



## Indicador de la calidad del agua, caso de estudio: Laguna Olmeca, Veracruz, México

Montserrat Vidal Álvarez<sup>1,\*</sup>, José Luis Marín-Muñiz<sup>1</sup>, Dainiz Hernández y Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>El Colegio de Veracruz, Academia de Desarrollo Regional Sustentable,  
Carrillo Puerto No. 26, Zona Centro, Xalapa, Veracruz, CP. 91000.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología A.C, Carretera antigua a Coatepec 351, Col. El Haya,  
Xalapa, Veracruz, CP. 91073

\*Correo de contacto: [monserrat.vidal@gmail.com](mailto:monserrat.vidal@gmail.com), [mvidal@colver.info](mailto:mvidal@colver.info)

### Resumen

Los humedales incluyen apreciables beneficios sociales, económicos y ambientales en todo el mundo además de proveer servicios muy importantes para el equilibrio ecológico del planeta. En el estado de Veracruz, se ubica el Área Natural Protegida (ANP), conocida como Laguna Olmeca; misma que forma parte del sitio Ramsar Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz (SLCV). Desafortunadamente, esta ANP se ha visto gravemente impactada por diversas actividades antropogénicas. En el presente documento se muestran los resultados del Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante la caracterización de contaminantes presentes en la laguna, así mismo se realizó una comparación con este mismo análisis de hace más de una década para conocer el estado actual de la laguna. De esta manera se intentan ofrecer elementos para caracterizar y cuantificar los contaminantes existentes en la laguna, así como diseñar y establecer las estrategias para su tratamiento y/o restauración adecuada.

*Palabras Clave: ICA, Caracterización fisicoquímica, humedal.*

### Abstract

Natural wetlands include appreciable social, economic and environmental benefits throughout the world in addition to providing very important ecosystem services for the ecological balance of the planet. In the state of Veracruz is located the Protected Natural Area (PNA) "Laguna Olmeca" lagoon; which is part of the Ramsar site of the Interdunary Lagoon System of the Veracruz City (SLCV). Unfortunately, this PNA has been severely impacted by various anthropogenic activities. This study shows the results of the Water Quality Index (ICA) through the characterization of pollutants present in the lagoon, likewise a comparison was made with this same analysis of more than a decade ago to know the current state of the lagoon. In this way, we try to offer elements to characterize and quantify the existing pollutants in the lagoon, as well as design and establish strategies for their adequate treatment and/or restoration.

*Keywords: ICA, Physicochemical characterization, wetland.*

Recibido: 15 de febrero 2022. Aceptado: 05 de abril de 2022. Publicado: 15 de agosto 2022.

### 1. Introducción

Si bien los recursos hídricos son vitales para nuestra existencia, los humedales juegan un papel fundamental e insustituible en el ciclo del agua [1]. Los humedales son definidos como las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, constituyen áreas de inundación temporal o



permanente, que están sujetas o no a la influencia de la marea [2]; [3]. Además, estos ecosistemas, nos proveen de diversos beneficios sociales, económicos y ambientales en todo el planeta [4]; entre los que destacan el proveer un hábitat para la vida silvestre y acuática; fungir como lugares de enseñanza, investigación y recreación; propiciar el reciclaje y la transformación de nutrientes; atenuar los flujos de inundación; recargar acuíferos; retener partículas y contaminantes; estabilizar los suelos, y ser uno de los ecosistemas con mayor productividad [5]; [6]. Además, los humedales son parte del patrimonio cultural de la humanidad, y sirven de base a importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales [7].

En este sentido, en el estado de Veracruz se ubica el Área Natural Protegida Laguna Olmeca (ANP-Laguna Olmeca); misma que forma parte del sitio Ramsar Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz (SLCV) que incluye además a otras 17 lagunas. Desafortunadamente esta ANP se ha visto gravemente impactada por diversas actividades antropogénicas, entre las que destacan: la expansión de la marcha urbana con un desarrollo nulo o poco planificado, la falta de políticas de ordenamiento de los recursos hídricos incluyendo al SLCV, así como la falta de conocimiento de los múltiples servicios socioambientales que provee la Laguna Olmeca.

Una de las problemáticas de mayor urgencia a tratar en el sitio es la descarga de aguas residuales de los fraccionamientos aledaños que realizan directamente a este cuerpo de agua. Por otro lado, algunas características como la proliferación de lirio, el color y el olor del agua en algunos puntos de la laguna han generado desconfianza y conflictos entre los habitantes sobre la calidad del agua y la seguridad sanitaria alrededor de la misma.

Por lo anterior, resulta de amplia importancia realizar una caracterización fisicoquímica de la calidad del agua de la laguna. En el presente documento se muestran los resultados del análisis realizado a 30 muestras de agua tomadas de la Laguna Olmeca para determinar su calidad a partir de las normas NOM 001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994. Además, se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) mediante la caracterización de contaminantes presentes en la laguna y se realizó una comparación con este mismo análisis de hace más de una década para conocer el estado actual de la laguna. De esta manera se intentan ofrecer elementos para caracterizar y cuantificar los contaminantes existentes en la laguna, así como diseñar y establecer las estrategias para su tratamiento y/o restauración adecuado.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Indicadores para la calidad del agua (ICA)

El ICA define la aptitud del cuerpo de agua en relación con los usos prioritarios que este pueda tener. Estos índices son llamados de usos específicos. El ICA propuesto por Brown y McClelland [8]; es una versión modificada del WQI (Water Quality Index). Para conocer el ICA intervienen 9 parámetros: coliformes fecales (en NMP/100 ml), pH, demanda bioquímica de oxígeno en 5 días ( $DBO_5$  en mg/L), nitratos ( $NO_3$  en mg/L), fosfatos ( $PO_4$  en mg/L), variación de la temperatura (en °C), turbidez (en FAU), sólidos disueltos totales (en mg/L) y oxígeno disuelto (OD en % de saturación).

Tabla 1. Clasificación del ICA propuesto por Brown y McClelland (1973).

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente	Blue	91 a 100
Buena	Green	71 a 90
Regular	Yellow	51 a 70
Mala	Orange	26 a 50
Pésima	Grey	0 a 25



El ICA adopta, para condiciones óptimas, un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del agua. La calidad del agua se clasifica según los datos de la tabla 1.

Las aguas con ICA mayores que 90 son capaces de poseer buena diversidad en la vida acuática. Las aguas con ICA de categoría regular tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y con frecuencia fomentan el crecimiento de las algas. Las aguas con ICA de categoría mala pueden tener solamente una diversidad baja de vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación. Las aguas con ICA de categoría pésima pueden tener un número limitado de las formas acuáticas de vida, presentan problemas abundantes y normalmente no resultan aceptables para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación. Para determinar el valor del ICA en un punto cualquiera es necesario tener las mediciones de los 9 parámetros antes mencionados, el cálculo del índice, la evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de los pesos específicos aportados en la investigación de Brown y McClelland (1973). Para calcular el índice de Brown y McClelland se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA<sub>a</sub>) o una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (1)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (sub_i^{w_i}), \quad (2)$$

donde  $w_i$  son los pesos relativos asignados a cada parámetro ( $sub_i$ ) y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno,  $sub_i$  es el subíndice del parámetro, otorgado mediante gráficas o interpolación para realizar la sumatoria.

Otros autores [9], demostraron que el cálculo de los ICA mediante técnicas multiplicativas es más sensible a la variación de los parámetros, pues reflejan con mayor precisión un cambio de calidad. La técnica aplicada en este estudio es la multiplicativa. Los pesos relativos de los diversos parámetros se presentan en la tabla 2. Para determinar el valor del ICA es necesario sustituir los datos en la ecuación (ICA<sub>m</sub>), de donde se obtienen los  $sub_i$  de distintas gráficas (Figura 1).

Tabla 2. Pesos relativos de los 9 parámetros.

<i>I</i>	<i>sub<sub>i</sub></i>	<i>w<sub>i</sub></i>
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.1
4	Nitratos	0.1
5	Fosfatos	0.1
6	Cambio de temperatura	0.1
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: Landwehr y Denninger (1976).

Cabe señalar que los análisis de laboratorio nos muestran nitrógeno y fósforo total, por ello se calculó la cantidad de nitratos y fosfatos de acuerdo a Martínez *et al.* [10] y Nakase *et al.* [11], para posteriormente realizar los cálculos del ICA.

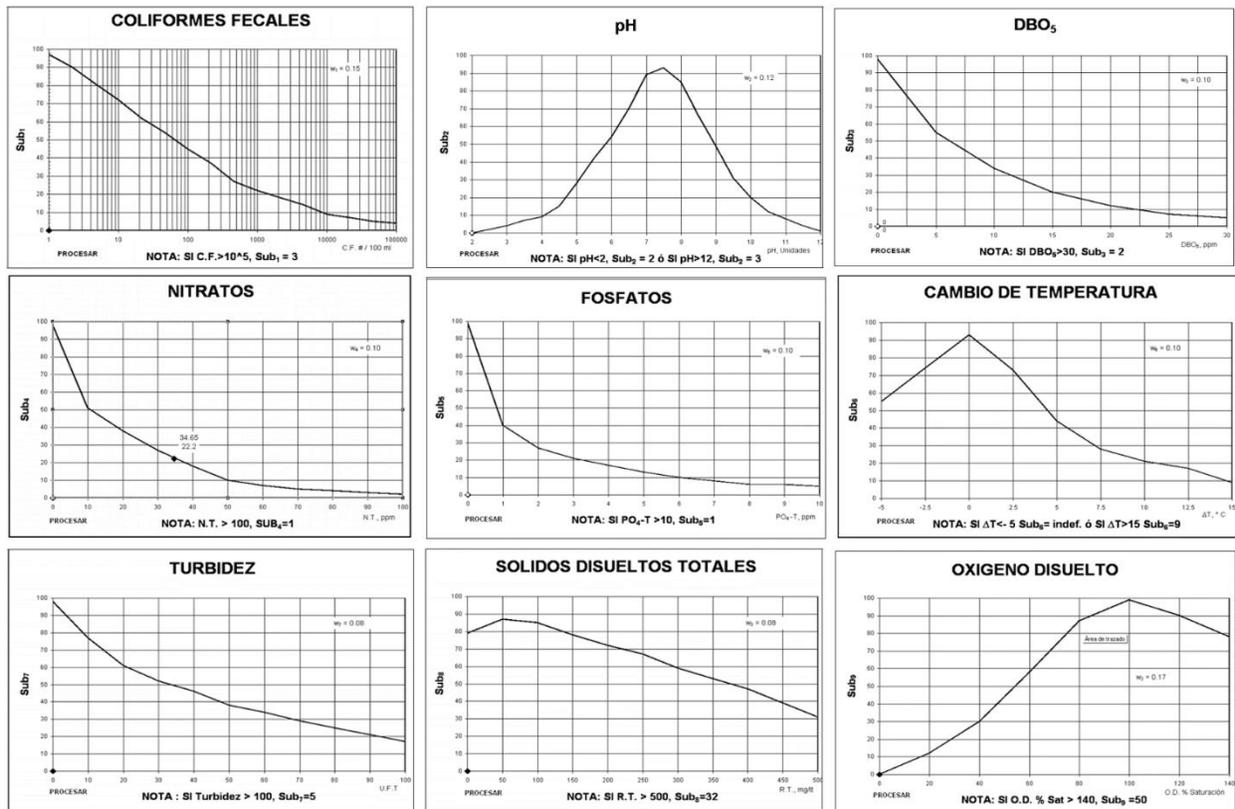


Figura 1. Gráficos para determinar el valor del ICA con la técnica de valoraciones multiplicativas. Fuente: Elaboración propia con información de Landwehr y Denninger (1976).

El ICA además, nos brinda información sobre la clasificación de los usos o vocación del agua de acuerdo con CNA (2003) (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de calificación de los ICA's

Uso o vocación	ICA		Valor
	Apto	No apto	
Fuente de abastecimiento de agua potable	50 - 100	< 50	Levemente contaminado a contaminado
Recreación	50 - 100	< 50	Excelente la mayor parte del tiempo
Pesca y vida acuática	60 - 100	< 60	Excelente a levemente contaminado
Industrial y agrícola	30 - 100	< 30	Aceptable a levemente contaminado

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2003).

## 2.2 Evaluación del ICA

En relación al valor numérico del ICA, éste no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con la idea de tener criterios generales, a continuación, se presentan algunos lineamientos aportados [12]; para ello, se definen 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente contaminada y (EC) Excesivamente contaminada [13] (Tabla 4).



Tabla 4. Caracterización del uso o vocación del agua.

Uso	Rango	Caracterización	Descripción
Agua potable	90 -100	E	No requiere purificación para consumo.
	80 -90	A	Purificación menor requerida.
	70 - 80	LC	Dudoso su consumo sin purificación.
	50 -70	C	Tratamiento potabilizador necesario.
	40 - 50	FC	Dudosa para consumo.
	0 - 40	EC	Inaceptable para consumo.
Agricultura	90 -100	E	No requiere purificación para consumo.
	70 -90	A	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad del agua.
	50 - 70	LC	Utilizable en la mayoría de cultivos.
	30 -50	C	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
	20 - 30	FC	Uso solo en cultivos muy resistentes.
	0 – 20	EC	Inaceptable para riego.
Pesca y vida acuática	70 - 100	E	Pesca y vida acuática abundante.
	60 - 70	A	Límite para peces muy sensitivos.
	50 – 60	LC	Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
	40 – 50	C	Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
	30 - 40	FC	Inaceptable para actividad pesquera.
	0 - 30	EC	Inaceptable para vida acuática.
Recreativo	70 - 100	E	Cualquier tipo de deporte acuático.
	50 – 60	A	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
	40 – 50	LC	Dudosa para contacto con el agua.
	30 – 40	C	Evitar contacto, sólo con lanchas.
	20 - 30	FC	Contaminación visible, evitar cercanía.
	0 - 30	EC	Inaceptable para recreación.
Industrial	90 - 100	E	No se requiere purificación
	70 -90	A	Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
	50 - 70	LC	No requiere tratamiento para la mayoría de las industrias de operación normal.
	30 - 50	C	Tratamiento para la mayoría de usos.
	20 - 30	FC	Uso restringido en actividades burdas.
	0 - 20	EC	Inaceptable para cualquier industria.

Fuente: Elaboración propia con información de León (1991) [13].

### 3. Metodología

#### 3.1 Descripción del sitio

La Laguna Olmeca, colinda con la zona metropolitana del Puerto de Veracruz (ZMPV). Su centroide tiene como coordenadas 19°08'52.61'' latitud N; y 96°09'06.12'' longitud W, con una altitud que está entre los 5 y 6 MSNM (INEGI-CEM 3.0, 2020). Su espejo de agua comprende una superficie que oscila entre las 50 y 60 has (SIATL-INEGI, 2020) con una profundidad promedio de 1.23 m. [14]. Limita al norte con las colonias Los Faros, Cuauhtémoc, Ampliación Cuauhtémoc, Laguna Real al este y al sur con la Avenida Miguel Alemán y la gasa de acceso a la carretera federal 180 y al oeste con el Fraccionamiento Laguna Real.

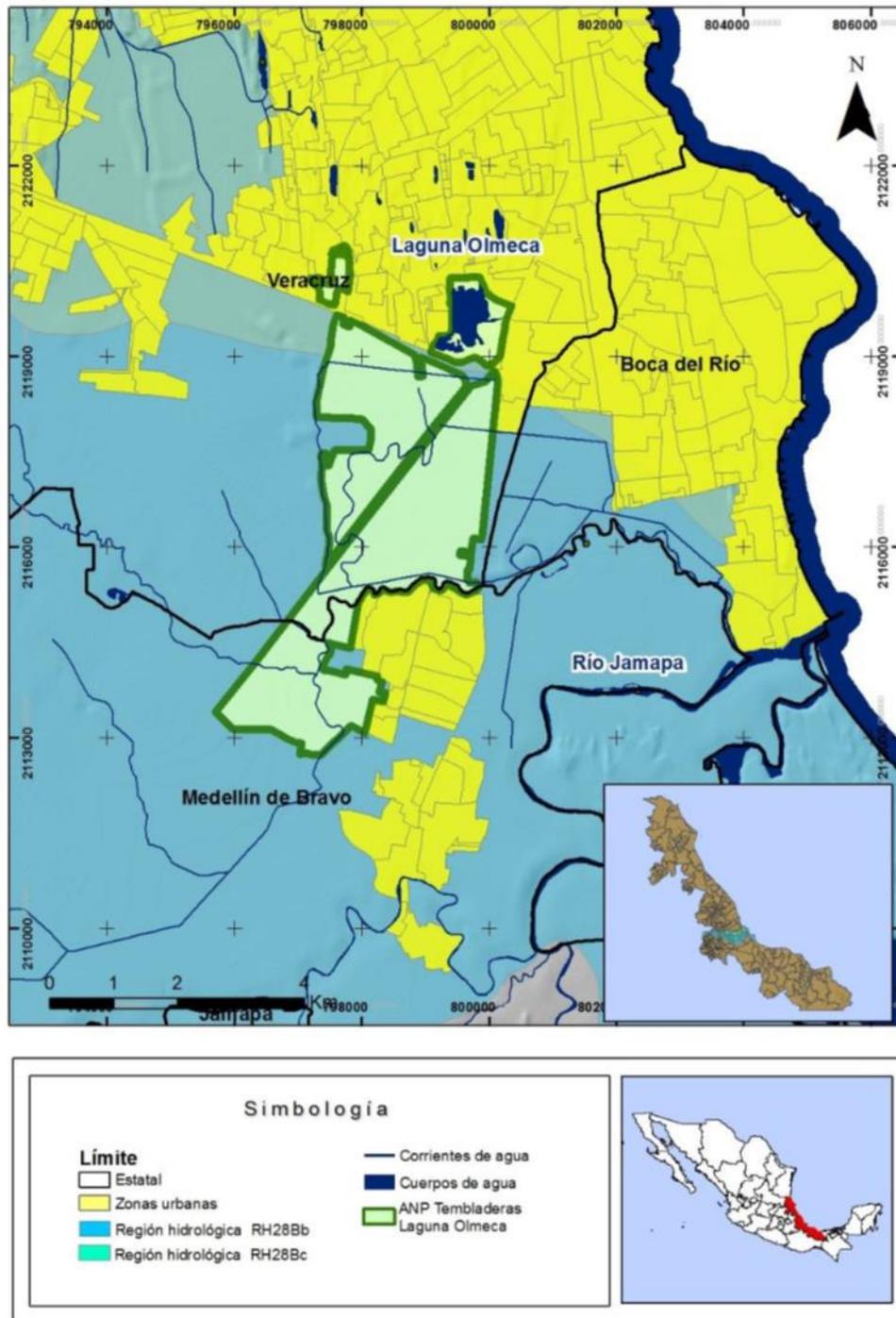


Figura 2. Zona del Área Natural Protegida del Sistema Lagunar Tembladeras y la Laguna Olmeca. (INEGI, 2015) y (Gaceta Oficial-GEV, 2014).

El ANP-Laguna Olmeca, forma parte del sitio Ramsar Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz que incluye además de la Laguna Olmeca a otras 17 lagunas (Figura 2). La zona se caracteriza por tener corredores de vegetación y humedales intercalados con el área urbana de la



ZMPV, lo que ha propiciado su degradación paulatina, incluyendo la eutrofización de la Laguna Olmeca con una pérdida progresiva de biodiversidad y la alteración en las funciones ecológicas y en los flujos de los servicios ecosistémicos y de regulación de la Laguna, incrementando de esta forma los riesgos de inundación, lo que implica una exposición directa de afectación a la salud de la población asentada en la zona, con el detrimento de los medios de subsistencia y de bienestar de las comunidades e impactos dañinos a la actividad económica de la zona (Gobierno del Estado de Veracruz, 2018).

### 3.2 Obtención de muestras

Se colectaron muestras de agua en 30 puntos a lo largo y ancho de la laguna distribuidas tal como se indica en la figura 3. En cada uno de los puntos se tomaron tres muestras a 30 cm por debajo del espejo de agua medido con una regla. Estas se colocaron en una bolsa estéril de 250 mL, en un frasco de 200 mL y en un recipiente de plástico de 500 mL previamente lavados y esterilizados. Cada uno se etiquetó con el nombre de la zona de estudio, la fecha, hora y número de la muestra.

Además, se colectaron 5 muestras correspondientes a los 5 puntos identificados previa observación de campo de las descargas de aguas residuales a la laguna, denominados en la Figura 3 como DR1, DR2, DR3, DR4 y DR5.

Todos los puntos de muestreo se georreferenciaron utilizando un GPS marca GARMÍN, Map64s.

Antes de cerrar el recipiente se midió en campo el pH y temperatura con un termómetro marca Termo scientific (Eutech Elite PCTS). Esta información se registró en las etiquetas de los recipientes y en una bitácora por punto de muestreo. Cabe señalar que el muestreo se realizó de acuerdo a las normas NMX-AA-003-1980, conductividad eléctrica, NMX-AA-093-SCFI-2018, Temperatura NMX-AA-007-SCFI-2013, pH NMX-AA-008-SCFI-2016, materia flotante NMX-AA-006-SCFI-2010. Posteriormente, todas las muestras se depositaron en una hielera para su traslado al laboratorio de AQS Servicios Industriales S.C, mismo que está acreditado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación A.C.) con número AG-206-037/12. El traslado al laboratorio se realizó el mismo día del muestreo para su posterior análisis.

#### 3.2.1. Parámetros analizados

Se analizaron diversos parámetros considerados como indicadores para evaluar la calidad del agua, que muestren la influencia humana desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciable (CONAGUA, 2019).

En el presente estudio se analizaron los siguientes parámetros para las 30 muestras de agua, así como para los 5 puntos de descargas:

- Coliformes Fecales (NMP)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
- Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
- Fósforo Total (mg/L)
- Nitrógeno Total (mg/L)
- pH
- Sólidos Disueltos Totales (mg/L)
- Temperatura (°C)
- Turbidez (UTN)



Figura 3. Distribución de los puntos de muestreo de agua en la laguna Olmeca.

#### 4. Resultados

Derivado del cálculo del ICA con las 30 muestras de agua se obtuvo la siguiente tabla con los 9 parámetros analizados, donde teniendo el valor del análisis del laboratorio, los valores de  $sub_i$  y los valores de  $w_i$  se multiplican para llenar la columna Total (tabla 5), y de la suma de esta se obtiene el valor de  $ICA = \sum_{(i=1)}^9 [(sub_i * w_i)]$ , [15].

Tabla 5. Parámetros que se analizaron para determinar el ICA.

N.º	Parámetro	valor	$sub_i$	$w_i$	Total
1	Coliformes fecales	134.5	45	0.15	6.75
2	pH	8.92	48	0.12	5.76
3	Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) ppm	18.95	15	0.1	1.5
4	Nitratos (ppm)	1.56	95	0.1	9.5
5	Sulfatos (ppm) (Fosfatos)	0.12	98	0.1	9.8
6	Cambio de la temperatura	25.6	73	0.1	7.3
7	Turbidez (NTU)	99	18	0.08	1.44
8	Sólidos disueltos totales (ppm)	304.17	58	0.08	4.64
9	Demanda de oxígeno (oxígeno disuelto, % de saturación)	18.5	5	0.17	0.85
<b>TOTAL</b>					<b>47.54</b>

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo a la clasificación del ICA (Tabla 1), la calidad del agua de la laguna Olmeca al tener un valor de 47.54 es Mala. Al realizar una comparación con el ICA y los resultados de la calidad del agua de hace casi 17 años obtenidos para esta laguna, se puede destacar la información contenida en la Tabla 6. Cabe señalar que para esta comparación sólo se utilizaron los 6 parámetros que utilizaron en [17].

Tabla 6. Comparación de Índice de Calidad del Agua (%)

<b>Parámetro</b>	<b>Sarabia (2004)</b>	<b>Presente estudio</b>
<i>pH</i>	2.4	1.35
<i>NO<sub>3</sub></i>	13.35	0.23
<i>PO<sub>4</sub>-P</i>	0.3	0.18
<i>DBO<sub>5</sub></i>	7.8	2.84
<i>%Sat OD</i>	10	3.7
<i>Col. Fecales</i>	7.2	26.9
<b>ICA</b>	<b>41.05</b>	<b>35.02</b>

Como se puede observar en la Tabla 7, la calidad del agua de la laguna Olmeca se ha visto afectada por las actividades antropogénicas, pasando de ser Fuertemente Contaminada (FC) a Excesivamente Contaminada (EC). Actualmente, la calidad del agua no es apta para consumo, es inaceptable para la actividad pesquera, se recomienda evitar contacto con el agua sólo en lanchas para uso recreativo, y requiere tratamiento uso agrícola y uso industrial (Tabla 7).

Lo anterior se explica a la falta de planificación para el desarrollo urbano alrededor de la laguna, el desmantelamiento de una planta de tratamiento que descargaba el agua tratada a la laguna, la poca o nula eficiencia del proceso de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada al noreste de la Laguna, el tiradero a cielo abierto a un costado de la misma, entre muchas otras problemáticas que a más de quince años no se han resuelto, por el contrario, se han agravado.

Tabla 7. Comparación de la vocación o uso según el porcentaje de ICA de la laguna Olmeca.

	<b>Año 2004</b>	<b>Año 2021</b>
	<b>Fuente: Sarabia, 2004</b>	<b>Fuente: Presente estudio</b>
<b>Resultado ICA (%)</b>	41.05	35.02
<b>Caracterización</b>	<b>Fuertemente contaminada</b>	<b>Excesivamente contaminada</b>
<b>Uso agua potable</b>	No apta	No apta
<b>Uso agrícola</b>	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos
<b>Uso en pesca y vida acuática</b>	Vida acuática limitada a especies muy resistentes	Inaceptable para actividad pesquera
<b>Uso recreativo</b>	Dudosa para contacto con el agua	Evitar contacto, sólo con lanchas
<b>Uso industrial</b>	Tratamiento para la mayoría de los usos	Tratamiento para la mayoría de los usos

Cabe recalcar que, las lagunas representan ambientes acuáticos con una considerable variación de sus parámetros ambientales, promovida por el comportamiento hidrodinámico de estos sistemas [18] y que esta variación de las concentraciones de nutrientes y sus fuentes son primordiales en todos los ecosistemas acuáticos [19]. En este mismo orden de ideas, una de las amenazas a las que están sujetas las lagunas del estado de Veracruz, es al excesivo aporte de nutrientes provenientes de las actividades humanas y en donde las aguas residuales reciben escaso o nulo tratamiento [20, 21]. Estas descargas excesivas de nutrientes generan disturbios ambientales como la eutrofización,



definida como “un incremento en la tasa de suministro de materia orgánica a un ecosistema” [22]. En el caso específico de la Laguna Olmeca, es importante recordar que tiene diferentes puntos de descarga de aguas con alta carga de concentración de nutrientes. Para el caso de nitrógeno y fósforo totales, se encuentran en el límite de concentraciones como “Aceptable”. Podemos resaltar que en el caso de NT los grupos 3 y 4 muestran concentraciones promedio más bajas en comparación con el resto de los grupos. Dichos grupos se encuentran en las muestras colectadas del espejo de agua y en las muestras colectadas a la salida de la planta de tratamiento. Lo anterior, se puede además explicar con los posibles procesos de remoción y fitorremediación que las plantas acuáticas, flotantes y enraizadas presentes en la laguna están haciendo. El origen de la contaminación bacteriológica de la laguna Olmeca se atribuye principalmente a las descargas irregulares de aguas residuales domésticas de los asentamientos humanos alrededor de la misma [23], así como al ineficiente tratamiento de la PTAR que descarga sus efluentes a la misma. El impacto de éstas descargas, puede generar diversas problemáticas que van desde la alteración de la microcomunidad natural encargada de diversas funciones en el ecosistema, hasta el desarrollo de condiciones anóxicas que impiden la vida animal. Esto depende de la intensidad de los aportes, de la forma del cuerpo receptor y de las corrientes, entre otros aspectos [24].

## 5. Conclusiones

Los parámetros físicos, químicos, bacteriológicos y los ICAs, del agua de la Laguna Olmeca, nos indican un alto grado de contaminación. Dicha información debe considerarse para la discusión y el diseño de las estrategias y el plan de manejo para la restauración de la misma. De acuerdo al ICA, aún es posible usar este espacio para actividades de recreación, con restricciones para inmersión dado la calidad y presencia de coliformes en el agua.

Con base en los resultados obtenidos se puede afirmar que los niveles de coliformes fecales y totales, la demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos totales se encuentran fuera de los límites permisibles reportados en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-127-SSA1-1994, lo cual significa que la calidad del agua es Mala.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas para el análisis, la toma de decisiones cuenta con nuevas herramientas que permiten abordar la solución de problemas relacionados con la gestión de los recursos hídricos. El análisis y la evaluación de la calidad del agua descrita en este trabajo a partir de la utilización de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) resulta relevante, ya que incluye información visual y espacial que puede estar disponible como complemento al diseño y planeación de futuras estrategias de restauración del sitio.

## 6. Referencias

- [1] Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2020. [www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)
- [2] Mitsch, W.J. y Gosselink J., 2000, “Wetlands”. Tercera edición. John Wiley and Sons Inc., New York
- [3] Kadlec Robert H. y Wallace Scott D., 2009, “Treatment Wetlands”. Segunda Edición. Ed. Taylor & Francis Group. USA.
- [4] *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*, 2005, World Resources Institute, Washington, D.C. 68 pp. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>.
- [5] Convención de Ramsar sobre los humedales, 1971, *Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*. UNESCO. Ramsar, Irán. <http://www.ramsar.org/indexsp.htm>, [http://www.ramsar.org/key\\_conv\\_e.htm](http://www.ramsar.org/key_conv_e.htm).



- [6] Breaux, A.M. y Day, Jr., 1994. "Policy considerations for wetland wastewater treatment in the coastal zone: a case study for Louisiana". *Coastal Management* 22: 285-307.
- [7] Moreno-Casasola P., E. Peresbarbosa R. y A.C. Travieso-Bello (Eds.), 2006, "Estrategias para el Manejo costero integral: el enfoque municipal". Instituto de Ecología A.C., 00 CONANP y Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Xalapa, Ver. México. 1266 pp.
- [8, 15, 16] Brown, R. and McClelland, N., 1973, "Water Quality Index. Application in the Kansas River Basin". 46<sup>th</sup> Conf. Water Poll. Fed., Cleveland, Ohio.
- [9] Landwehr, J. and Denninger, R., 1976, "Comparison of several water quality indices". *Water Pollution Control Fed.* 48(5), 954-958.
- [10] Martínez, N., Tejada A., Del Toro, A., Sánchez, M. y F. Zurita, 2019, "Nitrogen removal in pilot-scale partially saturated vertical wetlands with and without an internal source of carbon". *Science of the Total Environment*. 645, 524-532.
- [11] Nakase, C., Zurita, F., Nani, G., Reyes, G., Fernández-Lambert, G., Cabrera-Hernández, A. y Sandoval, L., 2019, "Nitrogen Removal from Domestic Wastewater and the Development of Tropical Ornamental Plants in Partially Saturated Mesocosm-Scale Constructed Wetlands". *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16(23), 4800.
- [12] Dinius, S. H., 1987, "Design of a Water Quality Index". *W.R. Bulletin*. 23 (5). 833- 843.
- [13] León, V. L., 1991, "Índices de Calidad del Agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala". Inf. # SH-9101/01. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 36 pp.
- [14, 17, 23] Sarabia Bueno, C. del C., 2004, "*Sistema lagunar de la ciudad de Veracruz, México. Propuesta de manejo bajo la visión de proyectación y gestión ambiental*". (Doctor en Ciencias). Colegio de Postgraduados.
- [18] Pinto A, Von Sperling E, Moreira R., 2001, "Chlorophyll-a Determination via Continuous Measurement of Plankton Fluorescence: Methodology Development". *Water Res.* 35(16): 3977-3981.
- [19] Nixon, S.W., 1981, "Freshwater inputs and estuarine productivity: Proceedings of the National Symposium on Freshwater inflow to Estuaries". U.S. Fish and Wildlife Service. U.S.A. In. Cross, R.D & D. Williams (EDS)
- [20] Nyenje, P.M., Foppen, J.W., Uhlenbrook, S., Kulabako, R., y Muwanga, A., 2010, "Eutrophication and nutrient release in urban areas of sub-Saharan Africa- A review". *Science of the Total Environment*, 408, 447-455
- [21] Vargas-González, H.H., Arreola-Lizárraga, J.A., Mendoza-Salgado, R.A, Méndez-Rodríguez, L.C., Lechuga-Devéze, C., Padilla-Arredondo, G., y Córdoba-Matson, V., 2014, "Effects of sewage discharge on trophic state and water quality in a coastal ecosystem of the Gulf of California". *The Scientific World Journal*, DOI:10.1155/2014/618054
- [22] Nixon, S.W., 1995, "Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns". *Ophelia*, 41, 199-229.
- [24] Bellan G., 1980, "Acción de los factores de polución sobre las comunidades bentónicas". En: *La polución de las aguas marinas* (J.M. Pérès, Ed.) Omega, España, pp. 150-160.