

# APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (WQI-NSF) EN LAGUNAS METROPOLITANAS Y RURALES

## APPLICATION OF THE WATER QUALITY INDEX (WQI-NSF) IN METROPOLITAN AND RURAL LAGOONS

Salcedo, M.A.<sup>1\*</sup>; Sánchez, J.A.<sup>1</sup>; Cruz-Ramírez, A.<sup>1</sup>; Álvarez-Pliego, N.<sup>1</sup>; Florido, R.<sup>1</sup>; Ruíz-Carrera, V.<sup>1</sup>; Garrido, A.<sup>1</sup>; Alejo-Díaz, R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, Villahermosa, Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: mzalcedo@gmail.com

### ABSTRACT

Unsustainable fringe urbanization affects the water quality and the public health. Then, the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (WQI-NSF) was measured in six lagoons in the Villahermosa metropolitan zone (ZM) and surrounding rural zone (ZR) during low and high flow, in the floodplain of Grijalva River, Mexico. The aim was to estimate whether the water quality in the lagoons is suitable for public health. In the ZM, the two lagoons registered medium water quality in both flow conditions. In the ZR, the water quality in the four lagoons varied from good to bad, but they kept better water quality during the high flow than the low one. The bad water quality is tied to the fringe urbanization impact. Instead, the good water quality was associated with the presence and coverage of aquatic vegetation, which favors the water depuration and highlights its benefits to conserve environmental services. The fecal coliforms (CF) and the total phosphorus (PT-PO<sub>4</sub>) negatively and frequently affected the WQI-NSF rating and exceeded the Norms of water quality for urban public use in Mexico, which display their potential public health risk.

**Keywords:** Grijalva Basin, Mexican standards, public health, urbanization.

### RESUMEN

La periurbanización insostenible afecta la calidad del agua y la salud pública. Por lo mismo, el Índice de Calidad del Agua de la Fundación Nacional de Sanidad (WQI-NSF) se midió en seis lagunas en la zona metropolitana de Villahermosa (ZM) y rural (ZR) aledaña durante flujo bajo y alto, en la planicie del Río Grijalva, México. El objetivo fue estimar si la calidad del agua en las lagunas es apropiada para la salud pública. En la ZM, las dos lagunas registraron calidad media del agua en ambas condiciones de flujo. En la ZR, la calidad del agua en las cuatro lagunas varió de buena a mala y mantuvieron mejor calidad del agua durante el flujo alto que en el bajo. La mala calidad del agua se atribuye al impacto de periurbanización. En cambio, la mejor calidad del agua se asoció con la presencia y cobertura de vegetación acuática, las cuales favorecen la depuración del agua y destacan sus beneficios para conservar los servicios ambientales. Los coliformes fecales (CF) y el fósforo total (PT-PO<sub>4</sub>) afectaron negativa y frecuentemente la calificación del WQI-NSF y superaron los lineamientos de la calidad del agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano en México, lo que evidencia su potencial riesgo a la salud pública.

**Palabras clave:** cuenca Grijalva, Normas mexicanas, salud pública, urbanización.

## INTRODUCCIÓN

El suministro, la depuración del agua y la recreación son tres servicios ecosistémicos que ofrecen las lagunas epicontinentales (Costanza *et al.*, 1997), y que ayudan a mantener la biodiversidad y favorecen el desarrollo de actividades productivas y de esparcimiento. Sin embargo en estas lagunas, las presiones antropogénicas han deteriorado su calidad del agua, que a su vez incrementan los riesgos a la salud pública y la vulnerabilidad ambiental (Ternus *et al.*, 2011; Lammers *et al.*, 2015).

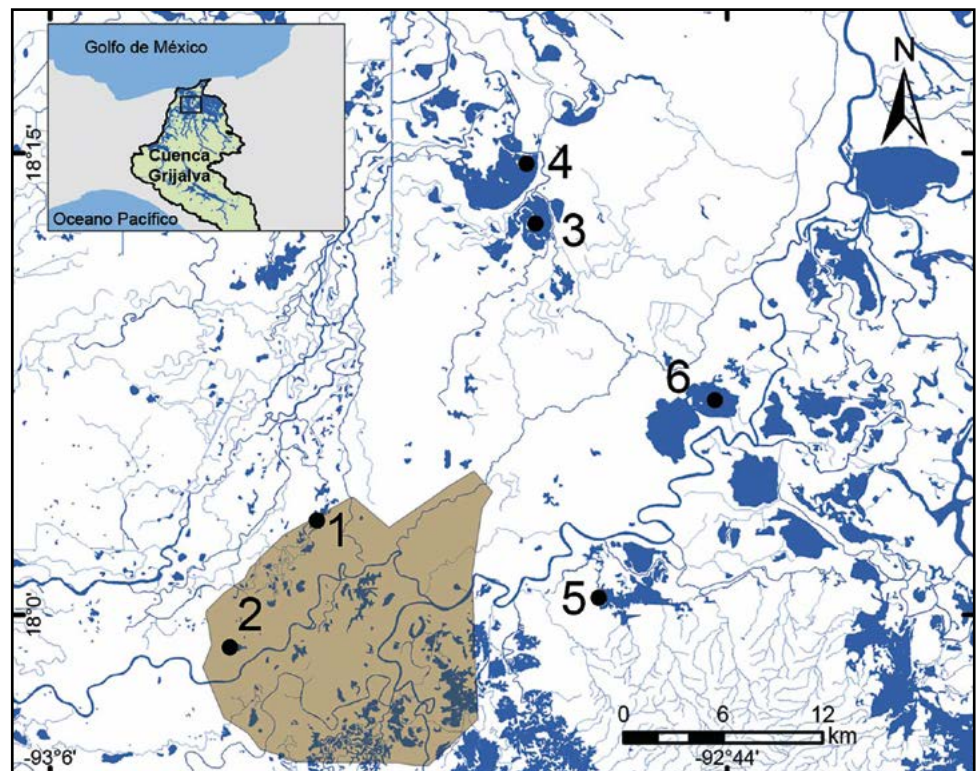
En la planicie del río Grijalva, en el estado de Tabasco, México, Villahermosa es la ciudad más extensa, dada su área metropolitana cercana a 20,655 ha (Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano del Municipio de Centro 2008), su concentración de pobladores y actividades económicas en el estado de Tabasco (INEGI, 2012; 2015). Así mismo, la demanda del recurso hídrico destacó en el 2015, con 224.6 hm<sup>3</sup> para agricultura y 183.8 hm<sup>3</sup> para abastecimiento público (CONAGUA, 2016). El auge petrolero comenzó en la década de 1970 y para 1980 inició la periurbanización por la modernización y saturación del territorio dentro del límite de la ciudad de Villahermosa dado por los ríos Mezcalapa Viejo, Grijalva y Carrizal que la circundan (Díaz-Perera 2014; Palomeque *et al.*, 2017a). A inicios de la década de 1980, cuatro lagunas urbanas de Villahermosa aún mantenían condiciones oligotróficas y mesotróficas (Rodríguez *et al.*, 1996). Pero, al avanzar la década de 1980 hacia el 2010 el incremento del 58% del crecimiento poblacional estuvo acompañado con un cambio de uso de suelo que favoreció

la infraestructura urbana y provocó la pérdida de 289 ha de humedales (Palomeque *et al.*, 2017a). Entre las consecuencias de este crecimiento periurbano insostenible ha destacado el deterioro de la calidad del agua de las lagunas en la planicie de los ríos Grijalva-Usumacinta, vinculado con el aislamiento hidráulico, la fragmentación por urbanización y la contaminación por vertidos sin adecuado tratamiento (Sánchez *et al.*, 2012; Torres *et al.*, 2017). Sin embargo, el modelo de desarrollo metropolitano continúa con las prácticas de invadir y fragmentar las lagunas y sus zonas adyacentes de inundación (Palomeque *et al.*, 2017a). Este modelo generará una pérdida adicional de 109 ha para 2030 (Palomeque *et al.*, 2017b) que incluye las áreas

propuestas para la preservación ecológica, conservación total y regulación hidrológica y de valor ambiental (IMPLAN, 2008). Bajo este escenario insostenible de crecimiento periurbano, la presión sobre las lagunas urbanas y rurales adyacentes a la metrópoli aumentarán su pérdida en área y de sus condiciones ecológicas, en detrimento de la salud pública y biodiversidad. En este contexto la aplicación del WQI-NSF en lagunas en la ZM y ZR permitirá explicar si la condición de la calidad del agua en las lagunas es aún favorable para la salud pública.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** Las seis lagunas seleccionadas se localizan en la planicie del río Grijalva (Figura 1) en la que se ha registrado un escurrimiento superficial medio de 109,016 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> al año (CONAGUA, 2012). La construcción de infraestructura hidráulica



**Figura 1.** Localización de las seis lagunas ubicadas en la ZM de Villahermosa (sombreado en color café claro) y ZR en la planicie del río Grijalva. 1=El Gordiano; 2=Loma de Caballo; 3=Manguito; 4=Pucté; 5=Playa de Poza y 6=Maluco. Fuente SIATL (2010).

(presas, bordos y canales), urbana y carretera ha propiciado la disminución de la interconexión o aislamiento hidráulico de algunas lagunas de la ZM y ZR adyacente a la ciudad de Villahermosa con los ríos que las abastecen (Sánchez et al., 2015; Palomeque et al., 2017a).

En la ZM se seleccionaron dos lagunas en el área de descarga de los ríos Carrizal-Samaria. En la ZR se eligieron cuatro lagunas ubicadas a 20 km río abajo de la ZM en dos diferentes áreas de drenaje (Cuadro 1). Solamente en la Laguna Pucté se ha registrado la presencia de la macrófita enraizada sumergida *Vallisneria americana*. Las plantas acuáticas flotadoras como es el lirio acuático *Eichhornia crassipes* son comunes en las seis lagunas, pero dominaron en la Laguna Playa de Poza.

**Muestreo.** En dos lagunas dentro de la ZM y cuatro en la ZR se realizaron mediciones en dos condiciones de flujo contrastante en función del caudal esperado del río Grijalva, el cual fluctúa de 107 a 588 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (CONAGUA, 2012). El primer muestreo fue en flujo alto (septiembre 2013) y el segundo en flujo bajo (mayo 2014).

La calidad el agua se definió con el índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos de América (WQI-NSF) (Brown et al., 1970). El WQI-NSF se compone de nueve parámetros: temperatura del agua (Temp), turbidez (Turb), potencial de hidrógeno (pH), nitratos (NO<sub>3</sub>), fósforo total (PT-PO<sub>4</sub>), saturación de oxígeno disuelto (SOD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), sólidos totales (ST) y coliformes fecales (CF). Los nueve parámetros fueron analizados según los métodos APHA (1998) y EPA, (1971).

Los cálculos de WQI se realizaron de acuerdo con Carter (1998) y Abbasi y Abbasi (2012), mediante la aplicación de la fórmula:

$$WQI_{NSF} = \sum_{i=0}^n Q_i \times W_i$$

Donde:  $Q_i$  es la calificación de calidad de cada parámetro y  $W_i$  es el peso de importancia. Este índice agrupa sus resultados en cinco categorías que definen sus efectos a la salud pública (muy malo, malo, medio, bueno y excelente).

**Análisis de datos.** El efecto negativo ( $E^{-50}$ ) de cada parámetro se determinó a partir de  $\leq Q_i=49$  o  $\geq Q_i=49$  (Cuadro 2), que es donde inicia dicho efecto sobre la calificación del índice. En los 12 WQI-NSF se registró la frecuencia de cada  $E^{-50}$  por parámetro, laguna y en ambas condiciones de flujo. El valor del  $E^{-50}$  de cada parámetro fue cotejado con el definido en los lineamientos permisibles de la calidad del agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano o uso 1 (Cuadro 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad del agua resultó buena con cuatro registros, seis resultaron en calidad media, dos con calidad mala y ninguna con calidad excelente o muy mala (Cuadro 3). En la condición de flujo alto, la calidad media se obtuvo en tres lagunas, El Gordiano, Loma de Caballo y Playa de Poza. La calidad buena resultó en otras tres lagunas, Manguito, Pucté y Maluco, todas incluidas en la ZR; las dos primeras lagunas se localizan en el área de drenaje del río González y la tercera en el área de descarga del río Grijalva (Cuadro 3).

En la condición de flujo bajo desmejoró la calidad del agua, al determinarse calidad mala en dos lagunas, en tres lagunas media y buena en una laguna. La calidad mala del agua fue registrada en las lagunas Playa de Poza y Maluco en la ZR, del área de descarga del río Grijalva. La calidad

media fue medida en las lagunas El Gordiano, Loma de Caballo y Manguito, las dos primeras se ubicaron en la ZM, en el área de drenaje de los ríos Carrizal-Samaria y la tercer laguna se localiza en la ZR, en el área de drenaje del río González. La calidad buena del agua sólo fue registrada en la Laguna Pucté (Cuadro 3).

La calidad media del agua persistió en los dos muestreos en

**Cuadro 1.** Localización de las lagunas en las zonas metropolitana y rural con el número de habitantes y coberturas en porcentaje de áreas agrícola, pecuaria y forestal (AAPF) y de vegetación hidrófita (AVH) en su área de escurrimiento. Fuente SIATL (2010).

Lagunas	Localización (N/O)		AAPF (%)	AVH (%)	Número de habitantes
Zona Metropolitana					
1. El Gordiano	18.0544°	-92.9554°	95	3	108322
2. Loma de Caballo	17.9824°	-93.0026°			
3. Manguito	18.2117°	-92.8369°	73	15	43353
4. Pucté	18.2439°	-92.8419°			
5. Playa de Poza	18.0092°	-92.8027°	84	6	2452
6. Maluco	18.1055°	-92.7399°			

las lagunas Loma de Caballo y Gordiano, ambas localizadas en la ZM y en el área de descarga de los ríos Carrizal-Samaria. Tres lagunas disminuyeron en categoría de calidad del agua, entre la condición de flujo alto a bajo. Así, la calidad del agua cambió de buena a media en la laguna El Manguito en la ZR, en el área de drenaje del río González. El cambio de categoría de calidad media a mala se registró en la laguna Playa de Poza y el cambio en dos categorías, de buena a mala calidad fue detectado en la laguna El Maluco en la ZR. Las dos anteriores lagunas están localizadas en el área de escurrimiento del río Grijalva, aguas abajo de la ZM de Villahermosa (Cuadro 3).

**Cuadro 2.** Valor de los parámetros ( $\leq Qi=49$  o  $\geq Qi=49$ ) empleados en la identificación del efecto negativo ( $E^{-50}$ ).

Parámetro	$E^{-50}$	Uso 1 <sup>a</sup>
SOD (%)	<54	50.7 <sup>b</sup>
pH (unidades)	5.8-9	6.0-9.0
CF (NMP 100 <sup>-1</sup> mL)	>64	1000
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	> 6.3	-
Cambio de Temp (°C)	> 9.1	-
PT-PO <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	>0.74	0.1
NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	>11	2.25 <sup>c</sup>
Turb (UTN)	>35	10
ST (mg L <sup>-1</sup> )	>380	550

<sup>a</sup> Valor limite en la Ley Federal de Derechos (2016), <sup>b</sup> 50.7 % SOD=4 mg L<sup>-1</sup> de OD a 27.7 °C; <sup>c</sup> 2.5 mg L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub>=5.0 NO<sub>3</sub>-N.

Las mayores frecuencias de  $E^{-50}$  se detectaron en Playa de Poza para los dos flujos, y para Gordiano y Maluco en flujo bajo, los cuales fueron

principalmente causados por los valores de CF y PT-PO<sub>4</sub> (Cuadro 4). En estas tres lagunas los valores de CF durante el flujo bajo y en la laguna Loma de Caballo en flujo alto superaron el límite máximo de las Normas mexicanas como fuente de abastecimiento para uso público urbano (Cuadro 4). Los  $E^{-50}$  registrados para PT-PO<sub>4</sub> sobresalieron en flujo bajo en las dos lagunas de la ZM y en dos en la ZR del área de drenaje del río Grijalva (Cuadro 4).

Todos los  $E^{-50}$  atribuidos a los PT-PO<sub>4</sub> coincidieron o superaron su lineamiento para el empleo del agua para fuente de abastecimiento para uso público urbano (Ley Federal de Derechos, 2016). Esta restricción se fundamenta en que la materia orgánica es la fuente principal de fósforo en ambientes alterados por la actividad humana (Ternus et al., 2011), condiciones que sobresalieron en la Laguna Maluco durante flujo bajo. En este contexto, la calidad del agua en las lagunas Playa de Poza y Maluco se deteriora más durante el flujo bajo, de acuerdo con Shuhaimi-Othman et al. (2007), pues la

**Cuadro 3.** Variación de las categorías de la calidad del agua (WQI-NSF) en las lagunas en condiciones contrastantes de flujo.

Lagunas	Flujo alto	Flujo bajo	Zona	Calificaciones WQI-NSF	Calidad
El Gordiano	67	59	ZM	91-100	Excelente
Loma de Caballo	60	65	ZM	71-90	Bueno
Manguito	75	67	ZR	51-70	Medio
Pucté	78	71	ZR	26-50	Malo
Playa de Poza	52	44	ZR	0-25	Muy malo
Maluco	76	46	ZR		

**Cuadro 4.** Frecuencia del efecto negativo ( $E^{-50}$ ) de los parámetros en la calidad de agua en las lagunas en ambas condiciones de flujo (0=efecto positivo, 1=efecto negativo). (a=incumple Norma mexicana).

Sitios	Condición	SOD	CF	ST	NO <sub>3</sub>	PT- PO <sub>4</sub>	DBO <sub>5</sub>	Turb	Temp	pH	$E^{-50}$
Loma de Caballo	FA	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	0	2
Gordiano		0	1	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	2
Pucté		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Manguito		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Playa de Poza		1 <sup>a</sup>	1	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	3
Maluco		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Loma de Caballo	FB	0	1	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	2
Gordiano		0	1 <sup>a</sup>	1	0	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	0	0	4
Pucté		0	0	0	0	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	1
Manguito		0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Playa de Poza		1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	0	0	0	0	4
Maluco		0	1 <sup>a</sup>	0	1 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	1	1 <sup>a</sup>	0	0	5
$E^{-50}$		3	10	2	2	6	1	2	0	0	

concentración de CF y PT-PO<sub>4</sub> puede aumentar, lo que es más evidente en lagunas de la ZR, donde hay peores condiciones de calidad del agua, que en la ZM.

En el área de drenaje de las lagunas de la ZR se realiza la mayor proporción de actividades agrícolas, pecuarias y forestales (SIATL 2010) y sus aguas residuales son vertidas al río Grijalva, cuyo curso atravesó previamente Villahermosa, lo cual ayuda a interpretar la calidad mala del agua en las lagunas Playa de Poza y Maluco, y se puede explicar por los E<sup>-50</sup> de los CF y de PT-PO<sub>4</sub>. Esta suma de aguas residuales proveniente de zonas urbanas y vertidas en las rurales ha ayudado a fundamentar el deterioro de la calidad ambiental en los ecosistemas acuáticos de las zonas periurbanas y rurales (Sudha et al., 2013); ya que estas condiciones incrementan los riesgos a la salud pública por enfermedades gastrointestinales y la mortalidad de organismos acuáticos (Almazan-Marroquín et al., 2016).

En contraste, la buena calidad del agua en laguna Pucté se asoció con el menor porcentaje de cambio de uso de suelo (73.3 %) que se traduce en mayor cobertura de macrófitas acuáticas en su área de escurrimiento y presencia de macrófitas enraizadas sumergidas en la laguna. Ambas asociaciones de vegetación acuática ayudan en la depuración del agua (Lone et al., 2014).

## CONCLUSIONES

**El índice** de calidad del agua de la National Sanitation Foundation (WQI-NSF) calificó condiciones desfavorables para la salud pública en lagunas las suburbanas y rurales, las cuales quedaron ratificadas por las Normas mexicanas que regulan el uso de agua como fuente de abastecimiento para uso público urbano. La mayor frecuencia de E<sup>-50</sup>, determinada principalmente por CF y PT-PO<sub>4</sub>, indicó que los elevados valores de enterobiontes y nutrientes pueden ser relacionados con desechos provenientes de las actividades agropecuarias por escorrentía en la ZR, y de las aguas residuales en ambas zonas, lo que abre la duda acerca de la eficiencia de los servicios municipales y de la aplicación de políticas públicas dirigidas a su regulación. En este sentido se suma que la calidad del agua empeoró en la temporada de flujo bajo en las lagunas de la ZR, cuando disminuye el volumen de agua. En términos de conservación de los servicios ambientales de la vegetación acuática, la buena calidad del agua en la laguna Pucté se asoció con la presencia de macrófitas enraizadas sumergida (*Vallisneria americana*) y mayor

cobertura de macrófitas enraizadas emergentes (tulares y espadañales) que favorecen la depuración del agua.

## AGRADECIMIENTOS

Resultados del proyecto PIFI UJAT-2012-IA-13. Rafael Alejo Díaz fue becario y obtuvo su grado en Ingeniería Ambiental con parte de la información de este artículo mediante la opción de resolución de casos prácticos.

## LITERATURA CITADA

- Abbasi T., Abbasi S. A. 2012. Water quality indices. Elsevier. Great Britain. 362 p.
- Almazan-Marroquín V., Figueroa R., Parra O., Fernández X., Baeza C., Yañez J., Urrutia R. 2016. Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 44: 313-326.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. Joint Ed. Board. Washington D. C. 1397 p.
- Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., Tozer R.G. 1970. A Water Quality Index – do we dare?. *Water Sewage Works* 117: 339-343.
- Canter L.W. 1998. Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. 841 p.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2012. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Comisión Nacional del Agua. Disponible en línea: [ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases\\_Datos\\_Bandas](ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Bandas). Recuperado el 15 de Mayo de 2015.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2016. Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. 275 p.
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Díaz-Perera M.Á. 2014. La construcción histórica de las condiciones de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. *In*: M. González-Espinosa, M.C. Brunel-Manse (eds.) Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Ciudad de México: Editorial Juan Pablos. pp. 1-25.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1971. Oxygen, dissolved (Membrane Electrode). Method 360.1.
- IMPLAN (Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano del Municipio de Centro). 2008. Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Villahermosa y Centros Metropolitanos del Municipio de Centro, Tabasco 2008-2030. Villahermosa: H. Ayuntamiento Constitucional de Centro. 72 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2010. Secretaría de Desarrollo Social. Consejo Nacional de Población. México. 34 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2015. Anuario estadístico y geográfico de Tabasco 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 415 p.
- Lammers P.L., Richter T., Waeber P., Mantilla-Contreras J. 2015. Lake Alaotra wetlands: how long can Madagascar's most important rice and fish production region withstand the anthropogenic pressure? *Madagascar Conservation & Development* 10: 116-127.

- Ley Federal de Derechos. 2016. Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. México, DF: Comisión Nacional del Agua. 167 p.
- Lone P.A., Bhardwaj A.K., Shah K.W. 2014. Macrophytes as Powerful Natural Tools for Water Quality Improvement. *Research Journal of Botany* 9: 24-30.
- Palomeque M.A., Galindo A., Pérez E., Sánchez A.J., Escalona M.J. 2017b. Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 253-267.
- Palomeque M.A., Galindo A., Sánchez A.J., Escalona M.J. 2017a. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México *Investigaciones Geográficas* 68: 151-172.
- Rodríguez R.E. 1996. Clasificación Limnológica de Lagunas Continentales de Tabasco. *Revista de divulgación, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* 2: 26-33.
- Sánchez A.J., Salcedo M.A., Florido R., Mendoza J.D., Ruiz-Carrera V., Álvarez-Pliego N. 2015. Ciclos de inundación y conservación de servicios ambientales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *ContactoS* 97: 5-14.
- Sánchez A.J., Salcedo M.A., Macossay-Cortez A., Fera-Díaz Y., Vázquez L., Ovando N., Rosado L. 2012. Calidad ambiental de la laguna urbana la Pólvora en la cuenca del río Grijalva. *Tecnología y Ciencias del Agua* 3: 143-152.
- Shuhaimi-Othman M., Lim E.C., Mushrifah I. 2007. Water quality in Chini Lake, Pahang, west Malasia. *Environmental Monitoring and Assessment* 131: 279-292.
- SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas). 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México Versión 3.2. Recuperado de: [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#)
- Sudha M.C., Ravichandran S., Sakthivadivel R. 2013. Water Bodies Protection Index for assessing the sustainability status of lakes under the influence of urbanization: a case study of south Chennai, India. *Environment, Development and Sustainability* 5: 1157-1171.
- Ternus R.Z., de Souza-Franco G.M., Anselmini M.E.K., Mocellin D.J.C., Magro J.D. 2011. Influence of urbanisation on water quality in the basin of the upper Uruguay River in western Santa Catarina, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23:189-199.
- Torres-Martínez A.A., Sánchez A.J., Álvarez-Pliego N., Hernández-Franyutti A., López-Hernández J.C., Bautista-Regil J. 2017. Gonadal histopathology of fish from La Pólvora urban lagoon in the Grijalva basin. *Revista Internacional de Contaminación Acuática* 33: 713-717.

