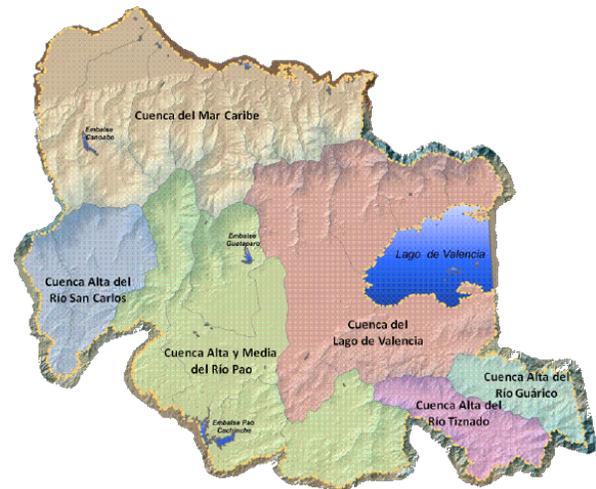


Figura 2: Distribución de las Cuencas Hidrográficas en el Estado Carabobo. Fuente: Imágenes: Global Water Partnership South America. (2017).

se caracteriza por tener 5 m de profundidad y es la que conecta al Mar Caribe, el cual le permite el abastecimiento de agua a todo el humedal, mientras que la zona litoral posee una dinámica estacional, determinada por las precipitaciones y las mareas, que ocasiona desde ausencia total de agua, en los meses de sequía (diciembre-marzo) hasta inundaciones que pueden desbordar la cuenca, en la época de lluvia (julio–noviembre), véase Figura 3.

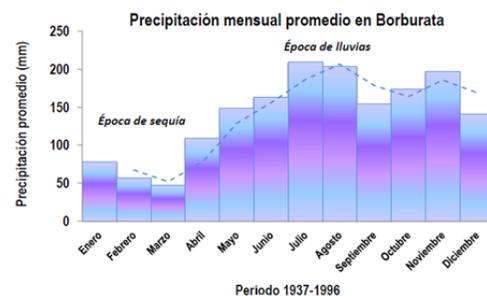


Figura 3: Precipitación promedio mensual en la estación Borburata, la más cercana a Patanemo.

3. Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con

Tabla 1: Modelos matemáticos empleados para la estimación del ICA

Grupo	índice	Modelo matemático	Observaciones
1	WQI NSF (EU) WQI Dinius (EU) IQA CETESB (Brasil) ICA Rojas (Colombia) ICA UCA (Colombia)	$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$	Promedio geométrico ponderado: W_i : peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro. I_i : valor del i -ésimo parámetro.
2	WQI (Canadá) DWQI (EU)	$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$	El índice incorpora tres elementos: Alcance (F1): porcentaje de parámetros que exceden la norma. Frecuencia (F2): porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma. Amplitud (F3): magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple.
3	UWQI (Europa)	$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$	Promedio aritmético ponderado: W_i : peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro. I_i : Valor del i -ésimo parámetro.
4	ICA (Centro América)	$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$	W_i : peso o porcentaje asignado al i -ésimo parámetro. I_i : Valor del i -ésimo parámetro.
5	ICP (Brasil)	$ICP = ISTO \times IQA$ $ISTO = ST \times SO$ $ST = \min \{q_i\}_{i=1, \dots, n} - 1$ $SQ = \bar{q}$	QA : Índice de Calidad del Agua adaptado del ICA NSF para las condiciones de Brasil. $ISTO$: Índice de Sustancias Tóxicas y Organolépticas. ST : Ponderación de los dos subíndices mínimos más críticos del grupo de sustancias tóxicas. SO : Media aritmética del grupo de sustancias organolépticas.
6	ICA (Venezuela)	$ICA = \frac{\sum W_i Q_i}{\sum Q_i}$	W_i : Datos físicos por parámetro. Q_i : Pesos o factores de ponderación.

Fuente: Torres, *et al*, [7] y Espinoza y Rodríguez [3]

el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial [8].

Es importante resaltar que la evaluación de la calidad del agua se realiza usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas [8].

A continuación se tratan en detalle las principa-

les características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua:

1. Parámetros Fisicoquímicos

- Olor
- Color
- pH
- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Fenoles
- Aceites y grasas
- Metales tóxicos
- Sólidos totales

- Sólidos Flotantes
- Sólidos Sedimentables
- Radioactividad
- Nutrientes
- Turbidez
- Detergentes
- Conductividad

2. Parámetros Microbiológicos

3.1. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El índice de calidad del agua (ICA o WQI por sus siglas en inglés) no es un concepto nuevo, ya en 1970 estaba en el ámbito de los modelos estadísticos de estudios medio ambientales figuraba (ver Brown, *et al.* [9]). El ICA es un número simple que expresa la calidad del agua mediante la integración de diferentes medidas de calidad como afirman [10] y [11].

A pesar de lo clásico del concepto es un tema de actualidad, como puede ser visto en trabajos de gran impacto del año 2017 como son los artículos de [10] y [12].

El modelo de cálculo de la mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas [7].

La Tabla 1 muestra las ecuaciones asociadas por grupos, de acuerdo al modelo matemático empleado por diversas organizaciones y/o autores.

4. Metodología

4.1. Muestreo

La selección de los puntos de muestreo se realizó a partir del reconocimiento de la zona de estudio y la identificación de los posibles focos contaminantes, para ello se efectuó un recorrido por el área y con ayuda de un instrumento cartográfico de la laguna, basados en un muestreo sistemático se logró trazar sobre ésta una cuadrícula de muestreo, constituida por una matriz de

70 filas y 45 columnas, con dimensiones de 70x70 metros (véase Figura 4), en el cual se obtuvieron: 65 puntos dentro de la zona litoral de la laguna, mientras que en la zona profunda se ubicaron 71 puntos.

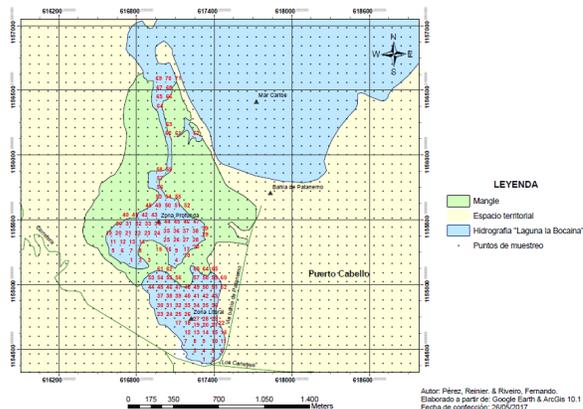


Figura 4: Cuadrícula de muestreo empleada sobre el área de estudio.

Mediante un muestreo aleatorio simple fueron seleccionados 7 puntos en la zona litoral y 17 puntos en la zona profunda. La muestra fue ampliada por conveniencia con tres puntos adicionales en cada zona al tomar en cuenta la información suministrada por el personal de INPARQUES respecto al vertido de agua con detergente en las zonas aledañas al humedal; con lo cual la muestra quedó constituida en un total de 30 puntos.

El procedimiento de muestreo fue realizado con la asesoría del Laboratorio de Procesos estocásticos del IMYCA

4.2. Cronograma de monitoreo para muestrear los puntos seleccionados

Para la toma de muestras, se consideró la información suministrada por el personal de INPARQUES y todas las observaciones registradas durante el recorrido por la zona de estudio. Para ello se realizaron dos seguimientos continuos del humedal.

El objetivo principal del seguimiento fue conocer los niveles de afectación en la laguna y lograr demostrar, si se cumplía o no con las normativas

de control especificadas en el Decreto N° 883. En el primer periodo de seguimiento se realizó la captación de muestra en tres puntos específicos para ambas zonas de la laguna, en el segundo se realizó el muestreo de los puntos restantes.

4.3. Adecuación y preservación de las muestras

Para su adecuación y preservación, las muestras fueron colocadas en frascos de vidrios previamente esterilizados y debidamente sellados e identificados, estos fueron almacenados y refrigerados en una cava con hielo para mantener la temperatura igual o inferior a los 4°C hasta su traslado al laboratorio. Al llegar al laboratorio se procedió a agregarle a las muestras de acuerdo al parámetro a analizar, ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H₂SO₄) hasta pH menor a 2.

4.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

La determinación de los parámetros se realizó siguiendo las metodologías de análisis establecidas en el Standar Methods: Oxígeno disuelto (Método 4500-O G), Turbidez (Método 2130-B), Sólidos sedimentables (Método 2540-F), Sólidos flotantes (Método 2540-D), Grasas y aceites (Método 5520-B), Hidrocarburos (Método 5520-F), Detergentes (Método 5540-C), Coliformes totales (Método 9221-B.) y Coliformes fecales (NMP 9221-E.), además de los equipos de campo empleados para las mediciones in situ de pH, temperatura y sólidos totales disueltos. Para la determinación de la conductividad se realizó una aproximación teórica debido a la relación que hay entre los sólidos totales disueltos y la conductividad, donde: 2 μ S/cm = 1 ppm (partes por millón de CaCO₃) siendo 1 ppm la unidad de medida para sólidos totales disueltos [13].

4.5. Estimación del índice de calidad del agua (ICA)

Para la estimación del índice de calidad del agua de la Laguna la Bocaina, se tomaron en cuenta los valores de subíndice obtenidos para cada uno de los parámetros seleccionados, en conjunto a los factores de ponderación generados, el cálculo se realizó empleando la expresión

matemática seleccionada de acuerdo al modelo ICA correspondiente y se efectuó para cada una de las zonas que conforman el humedal, a fin de establecer el nivel de calidad de las mismas, los valores obtenidos serán presentados a través de una tabla de resultados.

Parámetros necesarios para la estimación del ICA.

Para el cálculo del ICA, fueron seleccionados los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo al modelo ICA desarrollado por Montoya, *et al* [14]: pH, temperatura, oxígeno disuelto, grasas y aceites, detergentes, conductividad, turbidez, sólidos totales disueltos, coliformes totales y fecales. De igual forma se tiene que parámetros como: pH, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, turbidez, conductividad y coliformes resultaron elegidos para el cálculo ICA definido por Espinoza. T y Rodríguez. C, en el 2016. La selección se realizó bajo la disposición de los datos obtenidos en el análisis de muestra.

Modelo matemático recomendado para la estimación del ICA.

Para la estimación del índice de la calidad del agua de la Laguna la Bocaina se hizo uso de los modelos matemáticos ICA desarrollados por Montoya, *et al* [14] y el propuesto por Espinoza y Rodríguez [3] sobre los ríos Morón y Patanemo (véase Tabla 1).

5. Análisis y discusión de resultados

5.1. Reporte de resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos y microbiológicos

Temperatura. La temperatura en el agua es uno de los factores físicos más importante, puesto que desempeña un papel fundamental sobre los ecosistemas acuáticos del humedal, ya que altera la composición de su agua, disminuye su densidad y contribuye en la variación del oxígeno disuelto [15], La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos tanto en la zona litoral como profunda.

En la Tabla 2, la temperatura media se ubicó entre los 32,38°C y 33,56°C, donde el menor registro reportado fue de 30°C en la zona litoral. Finalmente al existir una diferencia entre los

Tabla 2: Estadísticos principales de la temperatura

Parámetro	Zona	
	Litoral	Profunda
Media	33,56	32,38
Varianza	10,03	0,75
Máximo	37,00	34,00
Mínimo	30,00	31,00
Desv. Típ.	3,1667	0,8646
C.V.	0,0944	0,0267
Hipótesis nula	$\bar{l} - \bar{p} = 0$	
g.l	9	
t -valor _{estimado}	1,0954	
p -valor _{estimado}	0,3018	
t -valor _{crítico} (dos colas)	2,2622	

Tabla 3: Estadísticos principales de pH

Parámetro	Zona	
	Litoral	Profunda
Media	7,35	7,09
Varianza	0,12	0,05
Máximo	7,89	7,29
Mínimo	6,71	6,28
Desv. Típ.	0,3423	0,0324
C.V.	0,0466	0,0324
Hipótesis nula	$\bar{l} - \bar{p} = 0$	
g.l	11	
t -valor _{estimado}	2,0161	
p -valor _{estimado}	0,0689	
t -valor _{crítico} (dos colas)	2,2010	

valores de temperatura de la zona litoral y profunda, fue realizada la prueba de hipótesis para la diferencia de las medias de las muestras pareadas suponiendo varianzas desiguales, la prueba fue realizada para un nivel de confianza del 95 % para un total de 30 observaciones, al comparar el estadístico t -valor_{estimado} con el valor t -valor_{estimado} encontrado, se puede asegurar que no existe diferencia estadísticamente significativa.

Potencial de hidrógeno (pH). La Laguna la Bocaina al ser un humedal abastecido por el agua del Mar Caribe se caracteriza por ser alcalina; razón por la cual debería presentarse valores constante de pH entre los 7,4 y 8,5 en condiciones normales, donde no se han realizado ningún tipo de actividad que favorezcan la degradación de sus agua [15].

La Tabla 3 muestra los valores obtenidos de pH una vez procesada la data del muestreo en ambas zonas del humedal. Al realizar la prueba de hipótesis para la diferencia de las medias suponiendo varianzas desiguales, con un 95 % de nivel de confianza se puede asegurar que no hay diferencia estadística significativa entre los resultados obtenidos.

Oxígeno disuelto (O.D.). En la dinámica acuática su concentración varía a lo largo del día por factores como la temperatura y el proceso de fotosíntesis de las plantas, el oxígeno disuelto juega un papel fundamental para los organismos que hacen vida en la laguna, puesto que este es

Tabla 4: Estadísticos principales de O.D.

Parámetro	Zona	
	Litoral	Profunda
Media	1,07	2,27
Varianza	0,06	0,20
Máximo	1,30	2,70
Mínimo	0,80	1,80
Desv. Típ.	0,2517	0,4509
C.V.	0,2359	0,1989

esencial para su respiración celular, sobrevivencia y adecuado crecimiento [15], es por ello que se hizo necesario la medición del mismo. La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos. La concentración (mg/L) del oxígeno disuelto para el momento del muestreo es de 1,07 mg/L en la zona litoral, mientras que en la profunda fue de 2,27 mg/L. Los valores máximos y mínimos de O.D. alcanzan los 2,70 y 1,80 mg/L respectivamente en la zona profunda y 1,30 a 0,8 mg/L en la litoral, que en términos generales representan concentraciones muy bajas según la norma.

Turbidez. La turbiedad del agua se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla del suelo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos que estén presentes [15]. La zona litoral presentó un turbidez media de 524,00 NTU que resulta superior a la obtenida en la zona

profunda donde se reportó un valor medio de 12,67 NTU, en lo referente a la desviación típica; un resultado elevado refleja el grado de dispersión en los valores obtenidos para los puntos de muestreo.

Tabla 5: Estadísticos principales de SDT

Parámetro	Zona	
	Litoral	Profunda
Media	4651,11	8110,48
Varianza	3466461,11	533314,76
Máximo	6880	9560
Mínimo	2900	6350
Desv. Típ.	1861,8935	730,28
C.V.	0,4000	0,0900
Hipótesis nula	$\bar{l} - \bar{p} = 0$	
g.l	9	
t -valor _{estimado}	-5,3989	
p -valor _{estimado}	0,0004	
t -valor _{crítico} (dos colas)	2,2622	

Sólidos totales disueltos (SDT). Representan la sumatoria de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua, las fuentes primarias de SDT en las aguas receptoras son la escorrentía residencial, industrial, la lixiviación de la contaminación de suelos y fuentes de descargas de aguas contaminadas sobre el recurso hídrico [15]. La Tabla 5 muestra los valores obtenidos una vez procesado los datos reportados durante el monitoreo. Se puede precisar que existe una notoria diferencia entre los valores de sólidos totales disueltos en ppm de la media obtenida en ambas zonas de la laguna, por esta razón fue realizada la prueba de hipótesis para la diferencia de las medias con un nivel de confianza del 95 %. Al comparar el absoluto del t -valor obtenido con el t -valor crítico, se puede asegurar que hay diferencia estadísticamente significativa.

Sólidos flotantes (SF). La expresión sólidos y sustancias flotantes se refieren aquellos materiales que se sostienen en la superficie del agua e influyen en su apariencia [15], para efecto del estudio realizado en la Laguna la Bocaina, los resultados arrojados en el análisis de muestra, se reportaron como *Ausente* para ambas zonas del humedal.

Sólidos sedimentables (SS). Los sólidos sedimentables representan la cantidad de material que sedimenta en un período de tiempo [15]. Los valores obtenidos en el análisis de muestra realizado para ambas zonas de la laguna reporta un rango menor a 1,50 para la zona del litoral y menor a 0,5 para la zona profunda.

Tabla 6: Estadísticos principales de Conductividad

Parámetro	Zona	
	Litoral	Profunda
Media	9302,22	16220,95
Varianza	13865844,44	2133259,05
Máximo	13760	19120
Mínimo	5800	12700
Desv. Típ.	3723,6864	1460,5687
C.V.	0,4003	0,0900
Hipótesis nula	$\bar{l} - \bar{p} = 0$	
g.l	9	
t -valor _{estimado}	-5,3989	
p -valor _{estimado}	0,0004	
t -valor _{crítico} (dos colas)	2,2622	

Conductividad. La conductividad del agua es un valor muy utilizado para determinar el contenido de sales disueltas en ella, en su defecto la laguna al ser propia del Mar Caribe presenta una elevada conductividad, a la que contribuyen la polaridad del agua y la abundancia de los iones disueltos [15], la Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para la zona litoral y profunda de la laguna en lo referente a conductividad.

Al realizar la prueba de hipótesis para la diferencia de las medias suponiendo varianzas desiguales, con un 95 % de nivel de confianza se puede asegurar que existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores obtenidos en ambas zonas de la laguna.

Detergentes. La presencia de detergentes en los distintos recursos hídricos representa una alteración en la calidad del agua, debido a que dichas sustancias suelen llegar a los distintos cuerpos de aguas por medio del vertido de agua contaminada proveniente de la actividad industrial y/o doméstica. En el caso de la Laguna la Bocaina

Tabla 7: Comparación de los resultados obtenidos contra los límites permisibles (Decreto 883) (mg/L salvo indicación)

Parámetro Evaluado	valor obtenido		Límites permisibles Decreto N° 883
	Zona Litoral	Zona Profunda	
Temperatura (°C)	33,56	32,38	
pH (adim)	7,35	7,09	Mínimo 6,5 y Máximo 8,5
O.D.	1,07	2,27	Mayor de 5,0
Turbidez (NTU)	524,00	12,67	
SDT (ppm)	4651,11	8110,48	
SF	Ausente	Ausente	Ausente
SS	0 – 1,50	0 – 0,5	
Conductividad (μ S/cm)	9302,22	16220,95	
Detergentes	<1	<1	<1
Aceite, Grasas e Hidrocarburos	0,6	0 – 0,20	0,3
Coliformes Fecales (NPM/100 MI)	0 – 1400	0 – 450	
Coliformes Totales (NPM/100 MI)	0 – 7900	460,67	

en el análisis de muestra se reportó valores menores a 1 mg/L tanto en la zona litoral como en la profunda.

Aceite, grasas e hidrocarburos. Su presencia reduce la reoxigenación a través de la interfase aire-agua del recurso hídrico, contribuyendo así en la disminución del oxígeno disuelto del agua y estas al absorber la radiación solar afecta la actividad fotosintética de las diversas plantas acuáticas [15]. Los valores obtenidos están en los rangos de 0,40 y 0,90 mg/L para la zona litoral y menor a 0,20 para la zona profunda.

Coliformes totales y fecales. Su determinación permitió establecer la contaminación patogénica y bacteriológica del agua proveniente de residuos fecales. Los resultados obtenidos son, para los coliformes totales hasta 7900,00 para la zona litoral y 930,00 para la zona profunda; para los coliformes fecales hasta 1400,00 para la zona litoral y a 450,00 para la zona profunda. Se puede observar que la zona litoral ha sido la más afectada por la presencia de los coliformes fecales y de manera genérica por los coliformes totales, estos resultados confirman que la calidad del agua presente en la laguna se encuentra severamente comprometida.

5.2. Comparación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con los límites permisibles establecidos en la Norma.

La Tabla 7 muestra la comparación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos me-

dante la evaluación de los valores obtenidos de la recopilación experimental de la data, con los límites permisibles establecidos en la Norma.

Como se puede observar en la Tabla 7 la concentración del oxígeno disuelto en ambas zonas de la laguna, se encuentran por debajo del límite establecido en el Decreto N° 883, el cual compromete el normal desarrollo de la biota existente en el humedal, de igual manera la concentración de aceite, grasas e hidrocarburos obtenida en la zona litoral sobrepasan el valor permisible, comprometiendo así el proceso de reoxigenación del agua, mientras que en la zona profunda su concentración se ubica por debajo del límite establecido; en cuanto a los sólidos sedimentable la no ausencia en el agua incumple con lo normado.

Una vez comparado los resultados obtenidos, se puede precisar que el agua presente en la Laguna la Bocaina incumple con los límites máximos y mínimos establecidos en el Decreto N° 883, evidenciando de esta manera la existencia de un profundo deterioro en la calidad de su agua.

5.3. ICA presente en la laguna La Bocaina del parque nacional “San Esteban”

Una vez definidos los modelos matemático que describen el cálculo ICA empleado para la valoración del agua del humedal, se procedió a realizar los cálculos correspondientes (ver Tablas 1 y 8).

Tabla 8: Índice de calidad del agua de la zona litoral “Laguna la Bocaina” según los modelos de Montoya, *et al* [14] & Espinosa y Rodríguez [3]

Zona	Modelo	
	Centro América [14]	Venezuela [3]
Litoral	30,10	23,94
Profunda	36,49	34,37

Agradecimiento

R. Pérez y F. Riveiro agradecen al Laboratorio de Procesos Estocásticos del IMYCA por la colaboración en los estudios estadísticos de este trabajo.

6. Conclusiones

Las conclusiones fundamentales son que la laguna “La Bocaina” exhibe notorios cambios físicos con respecto al color y olor de sus aguas desde hace más de 5 años; en la laguna se identificaron factores contaminantes tales como: residuos y desechos sólidos y el vertido de agua hacia la zona litoral del humedal a través de los ductos de descarga registrados, además de la puesta en práctica de actividades antrópicas como: el pique de fangos, la extracción de moluscos y el desarrollo comercial de bodegones y restaurantes en zonas aledañas; por último el agua presente en la laguna la Bocaina no cumple con los límites permisibles.

Como el grado de contaminación del agua es medido en términos del índice, las condiciones del agua del humedal están seriamente comprometidas en términos de calidad y evaluando en función de los modelos ICA aplicados en cada zona de la laguna, en los que fueron considerados distintos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en función a lo establecido por sus autores, en términos numéricos no reflejaron un gran margen de diferencia, exceptuando el caso de la zona litoral, como efecto de los distintos niveles de calidad obtenidos para los parámetros de turbidez, sólidos totales disueltos y el oxígeno disuelto entre las dos metodologías aplicadas. También es

necesario resaltar; que a pesar de emplearse dos metodologías de cálculo ICA distinta, existe una variación numérica entre los resultados obtenidos para la zona profunda y litoral de la Laguna la Bocaina, el cual se hace interesante puesto que dicha diferencia refleja una notable degradación en la calidad de su agua.

Referencias

- [1] G. Yanes. Utilización de la avifauna acuática en la valoración ecológica y socioeconómica de la laguna La Bocaina del Parque Nacional “San Esteban” (Carabobo, Venezuela). Trabajo especial de grado, Departamento de Biología, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo, Valencia, Carabobo, Venezuela, 2014.
- [2] Nora Malaver, María Rodríguez, and Víctor Hugo Aguilar. Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana*, 34(2), 2014.
- [3] Tony Espinosa and Carmen Rodríguez. Determinación del índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del Estado Carabobo, en Venezuela. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(2):204–215, 2016.
- [4] Tania Espinal, Jacinto Sede no, and Eugenia López. 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, 2013.
- [5] Marisela López, Griselda Pulido, Arturo Serrano, Juan Gaytán, William Scott, and Maria López. Evaluación estacional de las variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3):713–719, 2012.
- [6] Zoyla Martínez. Gestión integrada de cuencas hidrográficas en el Estado Carabobo (Venezuela). Ponencia, AVEAgua, 2011.
- [7] Patricia Torres, Camilo Cruz, and Paola Patino. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15e):79–94, 2009.
- [8] Ada Barrenechea. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: teoría*, volume Tomo 1, chapter 1, Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua, pages 2–56. OPS–CEPIS–PUB, Lima, Perú, 2004. Cánepa de Vargas, Lidia; Maldonado Yactayo, Víctor; Aurazo de Zumaeta, Margarita., editores.
- [9] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, and R. Tozer. A water quality index – do we dare? *Water and Sewage Works*, 117(10):339–343, 1970.

- [10] Şehnaz Şener, Erhan Şener, and Ayşen Davraz. Evaluation of water quality using water quality index (wqi) method and gis in aksu river (sw-turkey). *Science of the Total Environment*, 584–585:131–144, 2017.
- [11] María Silvana, Marcelo Wilson, Marcos Ladoc, and Antonio Paz. Evaluation of soil degradation produced by rice crop systems in a vertisol, using a soil quality index. *CATENA*, 150:79–86, 2017.
- [12] Curtis G. Cude. Oregon water quality index: a tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of American Water Resources Association*, 37(1):125–137, 2001.
- [13] PanaChlor, Panamá. *Solidos Disueltos Totales (TDS) & Electroconductividad (EC)*, 2016. <http://panachlor.com/>.
- [14] M. Montoya, C. Contreras, and V. García. Estudio integral de la calidad del agua en el estado de jalisco. Technical report, Comité nacional de agua, CONAGUA, Gerencia, Guadalajara – México, 1997.
- [15] ITSEMAP Ambiental, Madrid; Fundación MAPFRE. *Manual de contaminación ambiental*, 1994.