



## ARTÍCULO ORIGINAL

# Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz

**José Luis Xochihua-Juan<sup>1\*</sup>, Angela Eloya Bautista-Juárez<sup>1</sup>, Vanessa Jocelyn García-Ticante<sup>1</sup>, Héctor Jair Martínez-Mar<sup>1</sup>, Norma Hazzel Rodríguez-Morales<sup>1</sup>, Andrea Jezabel Villegas-Pérez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería Ambiental, Av. Venustiano Carranza S/N, Col. Revolución, C.P. 93390, Poza Rica, Veracruz, México.

Recepción 15 de noviembre de 2023. Aceptación 01 de diciembre de 2023

### PALABRAS CLAVE

Contaminación del agua  
Índice de Calidad del Agua  
Parámetros fisicoquímicos  
ICA

### Resumen

Los ecosistemas tropicales de agua dulce estacional incluyen a los esteros, lagunas, humedales y entre otros. Estos ecosistemas destacan por su notable productividad que permite la conservación y preservación de una gran variedad de especies de flora y fauna. Además, ofrecen diversos servicios ecosistémicos, generan beneficios socioeconómicos al proporcionar un hábitat adecuado para el crecimiento y reproducción de especies marinas como alimento, incluso brindan la opción de recreación y turismo. Sin embargo, este equilibrio de la naturaleza con la sociedad es alterada por la contaminación hídrica que proviene principalmente por las diferentes actividades antropogénicas, urbanización, descargas de aguas residuales, asentamientos humanos y la mínima concientización social. Lo anterior, propician cambios en la estructura, composición y dinámica de dichos ecosistemas, como es la afectación de la calidad del agua en lagunas estacionales al modificarse sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas que impiden el desarrollo de la biodiversidad significativa de la zona. Por lo tanto, es importante identificar variables específicas que brinden la posibilidad de conocer el estado actual del ecosistema acuático afectado por diferentes situaciones socioambientales. En este contexto, se describe el presente caso de estudio enfocado a los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la Laguna de Tampamachoco, Ver., lo que permitió establecer una relación matemática de las diferentes mediciones y definir una evaluación de la calidad de agua utilizando el método del Índice de Calidad del Agua (ICA) de la National Sanitation Foundation (NSF, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos. En relación al sitio de muestreo y los resultados obtenidos de los parámetros medidos, se concluye que la calidad de agua de la Laguna Tampamachoco es media o regular, es decir, se encuentra ocasionalmente amenazada y presenta una degradación paulatina de su calidad ambiental que puede conducirla a un grave deterioro.

**Correspondencia:** José Luis Xochihua Juan, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería Ambiental, Av. Venustiano Carranza S/N, Col. Revolución, C.P. 93390, Poza Rica, Veracruz, México, Teléfono: 7841409454, correo electrónico: [jxochihua@uv.mx](mailto:jxochihua@uv.mx).

## Abstract

## KEYWORDS

Water contamination  
Water Quality Index  
Physico-chemical  
parameters  
WQI

Tropical seasonal freshwater ecosystems include estuaries, lagoons, wetlands, and others. These ecosystems stand out for their notable productivity, which allows the conservation and preservation of a vast diversity of flora and fauna species. In addition, they offer various ecosystem services, generate socioeconomic benefits by providing adequate habitat for the growth and reproduction of marine species as food, and even allow recreation activities and tourism. However, water pollution from different anthropogenic activities, urbanization, wastewater discharges, human settlements, and minimal social awareness alter this balance between nature and society. The above leads to changes in the structure, composition, and dynamics of said ecosystems, such as the impact on water quality in seasonal lagoons by modifying its physical, chemical, and microbiological properties that prevent the development of significant biodiversity in the area. Therefore, it is essential to identify specific variables that provide the possibility of knowing the current state of the aquatic ecosystem affected by different socio-environmental situations. In this context, the present case study focused on the analysis of physicochemical and microbiological parameters of the water of the Tampamachoco lagoon, Ver., which allowed the establishment of a mathematical relationship between the different measurements and define an evaluation of the quality of water using the Water Quality Index (WQI) method of the National Sanitation Foundation (NSF) of the United States. Concerning the sampling site and the results obtained from the measured parameters, in conclusion, the water quality of the Tampamachoco Lagoon is average or regular, that is to say, it is occasionally threatened and presents a gradual degradation of its environmental quality that can lead to a significant deterioration.

## Introducción

El agua es un recurso natural que llega a formar parte de diversos ecosistemas acuáticos (esteros, lagunas, humedales, ríos, etc.). Estos ecosistemas permiten la conservación y preservación de una gran variedad de especies de flora y fauna (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008; Huaman-Vilca *et al.*, 2020). Así mismo, brindan diversos servicios ecosistémicos (protección contra la erosión e inundaciones, facilitan la recarga de acuíferos subterráneos, contribuyen a la filtración y purificación del agua, favorecen a la estabilización de las condiciones climáticas) (Sajurjo, 2001; Russi *et al.*, 2013) e incluso generan beneficios socioeconómicos desde la reproducción, crecimiento y aprovechamiento de especies marinas (peces, moluscos y crustáceos) como alimento, recreación y/o turismo (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008). Por lo tanto, la calidad del agua es esencial para la supervivencia de los seres vivos, mantenimiento de los ecosistemas y desarrollo de las actividades humanas (Quiroz *et al.*, 2017). Sin embargo, este equilibrio de la naturaleza con la sociedad llega a ser alterada por la contaminación hídrica, proveniente de forma directa e indirectamente de factores de origen natural (arrastre de materia orgánica particulado y disuelto) como antropogénico (Quiñones *et al.*, 2020), resultado de descargas de aguas residuales puntuales (domésticas, municipales e industriales) o difusas (escorrentía de las actividades agropecuarias) (Meléndez *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2013; Quiroz *et al.*, 2017). Esta situación comúnmente involucra a las aguas superficiales, específicamente las lagunas estacionales al presentar modificaciones graves en su ecosistema debido a la contaminación (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008; Ortega *et al.*, 2012; Cervantes *et al.*, 2015; Huaman-Vilca *et al.*, 2020).

El interés por contar con información y comprender el posible estado actual de las aguas superficiales en términos de estándares de calidad, ha impulsado el desarrollo y aplicación

de distintos métodos que involucren ciertos parámetros fisicoquímicos (sólidos disueltos totales, pH, temperatura, conductividad eléctrica y entre otros) y microbiológicos (coliformes fecales) en una expresión matemática, comúnmente denominado como Índice de Calidad del Agua (ICA) (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008), mismo que puede variar de acuerdo al tipo de agua superficial, factores climáticos y geológicos, frecuencia y condición puntual del muestreo (Boyacioglu, 2007). Entre los métodos utilizados destaca el ICA-NSF, conocido como el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (NSF, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos (García-González *et al.*, 2021). El ICA-NSF es ampliamente utilizado para evaluar la calidad de las aguas superficiales constituido por ocho parámetros fisicoquímicos y un microbiológico (coliformes fecales), sin dejar de mencionar, que puede modificarse y adaptarse en función de las condiciones prevalentes en un ecosistema acuático (Samboni *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2009; Meléndez *et al.*, 2013). De acuerdo a lo anterior, este caso de estudio se enfocó en realizar una evaluación del Índice de Calidad del Agua de la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Ver. Por último, es importante mencionar que únicamente se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos necesarios para la aplicación del método ICA-NSF modificado.

## Material y métodos

### Área de estudio

El presente caso de estudio se realizó en la Laguna de Tampamachoco, Tuxpan, ubicada en la llanura costera de Veracruz, México entre las coordenadas 20°18' y 21°02' de latitud norte y los 97°19' y 97°22' de longitud oeste (Jiménez *et al.*, 2012; Ortega *et al.*, 2012; Barrera-Escorcia *et al.*, 2014). Este cuerpo de agua con forma alargada pertenece al complejo lagunar Tamiahua-Tampamachoco (Sitio Ramsar 1602), con una longitud y ancho aproximado de 10.6 Km y 2.7 Km respectivamente; ocupando una extensión de 15 Km<sup>2</sup>

(Ortega *et al.*, 2012). Para esta actividad se consideró el reconocimiento del entorno del cuerpo de agua y se estableció 5 puntos de muestreo estratégicos a lo largo del cauce de la laguna: PM1 (Bocana), PM2 (Puente de Tampamachoco), PM3 (Isla 1), PM 4 (La Mata) y PM 5 (Isla 2) (Eligio *et al.*, 2021), influenciada por asentamientos humanos, restaurantes (Jiménez *et al.*, 2012), descargas de aguas residuales, entrada de agua marina y agua dulce, etc., tal como se muestra en la Figura 1 (Ortega *et al.*, 2012). Cabe mencionar, que no se establecieron más puntos de muestreo (PM) debido a que se observaban como zonas de menor perturbación antropogénica (Jiménez *et al.*, 2012).



Figura 1. Área de estudio, Laguna de Tampamachoco

### Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

En esta etapa del estudio, se consideró las metodologías establecidas por Jiménez *et al.* (2012) y Ortega *et al.* (2012). Inicialmente, se realizó la medición y determinación de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, sólidos disueltos totales, salinidad y conductividad eléctrica) *in situ* a una profundidad de 50 cm en la columna del agua, utilizando un medidor multiparamétrico de la marca Hanna, modelo HI 9828 previamente calibrada. Continuando con la determinación del parámetro microbiológico (coliformes fecales) se aplicó la metodología descrita por Barrera-Escorcia *et al.* (2014) y Aldaco *et al.* (2016), las cuales corresponden a las técnicas de preparación, lavado del material y toma de muestras de agua. Así mismo, la cuantificación de microorganismos se realizó a nivel laboratorio de acuerdo con lo propuesto por Eligio *et al.* (2021). Cabe resaltar que las pruebas se realizaron por triplicado.

### Evaluación del Índice de Calidad del Agua

Una vez determinado los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, se utilizó el método ICA-NSF (Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation) modificado para realizar la evaluación de la calidad del agua de la Laguna de Tampamachoco, Ver. El método ICA-NSF involucra un procedimiento de cálculo que toma en consideración el promedio aritmético ponderado de nueve parámetros del agua, los cuales se relacionan entre sí en la siguiente expresión matemática:

$$ICA - NSF = \sum_{i=1}^{i=n} (Q_i) (w_i)$$

Donde:

$i$  = parámetro de calidad del agua (físicoquímico y/o microbiológico) seleccionado y calculado.

$Q_i$  = factor de escala del parámetro  $i$ , cuyo valor está relacionado con el resultado obtenido en los análisis *in situ* y/o laboratorio.

$w_i$  = factor de ponderación del parámetro  $i$  en comparación con los demás parámetros calculados y que conforman el índice de calidad del agua (Quiroz *et al.*, 2017; Méndez-Zambrano *et al.*, 2020).

El factor  $Q_i$  de cada uno de los parámetros (físicoquímico y/o microbiológico) se estima en función de los datos de calidad, los cuales se obtuvieron partir gráficas o curvas de función (Samboni *et al.*, 2007; Tyagi *et al.*, 2013; Quiroz *et al.*, 2017). Es importante mencionar que los parámetros seleccionados para la evaluación del índice de calidad del agua fueron la temperatura, pH, sólidos disueltos totales y coliformes fecales. De acuerdo a lo anterior, se realizaron algunas modificaciones de los factores de ponderación de cada parámetro seleccionado debido a la falta de tiempo en el monitoreo y no poder obtener la información completa (Pamplona, 2010). Los factores de ponderación de cada uno de los parámetros se observan en la Tabla 1 (Meléndez *et al.*, 2013):

Tabla 1. Parámetros y factores de ponderación (ICA-NSF)

| Parámetro fisicoquímico y/o microbiológico          | Factor $w_i$ |
|---|--------------|
| 1 Temperatura (T)                                   | 0.10         |
| 2 Oxígeno disuelto (OD)                             | 0.17         |
| 3 Potencial de hidrógeno (pH)                       | 0.12         |
| 4 Turbidez  | 0.08         |
| 5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 0.10         |
| 6 Fosfatos (PO <sub>4</sub> )                       | 0.10         |
| 7 Nitratos (NO <sub>3</sub> )                       | 0.10         |
| 8 Sólidos disueltos totales (SDT)                   | 0.08         |
| 9 Coliformes fecales (CF)                           | 0.15         |

En la Tabla 2, se describe la escala de la calidad del agua de acuerdo con el método ICA-NSF modificado (Fernández y Solano, 2005):

Tabla 2. Calidad del agua (ICA-NSF)

| ICA-NSF | Calidad del agua |
|---------|------------------|
| 91-100  | Excelente        |
| 71-90   | Buena            |
| 51-70   | Media            |
| 26-50   | Mala             |
| 0-25    | Muy mala         |

## Resultados

En la Tabla 3, se describen los resultados obtenidos de las mediciones de cada parámetro fisicoquímico (temperatura, pH, sólidos disueltos totales) y microbiológico,

pertenecientes a los 5 puntos de muestreo. Los valores corresponden a un promedio aritmético de los diferentes parámetros del agua.

Tabla 3. Valores de medición de los parámetros

| Parámetro fisicoquímico y/o microbiológico | Valores |
|--|---------|
| Temperatura (°C)                           | 27.75   |
| Potencial de hidrógeno (unidades pH)       | 7.34    |
| Sólidos disueltos totales (*ppt)           | 18.11   |
| Coliformes fecales (**UFC/100 mL)          | 150     |

\*ppt: partes por trillón

\*\*UFC: Unidades Formadoras de Colonias

Cabe señalar que la temperatura promedio del medio ambiente fue alrededor de 31 °C. Seguido de lo anterior, se determinaron gráficamente los factores de escala ( $Q_i$ ) de cada parámetro establecido, los cuales se describen en la Tabla 4:

Tabla 4. Valores de los factores de escala

| Parámetro fisicoquímico y/o microbiológico | Factor $Q_i$ |
|--|--------------|
| Temperatura                                | 65           |
| Potencial de hidrógeno                     | 92           |
| Sólidos disueltos totales                  | 32           |
| Coliformes fecales                         | 41           |

Para la evaluación del ICA-NSF modificado se determinaron los nuevos factores de ponderación ( $w_i$ ) de cada parámetro, los cuales se observan en la Tabla 5:

Tabla 5. Valores de los factores de ponderación

| Parámetro fisicoquímico y/o microbiológico | Factor $w_i$ |
|--|--------------|
| Temperatura (°C)                           | 0.2375       |
| Potencial de hidrógeno (unidades pH)       | 0.2575       |
| Sólidos disueltos totales (*ppt)           | 0.2175       |
| Coliformes fecales (**UFC/100 mL)          | 0.2875       |

Los resultados obtenidos de la aplicación de la expresión matemática ICA-NSF se detallan a continuación (Tabla 6):

Tabla 6. Valores de los factores de ponderación

| Parámetro fisicoquímico y/o microbiológico | ( $Q_i$ )( $w_i$ ) |
|--|--------------------|
| Temperatura (°C)                           | 15.44              |
| Potencial de hidrógeno (unidades pH)       | 23.69              |
| Sólidos disueltos totales (*ppt)           | 6.96               |
| Coliformes fecales (**UFC/100 mL)          | 11.79              |
| <b>Total</b>                               | <b>57.88</b>       |

Considerando las escala establecidas en la Tabla 2 (método ICA-NSF), se puede destacar que la calidad del agua de la Laguna de Tampamachoco, Ver. es media.

## Discusión

Es importante aclarar que las condiciones climáticas estacionales, influyen directamente en los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los cuerpos de aguas superficiales, tal es el caso de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz. Su temperatura superficial de aproximadamente 27.75 °C, esta influencia a los cambios que

presente la temperatura ambiental de la zona. Esta temperatura corresponde a ecosistemas considerados como estuarios tropicales, cuyos valores van desde los 24 a 30 °C (Ortega *et al.*, 2012), permitiendo la reproducción de una variedad de especies de flora y fauna (Ruiz-Marín *et al.*, 2009). La temperatura es un factor determinante para el desarrollo de diversos procesos: físicos (solubilidad de sales, oxígeno disuelto, estratificación), químicos (pH, concentración de amoníaco) y biológicos (descomposición de materia orgánica). Así mismo, llega a influir en los efectos ecotoxicológicos propiciados por diversos agentes contaminantes (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008) o definir el grado de solubilidad del oxígeno en el agua, necesario para el crecimiento y sobrevivencia de diversas especies (Martínez-Arroyo *et al.*, 2000; Pérez *et al.*, 2017).

Otros de los parámetros considerados en la determinación del ICA-NSF es el pH, el cual es un indicador general asociado a la contaminación hídrica producida por las descargas de aguas residuales, ingreso de fertilizantes, presencia de metales pesados (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008) o degradación de materia orgánica (Ruiz-Marín *et al.*, 2009). El valor promedio del pH de la Laguna Tampamachoco es ligeramente alcalino (7.34), el cual puede estar relacionado a la mezcla con las corrientes de entrada de aguas marinas (Ortega *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2017) o presencia de sales como son carbonatos, bicarbonatos, etc. (Aldaco *et al.*, 2016). De igual manera, el valor del pH indica que la laguna aun es apropiada para el desarrollo de diversos sistemas biológicos, el cual puede limitarse a partir de valores superiores a 9.0 e inferiores a 6.0 relacionado con un cambio en la calidad del agua (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008; Huaman-Vilca *et al.*, 2020). No obstante, un pH alcalino puede favorecer la concentración y sedimentación de metales pesados en el fondo del cuerpo de agua (Barrera-Escorcía *et al.*, 2014).

Por otra parte, los sólidos disueltos totales (SDT) está relacionado con la concentración sustancias orgánicas e inorgánicas (sales, minerales, metales) presentes en el agua (Pérez *et al.*, 2017) procedente de material erosionado y acarreado por las escorrentías generadas por la lluvia (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008), lixiviación (Pérez *et al.*, 2017) o disminución del nivel de profundidad del cuerpo de agua (Méndez-Zambrano *et al.*, 2020). Los SDT pueden favorecer a la adsorción y concentración de agentes contaminantes (plaguicidas), incrementar la turbiedad y absorción de energía en forma de calor, reflejándose en aumento de la temperatura del cuerpo de los SDT de 18.11 ppt está cercano a lo reportado por Ortega *et al.* (2012).

Por último se tiene los coliformes fecales (CF), los cuales comúnmente provienen de las descargas de aguas residuales de la zona urbana de la región (Barrera-Escorcía *et al.*, 2014; Méndez-Zambrano *et al.*, 2020; Huaman-Vilca *et al.*, 2020) reflejando parte de la contaminación patogénica y bacteriológica (Pérez *et al.*, 2017; Huaman-Vilca *et al.*, 2020). La concentración de CF puede registrarse tanto en aguas como en los sedimentos. Se ha reportado que este tipo de bacterias pueden bioacumularse en organismos vivos como

son los ostiones derivado de sus procesos respiración y filtración del agua (Barrera-Escorcia *et al.*, 2014).

El método ICA-NSF modificado se seleccionó por su confiabilidad en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales, siendo en el caso de estudio la Laguna de Tampamachoco, Ver. La interpretación de los resultados en términos de calidad puede ser la pauta de poder brindar alternativas en beneficio del sostenimiento de la biodiversidad del propio ecosistema (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008). De acuerdo a la escala de la calidad (método ICA-NSF), la Laguna Tampamachoco podría encontrarse ocasionalmente amenazada y presentar una degradación paulatina de su calidad ambiental a través del tiempo y conducirla a un grave deterioro. Sin embargo, el valor ponderado del ICA de 57.88 (calidad media) no es decisivo para determinar el posible estado actual de la laguna, puesto que solo se utilizaron 4 parámetros (temperatura, pH, sólidos disueltos totales y coliformes fecales) y faltarían por involucrar 5 parámetros adiciones (oxígeno disuelto, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos, nitratos) de los 9 requeridos para un ICA completo y riguroso (Huaman-Vilca *et al.*, 2020). Adicionalmente, las actividades antropogénicas y principalmente las posibles descargas de aguas residuales en la laguna, propician cambios en la estructura y composición de dichos ecosistemas, afectando la calidad del agua al modificarse sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas (Rodríguez *et al.*, 2017; Pulido y Bermúdez, 2018). Se ha reportado que los resultados de los parámetros que llegan a ser evaluados pueden estar influenciados por la mezcla de aguas oceánicas, dulceacuícolas y condiciones climáticas estacionales (primavera, verano, otoño e invierno), destacando sequías, lluvias y nortes (Ortega *et al.*, 2012).

## Conclusiones

El Índice de Calidad del Agua (ICA), permite relacionar información sobre los distintos parámetros (físicoquímicos y microbiológicos) en una expresión matemática y lograr comprender el posible estado actual de las aguas superficiales al menos en 5 términos de estándares de calidad (excelente, buena, media, mala y muy mala). Con respecto a los valores obtenidos, la laguna presenta una ligera alcalinidad y una alta concentración de sólidos disueltos como de coliformes fecales. Influenciada de asentamientos humanos, establecimientos restauranteros y posibles descargas de aguas residuales que podrían estar afectando directamente los distintos parámetros y en consecuencia la calidad del agua de la laguna. Por lo tanto, es necesario establecer una mayor gestión de los servicios municipales, así como la aplicación correcta de políticas medioambientales actuales. En relación a los 5 puntos de muestreo, se puede resaltar que no hubo diferencias significativas principalmente en los parámetros físicoquímicos. Sin embargo, considerando algunas investigaciones se recomienda un muestro paulatino que contemple las diferentes temporadas climáticas (primavera, verano, otoño e invierno). Finalmente, se concluye que el agua de la Laguna Tampamachoco se puede

clasificar en una escala contaminado para consumo humano pero aceptable para el aprovechamiento de actividades como la pesca y desarrollo de vida acuática de acuerdo al método de ICA-NSF.

## Contribución de los autores

JLXJ, diseño del trabajo y redacción.  
AEBJ, análisis matemático y redacción.  
NHRM, recolección de datos y redacción.  
VJGT, recolección de datos.  
HJMM, recolección de datos.  
AJVP, recolección de datos

## Financiamiento

Recursos otorgados por la Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería Ambiental, Región Poza Rica-Tuxpan.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Presentaciones previas

Ninguna.

## Referencias

- Aldaco, P. V., Iturvide, F. A. y Lucio, M. A. M. (2016). Estudio microbiológico de dos cuerpos de agua del estado de Guanajuato: "La Presa la Purísima" y "Laguna De Yuriria". *Jóvenes en la Ciencia*. 2: 71-75.
- Barrera-Escorcia, G., Botello, A. V., Wong-Chang, I. y Fernández-Rendón, C. L. (2014). Contaminación microbiológica de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV Mérida. 653-670.
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water Sa*. 33(1).
- Cervantes, M. A., Gutiérrez, A.M. A. y Álvarez, L. T. (2015). Indicadores de calidad del agua en lagunas insulares costeras con influencia turística: Cozumel e Isla Mujeres, Quintana Roo, México.
- Eligio, M. V., Palomo, M. G. C., Taje, J. L. G. y Sánchez, J. D. L. Á. A. (2021). Análisis de las variables físico-químicas y microbiológicas de Las Lagunas del municipio de Escárcega, Campeche, México. *European Scientific Journal*, ESJ. 17(25): 116.
- Fernández, N. y Solano, F. (2005). Índices de calidad de agua e índices de contaminación. Universidad de Pamplona, Colombia. 310.
- García-González, J., Osorio-Ortega, M. A., Saquicela-Rojas, R. A. y Cadme, M. L. (2021). Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*. 25(2):115-126.
- Huaman-Vilca, S., Lucen-Espinoza, M., Paredes-Vite, M. y Alfaro, D. C. (2020). Evaluación de la calidad del agua de la Laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima-Perú). *South Sustainability*. 1(2).
- Jiménez, M. A. L., Monks, W. S., Solís, A. S., Flores, G. P., Oyarzún, J. C. G. y Ortega, M. L. (2012). Dinámica de las variables físicoquímicas del sedimento de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista científica UDO agrícola*. 12(4): 965-972.
- Martínez-Arroyo, A., Abundes, S., González, M. E., & Rosas, I. (2000). On the influence of hot-water discharges on phytoplankton communities from a coastal zone of the Gulf of Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*. 119: 209-230.
- Meléndez, V. G., Quintero, O. C. y Ramírez, N. A. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*. 16(1): 97-107.
- Méndez-Zambrano, P. V., Arcos-Logroño, J. P. y Cazorla-Vinueza, X. R. (2020). Determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río

- Copueno ubicado en Cantón Morona. Dominio de las Ciencias. 6(2): 734-746.
13. Ortega, M. L., Flores, G. P., Solís, A. S., Oyarzún, J. C. G., Monks, W. S. y Jiménez, M. A. L. (2012). Evaluación estacional de las variables fisicoquímicas del agua de la Laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(3): 713-719.
  14. Pamplona, U. D. (2010). ICAs e ICOs de Importancia Mundial. En N. J. P., *Investigación en H<sub>2</sub>O Calidad del agua*. 33-46 pp.
  15. Pérez, R., Riveiro, F., Jiménez, M., Manganiello, L., Vega, C., Covad, R. y Moreno, J. (2017). Water quality assessment in a Caribbean saltwater wetland. *Revista Ingeniería UC*. 24(3): 417-427.
  16. Pérez-Castillo, A. G. y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología tropical*. 56(4): 1905-1918.
  17. Pulido, C. V. M. y Bermúdez, D. L. (2018). Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú. *Arnaldoa*. 25(2): 679-702.
  18. Quiroz, F.L. S., Izquierdo, K. E. y Menéndez, G.C. (2017). Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 38(3): 41-51.
  19. Quiñones, H. L., Ochoa, T. L., Gamarra, T.O., Bazán, C. J., Delgado, S.J. y Kemper, V.N. (2020). Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. *Enfoque UTE*. 11(2): 109-120.
  20. Rodríguez, R., Retamozo-Chavez, R., Aponte, H. y Valdivia, E. (2017). Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. *Ecología Aplicada*. 16(1): 15-21.
  21. Ruiz-Marín, A., Campos-García, S., Zavala-Loría, J. y Canedo-López, Y. (2009). Hydrological aspects of the lagoons of Atasta and Pom, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10(1): 63-74.
  22. Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T., Coates, D., Förster, J. y Davidson, N. (2013). The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands. IEEP, London and Brussels. 78, 118 pp.
  23. Sajurjo, R. E. (2001). Valoración económica de servicios ambientales prestados por ecosistemas: Humedales en México. Instituto Nacional de Ecología.
  24. Samboni, R.N. E., Carvajal, E. Y. y Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*. 27(3): 172-181.
  25. Torres, B.B., González, L.G., Rustrián, P.E. y Houbron, E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 29(3): 135-146.
  26. Torres, P., Cruz, C. H. y Patiño, P. J. (2009). 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(15): 79-94.
  27. Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. y Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of water resources*. 1(3): 34-38.