



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE
TABASCO**



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LAGUNAS LIMNÉTICAS
EN UN HUMEDAL FLUVIAL TROPICAL: PROPUESTA DE
INDICADORES.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A:

ING. AMB. SHIRLEY YAJHAIRA MARTÍNEZ GOVEA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MIGUEL ÁNGEL SALCEDO MEZA



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



JULIO 02 DE 2015

**C. SHIRLEY YAJHAIRA MARTÍNEZ GOVEA
PAS. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: "**CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LAGUNAS LIMNÉTICAS EN UN HUMEDAL FLUVIAL TROPICAL: PROPUESTAS DE INDICADORES**", asesorado por Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por la M. en C. Rosa Amanda Florido Araujo, Dr. Juan de Dios Mendoza Palacios, Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza, Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez y Dra. Violeta Ruiz Carrera.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**

UJAT
DIVISION ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCION

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



Villahermosa, Tab., a 02 de Julio de 2015

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. SHIRLEY YAJHAIRA MARTÍNEZ GOVEA** egresada de la Maestría en **CIENCIAS AMBIENTALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LAGUNAS LIMNÉTICAS EN UN HUMEDAL FLUVIAL TROPICAL: PROPUESTAS DE INDICADORES"**

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LAGUNAS LIMNÉTICAS EN UN HUMEDAL FLUVIAL TROPICAL: PROPUESTAS DE INDICADORES"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 02 de Julio de 2015.

AUTORIZO



SHIRLEY YAJHAIRA MARTÍNEZ GOVEA

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza por ser guía en el desarrollo de este trabajo, por su esfuerzo, dedicación y su incondicional apoyo. Sus conocimientos, sus orientaciones, su infinita paciencia y su motivación han sido fundamentales para la culminación del presente proyecto.

Al CONACYT por la beca económica otorgada en el periodo agosto 2012 - julio 2014 y a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por la beca institucional otorgada durante el periodo febrero 2013 - julio 2014.

A la Coordinación de Vinculación y Servicios (COVINSE/DACBiol) por la autorización para el uso de los datos de calidad del agua del proyecto: “Evaluación del comportamiento de la hidrodinámica y comunidades bióticas en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla”.

Agradezco a la comisión revisora integrada por la Mtra. Rosa A. Florido Araujo, Dr. Juan de Dios Mendoza Palacios, Dr. Alberto J. Sánchez Martínez y Dra. Violeta Ruiz Carrera.

A todos mis amigos, sin excluir a ninguno, pero en especial a Rosa y Deysi por acompañarme en este proceso, por su incondicional apoyo, animo y motivación a seguir y no decaer.

A mis compañeros de Maestría que juntos recorrimos este camino, aprendiendo y dando cada uno algo de sí mismo para lograr nuestro objetivo.

A mis compañeros de laboratorio de humedales, en especial a Maco, Hugo, Sarita, Allan, Henry y Emmanuel por el apoyo recibido.

A las personas que, de una manera directa o indirecta han sido claves en mi vida profesional y personal.

“Es de bien nacidos ser agradecidos”

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por su infinita bondad y amor, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante este largo transitar.

A mis abuelitos

Aidé Murillo (QEPD) y Gilberto Martínez por quererme y apoyarme siempre, por dejarme la herencia más importante: la familia y educación, lo que soy se lo debo a ustedes.

A mi papá

Por todo el apoyo brindado a lo largo de este camino.

Mis hermanos

Por ser parte importante de mi existencia.

A mis tíos, tías y primos

Por brindarme su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

A Rubicel

Por los momentos compartidos, el cariño brindado, el apoyo incondicional ofrecido para continuar y seguir con mi camino, gracias por estar conmigo.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

INDICE

CAPITULO I

Introducción	1
Antecedentes	1
Justificación	3
Objetivo general	3
Objetivos particulares	4
Hipótesis	4
Literatura citada	4

CAPITULO II

Artículo científico "Calidad ambiental del agua en lagunas limnéticas en un humedal fluvial tropical: propuesta de indicadores"	1
---	---

ANEXO I

Normas editoriales "Ecosistemas y Recursos Agropecuarios"	i
---	---

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas altamente productivos por sus características geohidrológicas, biológicas y químicas, o que confiere un alto valor ecológico, pues brindan múltiples recursos y bienes para el ser humano, asimismo proveen servicios ambientales y ecológicos (Barbier *et al.* 1997, Junk 2002, Barba *et al.* 2006).

Actualmente, las actividades antropogénicas directa o indirectamente han modificado sustancialmente la dinámica de los humedales del ciclo de inundación (Souza-Filho 2009, Montoya *et al.* 2011, Wen *et al.* 2011, Ajibola *et al.* 2012). Entre estas modificaciones destaca la alteración o modificación en la dinámica del ciclo de inundación (Hamilton 2010, Ajibola *et al.* 2012), ya que éstos regulan el funcionamiento de los humedales fluviales (Brinson 1993, Poff *et al.* 2010, Arias *et al.* 2014). En este contexto, la variación del flujo influye en la dinámica geomorfológica, composición física y química del agua, además condiciona los ciclos de vida de la flora y de la fauna, así como su distribución y abundancia como ejemplos (Arrington y Winemiller 2006, Thomaz *et al.* 2007, Wantzen *et al.* 2008, Montoya *et al.* 2011, Ghumman 2011, Salcedo *et al.* 2012 y Bice *et al.* 2014).

También, los humedales fluviales en planicies de inundación incrementan la similitud entre ambientes acuáticos, que contrasta con el descenso del flujo y el incremento de la heterogeneidad que domina en estos ecosistemas (Agostinho *et al.* 2000).

ANTECEDENTES

La calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos ha sido evaluada mediante el uso de indicadores, Thomaz *et al.* (2007) han propuesto indicadores ecológicos en función de la clorofila *a* y el fósforo total, los cuales permiten demostrar la reducción en la variabilidad espacial debido a las

inundaciones. Por otro lado a nivel global la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) emplea indicadores ambientales para la evaluación de la calidad del agua mediante la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), el fósforo y el nitrógeno (OECD 2008); además las Naciones Unidas (UN, por sus siglas en inglés) maneja dentro de sus indicadores de sustentabilidad a la DBO_5 y coliformes fecales (UN 2007); mientras que a nivel nacional la CONAGUA (2012) utiliza la DBO_5 , demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST), al considerarlos más susceptibles de demostrar la influencia antropogénica por la presencia de centros urbanos e industriales.

Sin embargo, para la selección e integración de indicadores de la calidad ambiental del agua en estos humedales fluviales tropicales es necesaria la comparación individual de las variables con los valores respectivos de las condiciones “óptimas” o “permisibles” de dichos métricos en estos ecosistemas (CCME 2001, Dale y Beyeler 2001). Aunado a lo anterior, en la legislación ambiental de la República Mexicana sobre los lineamientos o criterios de calidad del agua es incompleta en la inclusión de variables tróficas y de nutrientes, como ejemplo la clorofila *a* y los nitritos (LFDMA 2014). Además, para esto es requerida una base de datos físicos, químicos y biológicos a un intermedio o de largo plazo en el área de estudio (CCME 2001, McLusky 1993, Aubert *et al.* 2013).

No obstante, se han seleccionado indicadores ambientales resultantes de un monitoreo a corto plazo en un humedal fluvial tropical, en donde fue incluida una base de datos de variables biológicas y ambientales del agua en dos ciclos de inundación en los que se incluyó dos períodos extremos de inundación. Esto fue aplicado con el propósito de superar la carencia de bases de datos a un intermedio o largo plazo y de valores estándar de referencia de la zona de estudio, lo que es requerido para apoyar la valoración de la condición ecológica (Salcedo *et al.* 2012).

JUSTIFICACIÓN

En Pantanos de Centla, la disponibilidad y la calidad del agua son importantes (Sánchez *et al.*, 2007) ya que estos recursos son fundamentales para el mantenimiento de la función, el aporte de bienes y servicios ambientales que este ecosistema ofrece, como son los usos humanos (industrial y agropecuario), ecosistémico (ciclos de vida) e hídricos. No obstante estas actividades se han incrementado al igual que los efectos adversos en la calidad el agua y la fauna asociada. Entre estas amenazadas destacan por sus efectos la construcción y operación de infraestructura, la sobrepesca, la urbanización, pérdida y destrucción del hábitat, y actualmente se suma el cambio climático global (Poff *et al.*, 2002, Hamilton, 2010).

Los indicadores ambientales son útiles para interpretar la dinámica intrínseca del ecosistema y las amenazas en este, lo cual apoya el manejo adecuado de los ecosistemas, entre los que se incluyen a los humedales (Dale y Beyeler 2001). En este contexto es necesaria una propuesta de indicadores de la calidad ambiental del agua en lagunas limnéticas en el humedal tropical Pantanos de Centla, mediante el uso de variables físicas, químicas y biológicas. Lo anterior con el propósito de advertir sobre los efectos del cambio global, mismas que responden a las continuas presiones humanas y de los efectos del cambio climático, los cuales influyen sobre las alteraciones en la composición del agua.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad ambiental del agua en las lagunas limnéticas de Pantanos de Centla mediante una propuesta de indicadores.

OBJETIVOS PARTICULARES

Seleccionar indicadores de la calidad ambiental del agua en función de la variación intra-anual en dos áreas de drenaje en un humedal tropical.

Determinar los indicadores con variación espacial e intra-anual en Pantanos de Centla.

Aplicar los indicadores con variación espacial e intra-anual para definir la calidad ambiental del agua en lagunas limnéticas.

HIPÓTESIS

La calidad ambiental del agua de las lagunas limnéticas de Pantanos de Centla varía intra-anualmente en dos áreas de drenaje.

LITERATURA CITADA

- Agostinho AA, Thomaz SM, Minte-Vera CV, Winemiller KO (2000) Biodiversity in the high Parana´ River floodplain. En: Gopal B, Junk WJ y Davis JA, (eds) Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 89–118.
- Ajibola MO, Adewale BA, Ijase KC (2012) Effects of Urbanisation on Lagos Wetlands. *International Journal of Business and Social Science* 3: 310-318.
- Arias ME, Cochrane TM, Kumm M, Lauri H, Holtgrieve GW, Koponen J, *et al.* (2014) Impacts of hydropower and climate change on drivers of ecological productivity of Southeast Asia's most important wetland. *Ecological Modelling* 272: 252-263.
- Arrington DA, Winemiller KO (2006) Habitat affinity, the seasonal flood pulse, and community assembly in the littoral zone of a neotropical floodplain river. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 126-141.
- Aubert AH, Gascuel-Oudoux C, Gruau G, Akkal N, Faucheux M, Fauvel Y, *et al.* (2013). Solute transport dynamics in small, shallow groundwater-dominated agricultural catchments: insights from a high-frequency, multisolute 10 yr-long monitoring study. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 1379-1391.
- Barba ME, Rangel MJ, Ramos RR (2006) Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia* 22: 101-110.

- Barbier EB, Acreman MC, Knowler D (1997) Valoración económica de los humedales: Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- Bice CM, Gehrig SL, Zampatti BP, Nicol JM, Wilson P, Leigh SL, *et al.* (2014). Flow-induced alterations to fish assemblages, hábitat and fish-hábitat associations in a regulated lowland river. *Hydrobiologia* 722: 205–222.
- Brinson MM (1993) A hydrogeomorphic classification for wetland. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS. 101 pp.
- CCME (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Canadian Council of Ministers of the Environment. Manual. Winnipeg. 5 pp.
- CONAGUA-SEMARNAT (2012). Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 141 pp.
- Dale VH, Beyeler SC (2001) Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1: 3-10.
- Ghumman AR (2011) Assessment of water quality of Rawal Lake by long-time monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment* 180: 115-126.
- Hamilton SK (2010) Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains. *Hydrobiologia* 657: 19–35.
- LFDMA (2014) Ley Federal de Derecho en Materia de Agua: Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. Diario oficial de la federación. México, DF. 95 pp.
- McLusky DS (1993) Marine and estuarine gradients – an overview. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 27: 489-493.
- Montoya JV, Castillo MM, Sánchez L (2011) La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia* 36: 900-907.
- OECD (2008), Key environmental indicators 2008. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, France. 36 pp.
- Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC (1997) The natural flow regime. *BioScience* 47: 769-784.
- Poff NL, Richter BD, Arthington AH, Bunn SE, Naiman RJ, Kendy E, *et al.* (2010) The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new frame work for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55: 147–170.
- Salcedo MA, Sánchez AJ, de la Lanza G, Kamplicher C, Florido R (2012a) Condición ecológica del humedal tropical Pantanos de Centla. En: Sánchez AJ, Chiappa X, Pérez B, (Eds) Recursos Acuáticos Costeros del Sureste. CONCYTEY, Mérida, México. pp: 1096.
- Salcedo MA, Sánchez AJ, Florido R, Ruiz-Carrera V (2012b) Ciclos de inundación en la cuenca baja de los ríos Grijalva Usumacinta. En: Universidades Mexicanas (CUMex) y la Universidad de Guadalajara (U de G) (sometido) Las cuencas hidrográficas en México: una perspectiva integrada.
- Sánchez AJ, Salcedo MA, Florido R, Armenta A, Rodríguez-Leal C, Galindo A, Moguel E (2007) Pantanos de Centla, un humedal costero tropical. En: De la Lanza G, Hernández-Pulido S (eds.) Las aguas interiores de México, conceptos y casos. AGT .DF, México. pp: 399-422.
- Souza MFL (2009) Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. *Brazilian Journal Biology* 69: 707-716.
- Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL (2007) Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1-13.
- Wantzen KM, Junk WJ, Rothlaupt KO (2008) An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia* 613: 151-170.

Wen L, Rogers K, Saintilan N, Ling J (2011) The influences of climate and hydrology on population dynamics of waterbirds in the lower Murrumbidgee River floodplains in Southeast Australia: Implications for environmental water management. *Ecological Modelling* 222: 154-163.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA EN LAGUNAS LIMNÉTICAS EN UN HUMEDAL FLUVIAL TROPICAL: PROPUESTA DE INDICADORES

ENVIRONMENTAL QUALITY IN LIMNETIC WATER LAGOONS IN TROPICAL FLUVIAL WETLAND: AN INDICATORS PROPOSAL

¹Shirley Martínez-Govea, ^{2*}Miguel Ángel Salcedo, ²Rosa Florido Araujo, ³Juan de Dios Mendoza-Palacios, ² Alberto J. Sánchez, ²Violeta Ruiz Carrera, ²Nicolás Álvarez Pliego

¹Posgrado en Ciencias Ambientales. División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT.

²Diagnóstico y Manejo de Humedales Tropicales. CICART, DACBiol, UJAT. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5.

CP.86040, Tabasco, México. *mzalcedo@gmail.com

³División Académica de Ciencias Agropecuarias, UJAT.

RESUMEN: La calidad ambiental del agua se evaluó mediante una propuesta de indicadores ambientales, se midieron 19 variables fisicoquímicas y biológicas en 16 lagunas limnéticas en dos áreas de drenaje (Grijalva y Usumacinta) durante 2004-2011 y, en escala intra-anual (flujo bajo y alto). A los datos se aplicó un análisis secuencial de variación intra-anual y espacial, regresión múltiple, componentes principales y regresión logística. La definición de indicadores requirió un análisis de predicción inversa ($p=0.95$), para la estimación de sus umbrales. En Pantanos de Centla destacaron los indicadores OD y CE, pues presentaron umbrales para cada fase de flujo. Los indicadores CF, NO_2 y clorofila *a* generaron umbrales solo para una fase. Las predicciones del umbral de OD fueron 2.8 y 7.1 mgL^{-1} en flujo alto y bajo, respectivamente, ambas óptimas para el mantenimiento de la vida acuática. Los umbrales propuestos para CE resultaron con 236 y 544 μScm^{-1} para flujo alto y bajo, correspondientemente y estos definieron condiciones limnéticas favorables para su biota acuática y libres de contaminación ambiental. El umbral predicho de CF resultó solo para flujo alto (39,999 NMP100ml^{-1}), este mayor que el lineamiento para la protección de la vida acuática. En flujo bajo, el umbral propuesto para NO_2 (0,063 mgL^{-1}) reflejó condiciones normales para aguas limnéticas y el de clorofila *a* (148 μgL^{-1}) definió hipereutrofización. Los indicadores OD, CE, NO_2 reflejaron una buena calidad ambiental del agua. Sin embargo, la

hipereutrofización y el incremento de la contaminación fecal evidenciaron el detrimento del humedal fluvial Pantanos de Centla.

Palabras clave: Ciclos de inundación; Hipereutrofización; Indicadores ambientales; Monitoreo; Umbrales.

ABSTRACT: The water environmental quality was evaluated through an environmental indicators proposal, 19 physicochemical and biological variables were measured in 16 limnetic lagoons in two drainage areas (Grijalva and Usumacinta) during the 2004-2011 period, and in intra-annual scale (low and high flow). The data were applied a sequential analysis of intra-annual and spacial variation, multiple regression, main components and logistic regression. The indicators definition required an inverse prediction analysis ($p=0.95$) for its thresholds estimation. In Pantanos de Centla the DO y EC indicators stood out, since they presented thresholds for both flow phases. The FC, NO_2 and chlorophyll *a* generated thresholds for only one phase. The DO threshold predictions were 2.8 and 2.1 mgL^{-1} in high and low flow respectively; both values ideal for the maintenance of aquatic life. The proposed thresholds for EC turned out with 236 and 544 μScm^{-1} for high and low flow correspondingly, and these defined favorable limnetic conditions for the aquatic biota and free of environmental pollution. The predicted FC threshold turned out only for high flow (39,999 NMP100ml⁻¹); this value was higher than the lineament for the protection of aquatic life. In low flow, the proposed threshold for NO_2 (0,063 mgL^{-1}) reflected normal limnetic water conditions, and the one for chlorophyll *a* (148 μgL^{-1}) defined hypereutrophication. The DO, EC and NO_2 indicators showed a good environmental water quality. However, the hypereutrophication and the increase in fecal pollution demonstrated the detrimento of the fluvial wetland Pantanos de Centla.

Key words: Flood cycles; Hypereutrophication; Environmental indicators; Monitoring; Thresholds.

INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas altamente productivos por sus características geohidrológicas, biológicas y químicas, o que confiere un alto valor ecológico, pues brindan múltiples recursos y bienes para el ser humano, asimismo proveen servicios ambientales y ecológicos (Barbier *et al.* 1997, Junk 2002, Barba *et al.* 2006). Actualmente, las actividades antropogénicas directa o indirectamente han modificado sustancialmente la dinámica de los humedales del ciclo de inundación (Souza-Filho 2009, Montoya *et al.* 2011, Wen *et al.* 2011, Ajibola *et al.* 2012). Entre estas modificaciones destaca la alteración o modificación en la dinámica del ciclo de inundación (Hamilton 2010, Ajibola *et al.* 2012), ya que éstos regulan el funcionamiento de los humedales fluviales (Brinson 1993, Poff *et al.* 2010, Arias *et al.* 2014). En este contexto, la variación del flujo influye en la dinámica geomorfológica, composición física y química del agua, además condiciona los ciclos de vida de la flora y de la fauna, así como su distribución y abundancia como ejemplos (Arrington y Winemiller 2006, Thomaz *et al.* 2007, Wantzen *et al.* 2008, Montoya *et al.* 2011, Ghumman 2011, Salcedo *et al.* 2012 y Bice *et al.* 2014).

Los humedales fluviales en planicies de inundación incrementan la similitud entre ambientes acuáticos, que contrasta con el descenso del flujo y el incremento de la heterogeneidad que domina en estos ecosistemas (Agostinho *et al.* 2000).

También, los humedales fluviales en planicies de inundación incrementan la similitud entre ambientes acuáticos, que contrasta con el descenso del flujo y el incremento de la heterogeneidad que domina en estos ecosistemas (Agostinho *et al.* 2000). Asimismo han propuesto indicadores ecológicos en función de la clorofila *a* y el fósforo total, los cuales permiten demostrar la reducción en la variabilidad espacial debido a las inundaciones (Thomaz *et al.* 2007). Por otro lado a nivel global la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) emplea indicadores ambientales para la evaluación de la calidad del agua mediante la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el fósforo y el nitrógeno (OECD 2008); además las Naciones Unidas (UN, por sus siglas en inglés) maneja dentro de sus indicadores de sustentabilidad a la DBO₅ y coliformes fecales (UN 2007); mientras que a nivel nacional la CONAGUA (2012) utiliza la DBO₅, demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST), al considerarlos más susceptibles de demostrar la influencia antropogénica por la presencia de centros urbanos e industriales.

Sin embargo, para la selección e integración de indicadores de la calidad ambiental del agua en estos humedales fluviales tropicales es necesaria la comparación individual de las variables con los valores respectivos de las condiciones “óptimas” o “permisibles” de dichos métricos en estos ecosistemas (CCME 2001, Dale y Beyeler 2001). Aunado a lo anterior, en la legislación ambiental de la República Mexicana sobre los lineamientos o criterios de calidad del agua es incompleta en la inclusión de variables tróficas y de nutrientes, como ejemplo la clorofila *a* y los nitritos (LFDMA 2014). Además, para esto es requerida una base de datos físicos, químicos y biológicos a un intermedio o de largo plazo en el área de estudio (CCME 2001, McLusky 1993, Aubert *et al.* 2013).

No obstante, se han seleccionado indicadores ambientales resultantes de un monitoreo a corto plazo en un humedal fluvial tropical, en donde fue incluida una base de datos de variables biológicas y ambientales del agua en dos ciclos de inundación en los que se incluyó dos períodos extremos de inundación. Esto fue aplicado con el propósito de superar la carencia de bases de datos a un intermedio o largo plazo y de valores estándar de referencia de la zona de estudio, lo que es requerido para apoyar la valoración de la condición ecológica (Salcedo *et al.* 2012). En este sentido, los indicadores ambientales son útiles para interpretar la dinámica intrínseca del ecosistema y las amenazas en este, lo cual apoya el manejo adecuado de los ecosistemas, entre los que se incluyen a los humedales (Dale y Beyeler 2001). Además los indicadores ambientales son útiles en el manejo de los ecosistemas, pues permiten que se asegure la cantidad y calidad de los servicios ecológicos

que ofrecen, ya que éstos ayudan en la detección temprana de las perturbaciones en los humedales (Abarca 2007). También los indicadores se emplean para valorar el proceso y el éxito en la restauración de humedales fluviales en planicies de inundación (Rice *et al.* 2014).

En este escenario, se presentó en este estudio una propuesta de indicadores para valorar la calidad ambiental del agua en lagunas limnéticas en el humedal tropical Pantanos de Centla, mediante el uso de variables físicas, químicas y biológicas. Los valores de estas resultaron de un monitoreo de plazo intermedio desarrollado para valorar su variación intra-anual (períodos contrastantes de flujo bajo y alto) en ocho años. Además se propone que estos indicadores de la calidad ambiental del agua sean capaces de predecir sus valores de referencia en la escala espacial e intra-anual.

Esta propuesta de indicadores es con el propósito de advertir sobre los efectos del cambio global, mismas que responden a las continuas presiones humanas y de los efectos del cambio climático, los cuales influyen sobre las alteraciones en la composición del agua. En este contexto, la propuesta de indicadores de la calidad ambiental del agua apoyará en la explicación de su relación con los flujos contrastantes en este humedal fluvial tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) es reconocida como un área de relevancia internacional por la convención RAMSAR y se localiza en el delta de los ríos Usumacinta y Grijalva, al noreste del estado de Tabasco ($17^{\circ} 57' 53''$ y $18^{\circ} 39' 03''$ N y $92^{\circ} 06' 39''$ y $92^{\circ} 47' 58''$ O). La RBPC es considerada como el principal reservorio de agua del país (Sánchez *et al.* 2007) ya que en esta escurre el 30 % del volumen total del agua superficial en México. En este humedal tropical se han registrado aproximadamente 110 ecosistemas lénticos y ocho ríos (Romero-Gil *et al.* 2000) y 293 418.3 ha de zonas de inundación temporal relacionadas a los ciclos de inundación (Sánchez *et*

al. 2007), en donde el volumen de agua en temporadas de inundación aumenta un 50 % con respecto a la mínima (Sánchez *et al.* 2007). La RBPC circunscribe un área de 302 706 ha aproximadamente lo que representan el 12.3 % del área del estado de Tabasco (Romero–Gil *et al.* 2000).

El flujo de los ríos Grijalva y Usumacinta presentan una distribución temporal heterogénea y un régimen natural de flujo predecible de acuerdo con Poff (1997), ya que presenta periodos de flujo contrastante, el bajo, el de transición (baja y alta) y alto, principalmente (Figura 1). En relación al volumen en porcentaje existe un descenso de 2.4 veces en el período de transición baja con respecto al bajo. Seguido de un ascenso de 0.5 veces en los periodos de bajo a transición alto y de transición alta a alto. Por último, registró un descenso de 1.8 veces en el periodo alto a transición baja. Esta variación intra-anual en el escurrimiento influye en la variación de los parámetros físicos y químicos en los ecosistemas acuáticos de Pantanos de Centla, asimismo esta se ha vinculado con el efecto de las actividades humanas, el efecto eólico y el fluvial (Salcedo *et al.* 2012).

Muestreo

El muestreo de 19 parámetros físicos, químicos y biológicos del agua fue realizado en 16 lagunas limnéticas, éstas fueron ubicadas de forma equitativa en dos áreas de drenaje (Grijalva y Usumacinta) en la RBPC (Tabla 1). El muestreo de estos parámetros en el agua se realizó en dos periodos de flujo contrastante 1) flujo bajo (abril-mayo) y 2) flujo alto (septiembre y octubre) en ocho años (de 2004 al 2011). Los parámetros medidos *in situ* fueron la temperatura del agua, el potencial de hidrógeno (pH) (potenciómetro YSY modelo pH10), transparencia (VDS) y profundidad (disco de Secchi). Para las variables restantes se tomaron muestras de agua para análisis en laboratorio: conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), amonio (NH₄), nitritos (NO₂), fósforo total (PT), alcalinidad, dureza, sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅),

demanda química de oxígeno (DQO), clorofila *a*, grasas y aceites (G y A) se recolectaron muestras de agua a una profundidad media, empleando una botella van Dorn. Mientras que coliformes fecales (CF), coliformes totales (CT) y estreptococos fecales (EF) fueron recolectadas muestras de agua en frascos estériles en la superficie del agua. Las muestras anteriores se conservaron a menos de 4°C y analizadas de acuerdo a los procedimientos indicados por Wedepohl *et al.* (1990), SCOR-UNESCO (1966) y APHA (1998). Por lo anterior la medición de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua, en este estudio se reflejó en el diseño de muestreo expresado de la siguiente forma:

19 parámetros X 8 lagunas X 2 zonas de drenaje X 2 periodos X 8 años = 4,864 muestras y mediciones.

Análisis de Datos

Selección de indicadores de la calidad ambiental del agua. Para la primera selección de los indicadores ambientales del agua fueron empleados los resultados de los 19 variables físicas, químicas y biológicas. Debido a que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk; $p < 0.05$) y homocedasticidad (Bartlett; $p < 0.05$) de acuerdo con Zar (1996) y Legendre & Legendre (2000) y fue utilizado para determinar su variación intra-anual (flujo bajo y alto) y espacial (área de drenaje) un análisis de varianza no paramétrico propuesto por Wilcoxon (Legendre & Legendre 2000). Esta primera selección de variables se basó en su variación estadística significativa ($p < 0.05$). También en este procedimiento de selección fue considerada la relevancia y la relación entre los parámetros físicos, químicos y biológicos en el agua de los humedales. Así fue realizada la selección en el contexto estadístico y ambiental para los sitios de muestreo en la RBPC (Salcedo *et al.* 2012).

En la segunda selección se integraron aquellas variables que resultaron con variación significativa entre áreas de drenaje y periodos de flujo contrastante, en esta fue usado un análisis de regresión múltiple con un nivel de significancia $p < 0.05$ (Zar 1996.). Lo anterior fue realizado con el propósito de eliminar variables correlacionadas.

Para la tercera selección se emplearon las variables que resultaron sin correlación, esta se llevó a cabo mediante un análisis de componentes principales (ACP) previa transformación de los valores a logaritmos naturales (Legendre y Legendre 2000). En este análisis, las variables seleccionadas fueron aquellas con valores mayores a $|40|$ en los pesos de importancia en los tres primeros componentes principales (Weilhoefer *et al.* 2008, Liou *et al.* 2004). En la cuarta selección se emplearon los valores de las variables seleccionadas por el análisis anterior, en el cual se consideraron los factores intra-anual y espacial. Para esto fue requerido un análisis de regresión logística ($p < 0.05$) con el que se tamizaron las variables candidatas a indicadores. En la selección de indicadores se empleó un análisis de predicción inversa, en este se utilizó un nivel de probabilidad $p = 0.95$, con un intervalo de confianza del 95 %. Lo anterior permitió la estimación del umbral para los indicadores ambientales tanto para el factor espacial e intra-anual (Roberts *et al.* 2012, Zipper *et al.* 2012), los anteriores análisis se realizaron con el programa JMP vs 9.0 (SAS Institute 2010).

RESULTADOS

Primera selección. Entre los periodos de flujo bajo y alto se presentaron variaciones estadísticas significativas en los contenidos de 13 de las 19 variables (Tabla 2). Las concentraciones de OD, CE, SST, alcalinidad, dureza, NO_2 y Clorofila *a* fueron significativamente mayores en el periodo de flujo bajo. En contraste, los registros de la VDS, profundidad, PT, CT, CF y EF fueron significativamente mayores en el periodo de flujo alto.

Asimismo, los registros de cuatro de las 19 variables resultaron con variación espacial significativa ($p < 0.05$), estos fueron profundidad, OD, DBO_5 y EF (Tabla 2). Las concentraciones de OD fueron mayores de forma significativa entre los sitios de muestreo drenados por el flujo del río Usumacinta. Mientras que, los valores de profundidad, DBO_5 y EF fueron significativamente mayores en los sitios en el área de influencia del flujo del río Grijalva. La variación estadística de la profundidad determinó los sucesivos análisis numéricos, pues esto es el reflejo de la oscilación del flujo entre periodos contrastante. Los valores de la DBO_5 fueron diferentes de forma significativa entre ambas áreas de drenaje, pero estos no representaron un cambio en la condición ambiental, pues reflejaron para ambas áreas una calidad buena (CONAGUA 2013). Por lo anterior solo fueron consideradas 12 variables en el análisis siguiente.

Segunda selección. De las 12 variables que resultaron con diferencias significativas en sus valores en las escalas intra-anual y espacial fueron eliminadas por su correlación significativa ($p < 0.05$), SST, alcalinidad, dureza, VDS, CT y EF, pues se obtuvieron correlaciones positivas entre SST y PT ($r = 0.1405$), alcalinidad y CE ($r = 0.334$), dureza y CE ($r = 0.7305$), CT y CF ($r = 0.7992$), EF y CF ($r = 0.1871$), VDS y Clorofila *a* (0.1357) y CF y NO_2 ($r = 0.0425$), para esta última correlación, también se mantuvo este último debido a su importancia química como nutriente nitrogenado. Asimismo resultó con una correlación negativa entre VDS y OD ($r = -0.5582$). Por lo anterior fueron elegidas para ingresar al ACP seis variables, PT, CE, CF, clorofila *a*, NO_2 y OD.

Tercera selección. Sobresalieron por su peso de importancia en los tres primeros componentes principales seis variables (Tabla 3). En el primer componente (CP1) destacaron tres variables, OD, CE y NO_2 , además este componente explicó el 30 % de la varianza total. En el segundo componente (CP2) las variables que sobresalieron fueron PT, CF y clorofila *a*, el CP2 resultó con el 22 % de la varianza total. También resaltaron en el tercer componente (CP3) las variables CF y clorofila *a* y este

componente resultó con un 15 % de la variabilidad total (Tabla 3). Lo anterior resultó en una varianza acumulada del 67 % del total de la varianza.

Cuarta selección. Resultado del análisis de regresión logística destacó que los valores de cinco variables (OD, CE, NO₂, CF y clorofila *a*) se asociaron de forma significativa ($p < 0.05$) con la escala intra-anual y solo fueron vinculados significativamente los valores del OD con el factor espacial (áreas de drenaje). Esto determinó el ingreso de las variables al análisis de predicción inversa para la selección de indicadores.

Selección de indicadores de la calidad ambiental del agua. Para el humedal fluvial Pantanos de Centla fueron propuestos cinco indicadores para evaluar la calidad ambiental del agua (Tabla 4). En este sentido, la predicción del umbral ($p = 0.95$) de OD y la CE se obtuvo para ambos periodos de flujo contrastante, mientras que el de los NO₂ y la Clorofila *a* solo resultaron para el flujo bajo y el de los CF en el flujo alto. La predicción del valor del OD fue de 2.8 mgL⁻¹ para el periodo de flujo alto, valor dos veces menor (7.1 mgL⁻¹) aproximadamente con respecto al umbral del periodo de flujo bajo (Figura 2a, b). Asimismo, la CE presentó un umbral de 236 μScm^{-1} para el periodo de flujo alto y para el bajo correspondió con 544 μScm^{-1} , valor casi dos veces mayor que el primero. Lo anterior definió para ambos periodos condiciones limnéticas, pero la diferencia en contenidos, se puede vincular con la variación del flujo (Figura 2c, d). Asimismo, la predicción del umbral de los CF resultó solo para el periodo de flujo alto y este coincidió con el valor de 39,999 NMP100ml⁻¹, (Figura 2f). En el periodo de flujo bajo, el umbral para los NO₂ correspondió con 0.063 mgL⁻¹, (Fig. 2e) y para el contenido de la clorofila *a* fue de 148 μgL^{-1} (Figura 2g).

DISCUSIÓN

Las diferencias intra-anales significativas destacaron en este monitoreo debido a que más del 50 % de las variables físicas, químicas y biológicas del agua medidas en las lagunas limnéticas del

humedal de Pantanos de Centla presentaron una marcada diferencia en sus valores entre los periodos del flujo bajo y alto del ciclo de inundación natural, el cual es considerado una de las principales fuerzas que regula los procesos hidrodinámicos, físicos, químicos y biológicos en los humedales fluviales (Johnson *et al.* 2007, Rebelo *et al.* 2012) y entre los que se incluye el humedal fluvial de La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Salcedo *et al.* 2012, Sánchez *et al.* 2012a). Asociado a esta amplia y marcada variación intra-anual en las lagunas limnéticas valoradas en este estudio es requerida una propuesta de indicadores ambientales del agua para la evaluación de la condición ambiental y con capacidad de respuesta rápida a los cambios o alteraciones en el ecosistema. Lo anterior permite obtener una señal de alerta preventiva de los cambios naturales e inducidos asociados a las actividades humanas, así como para la detección de las perturbaciones antes de que sean evidentes las modificaciones en las funciones de los ecosistemas (Hunsaker y Carpenter 1990, Suter 1993, Lemke *et al.* 1997, Dale y Beyeler 2001, Kurtz, *et al.* 2001, Ellis y Adriaenssens 2006).

Sin embargo, un modelo único para definir indicadores ambientales es inexistente (Polanco 2006, Perevochtchikova 2013), aunque se han propuesto algunas aproximaciones que permiten la evaluación de la calidad ambiental de los ecosistemas, mismos que se han sustentado en criterios de selección que varían de acuerdo a la institución, país y propósito. Como ejemplo, la OECD ha sido pionera en el desarrollo de indicadores ambientales a nivel internacional, la cual ha adoptado el modelo de *Presión-Estado-Respuesta* (PER) (OECD 1991, 1993) fundamentado en el modelo “*stress-response*” propuesto por Friend y Rapport, (1979). La OECD (1982) utilizó indicadores determinados para la evaluación del estado trófico de ambientes acuáticos basado en el gradiente de concentración de fósforo total, clorofila *a*, transparencia con el disco de Secchi, y su determinación está basado en la curva de distribución de probabilidad de los diversos estados tróficos (ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico). Sin embargo, la OECD

en el 2001 identificó una lista de indicadores ambientales claves relacionados con los impactos de contaminación del agua diluidas en sales (eutrofización, acidificación y contaminación tóxica) en la salud humana, tratamiento de agua potable y en los ecosistemas acuáticos, los cuales fueron derivados del Core Set de indicadores ambientales (OECD 1991, 1994, 1998, 2001a), como ejemplos DBO, OD, fosfato, nitrato y pH, los cuales fueron seleccionados por su relevancia política, utilidad para los usuarios, solidez analítica y la capacidad de medición (OECD 2001b, 2008). Este modelo ha sido aplicado para evaluar la calidad del agua en ecosistemas acuáticos limnéticos por diversas instituciones como ejemplos la European Environment Agency (EEA 2014) y Ministry for the Environmental New Zealand's (MENZ 2014). También la Comisión sobre Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas ha elaborado un conjunto básico de indicadores de desarrollo sostenible que son determinados para la protección de la salud humana en el consumo de agua potable, como ejemplos DBO₅ y CF (UN 2007). Además se han propuesto y aplicado indicadores de calidad de ecosistemas acuáticos como la riqueza, equitatividad de las especies de organismos y el número de niveles tróficos mediante el contraste de sus registros con valores "óptimos" o "permisibles" (CCME, 2001, Dale y Beyeler 2001, Barba-Álvarez *et al.* 2013). No obstante, estas condiciones óptimas o de referencia son difíciles de elegir, pues son raros los ambientes acuáticos continentales sin presión y alteración antropogénica (Nichols *et al.* 1986, Niemi *et al.* 2004).

En la República Mexicana también se usan indicadores determinados de la calidad el agua y entre estos destacan los SST, DQO y DBO₅, para las cuales presentan calificaciones y categorías en función de un gradiente de concentración para cada uno de estos indicadores, mismo que frecuentemente son medidos en zonas con una alta influencia antropogénica (CONAGUA 2012).

Sin embargo, en esta valoración de la calidad del agua, no se integraron los nutrientes que ayudan a explicar el grado de eutrofización de los ecosistemas acuáticos, como ejemplo el nitrógeno y fósforo.

En contraste, Thomaz *et al.* (2007) han propuesto indicadores de función para humedales fluviales con base en la variación extrema del ciclo de inundación (flujo bajo y alto) y estos se eligieron mediante el uso del coeficiente de variación, con los cuales proponen los autores que la inundación homogeniza los valores de clorofila *a* y fósforo total, mientras que en flujo bajo predomina la heterogeneidad de los registros de temperatura del agua, turbidez y contenido de nutrientes por el efecto de la desconexión hidráulica. Asimismo Salcedo *et al.* (2013) analizó y planteó indicadores físicos y químicos en un humedal fluvial tropical en el Sureste de México, los datos empleados resultaron de un monitoreo de corto plazo y fueron seleccionados los indicadores de calidad ambiental mediante un análisis de variación intra-anual y espacial. Como ejemplos de estos, PO₄ y CE resultaron en patrones de distribución en estas escalas, en función de la amplia variación el flujo hídrico en el ciclo de inundación, la frecuencia y magnitud de las actividades humanas, la corriente de marea, los vientos dominantes y el efecto adicional y espacial desigual de las descarga de los ríos. También Jacobs *et al.* (2010) desarrollaron el Índice de Condición de Humedales para lo cual utilizaron indicadores hidrogeomórficos que representan tres atributos principales para determinar la salud de un humedal (vegetación, hidrología, y amortiguamiento), estos fueron empleados debido a que generan información específica sobre las funciones de los humedales, la selección de estos se basó en una prueba de alcance, capacidad de respuesta y redundancia métrica de estos indicadores, mismos que han sido utilizados por diversos autores (Brinson 1993, Whigham *et al.* 2007, Wardrop *et al.* 2007).

Este estudio desarrollado en lagunas limnéticas en el humedal fluvial Pantanos de Centla se fundamentó en la amplia variación intra-anual impulsada por la dinámica del flujo en el ciclo anual de inundación, con base en un monitoreo de plazo intermedio para la propuesta de selección y estimación de umbrales de los indicadores de la calidad ambiental del agua. Esta dinámica es el reflejo del funcionamiento hidrodinámico de los grandes ríos en las planicies de inundación, que

heterogénea y homogeniza los valores de los indicadores ambientales y bióticos intra-anual y espacialmente e influyen positivamente en la condición ecológica (Junk 1999, Tockner *et al.* 2002, Thomaz *et al.* 2007, Poff *et al.* 2010, Salcedo *et al.* 2012).

En función de las consideraciones anteriores, esta propuesta seleccionó a las variables, OD, CE, NO₂, CF y clorofila *a* como indicadores de la calidad ambiental del agua debido a que fue posible la estimación de sus umbrales sólo en la escala intra-anual. Lo anterior se interpretó en la robustez de estos indicadores para ecosistemas con alta variación intra-anual, mismos que han sido empleados en otros ecosistemas acuáticos para apoyar en la prevención de la degradación ambiental (Smol y Douglas 2007, McEgan *et al.* 2013). Sin embargo, en la escala espacial no fue posible la selección de indicadores debido a que la planicie de inundación en Pantanos de Centla presenta alta conexión hidráulica y las áreas de drenaje evaluadas se integran en una sola cuenca hidrológica, la Grijalva-Usumacinta (Salce *et al.* 20012a).

Los indicadores propuestos OD y CE destacaron, por su capacidad para predecir umbrales en ambos períodos de flujo. La diferencia de las concentraciones de los umbrales propuestos para el OD en cada una de las fase de flujo se atribuyó a que en el flujo bajo, los altos valores del OD (7.1 mgL⁻¹) se han relacionado con el incremento en la productividad primaria algal debido a la mayor incidencia de la radiación solar que favorece la fotosíntesis en otros ecosistemas lénticos (Sánchez *et al.* 2007, Agostinho *et al.* 2009, da Silva *et al.* 2010 Salcedo *et al.* 2012). En esta fase de flujo, las concentraciones registrada son óptimas para la protección de la vida acuática en humedales (>5 mgL⁻¹) de acuerdo con la Ley Federal de Derecho en Materia de Agua (LFDMA 2014). En contraste, la disminución del umbral del indicador OD para la fase del flujo alto (2.8 mgL⁻¹) se puede relacionar con la degradación de la materia orgánica acumulada durante el período de flujo bajo en las zonas de anegación temporal (Lewis *et al.* 2000, Álvarez-Mieles *et al.* 2013, Mora y García 2013, Costa *et al.* 2015). No obstante, el umbral correspondiente de la LFDMA (2014) no considera la alta variación

del flujo intra-anual en los humedales fluviales. Sin embargo, se han registrado valores que van 1.03 y 4.22 mgL⁻¹ durante el flujo bajo en humedales limnéticos de Brasil que aun son considerados normales para la protección de las comunidades acuáticas para las aguas del Amazonas (Costa *et al.* 2015). Además en humedales costeros oligohalinos en México se ha detectado que los contenidos de OD disuelto pueden variar desde 1.7 a 3.8 mgL⁻¹, de igual manera, en ecosistemas estuarinos de Estados Unidos se consideran concentraciones de OD de 2 mgL⁻¹ como umbral mínimo para el mantenimiento de la condición ambiental de estos ecosistemas (Kurtz *et al.* 2001, Contreras y Warner 2004). Además, el indicador OD propuesto en este estudio, ha sido ampliamente usado en la valoración de los ecosistemas acuáticos debido a que está vinculado con el enriquecimiento nutrimental, la sobrevivencia, crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos, hipoxia y por lo anterior es un indicador trascendental para el funcionamiento saludable de los ecosistemas acuáticos e impulsa el desarrollo sustentable (OECD 1993, Kurtz *et al.* 2001, EEA 2005, UNEP 2012, Gandhia *et al.* 2012, Iancu, *et al.* 2013, Sousa *et al.* 2014, UN 2014).

Asimismo, en función de la amplia variación intra-anual del flujo en el ciclo de inundación en este humedal, los umbrales sugeridos para los contenidos de CE son disímiles entre los periodos contrastante de flujo, pues en la fase de flujo bajo, el umbral (544 μScm^{-1}) fue relacionado con el incremento en temperatura, evaporación, bioturbación del sedimento y disminución del caudal, lo que incide en una mayor concentración de los iones disueltos (Pinilla 2010, EPA 2011, Rivera-Usme *et al.* 2013; Sousa *et al.* 2014; Bhat *et al.* 2015, Ramírez-Herrejón *et al.* 2015). En oposición, en el periodo de flujo alto, la disminución en el umbral de CE (236 μScm^{-1}) se puede relacionar con que la descarga fluvial de los ríos principales en este humedal se incrementó en ocho veces con respecto al de flujo bajo, este incremento se ha registrado como un factor de dilución de la sales disueltas, además de que homogeniza los valores de CE entre los ríos y lagos durante la fase de conectividad hidrológica (Thomaz *et al.* 2007; Furian *et al.* 2013, Costa *et al.* 2015). Lo anterior reflejó en este

estudio una diferencia del 43 % del valor del umbral entre estas dos fases de flujo, no obstante ambos umbrales son característicos de agua limnéticas (Cowardin *et al.* 1979, Gandaseca *et al.* 2011). Mientras que Harun *et al.* (2010) señalan que valores de CE mayores a $1000 \mu\text{Scm}^{-1}$ se interpretan en una contaminación de las aguas limnéticas, lo que difirió de este estudio, por lo que se interpreta que los ciclos de inundación influyen en el mantenimiento de una condición ambiental saludable. Este indicador ha sido empleado para la valoración de los ecosistemas acuáticos debido al vertido de las descargas de aguas residuales y agrícolas, lo que se debe a la estrecha relación entre los valores de la CE y el contenido de las sales disueltas (McEgan *et al.* 2013, Sousa *et al.* 2014). Además, ante el escenario del cambio climático y global, el incremento en los valores de la CE se ha usado como un indicador directo de sus efectos en otros ecosistemas acuáticos (Smol y Douglas 2007).

También en este estudio se proponen como indicadores a los NO_2 , CF y clorofila *a*, sin embargo solo fue posible la predicción del umbral solo en un periodo de flujo, no obstante de que se emplearon todos los datos de ambas fases de flujo del monitoreo a mediano plazo. Por lo anterior estas propuestas fueron menos robustas. No obstante, la propuesta de indicador del NO_2 con umbral de 0.063 mgL^{-1} para la fase de flujo bajo en los ambientes limnéticos de Pantanos de Centla, correspondió con un contenido normal para las aguas superficiales, pues la EPA (1980), Metcalf y Eddy (1991) señalan un umbral de 0.1 mgL^{-1} para estos ambientes libres de perturbación. Asimismo el umbral del NO_2 en esta propuesta fue similar al sugerido por Effendi *et al.* (2015) para las aguas limnéticas, y propone que este debe ser menor que 0.06 mg/L . Mientras que en los ecosistemas acuáticos bajo alta presión por los escurrimientos de aguas residuales urbanas y agrícolas se han registrado contenidos mayores a 0.2 mgL^{-1} de esta sal nitrogenada (Azizul y Harun 2013, Ambrosio *et al.* 2014). Por lo anterior se puede interpretar que el umbral generado para el contenido de NO_2 en Pantanos de Centla es adecuado para el desarrollo de la vida acuática y el mantenimiento de la

condición ecológica. No obstante el bajo umbral de este indicador se puede atribuir a que puede ser asimilado por los productores primarios y usado para el crecimiento de las plantas vasculares y algas (Gupta 2014).

En este sentido, el pigmento clorofílico que es empleado frecuentemente como indicador para la valoración de la eutrofización (Andersen 2006, Obeten *et al.*, 2011), se propone en este estudio como indicador del estado trófico solo para el periodo de flujo bajo, puesto que su umbral predecido es característico de la hipereutrofización (OECD, 1982), pues este valor correspondió con un valor de $148 \mu\text{gL}^{-1}$. Lo anterior lo que se vincula con la asimilación de nutrientes debido al incremento de la temperatura y a la escasa dinámica del agua y esto resulta en una mayor producción primaria (Shuhaimi *et al.* 2007, Kasprzak *et al.* 2008, Yu *et al.* 2011), lo cual se reflejó en el umbral del oxígeno disuelto en esta fase de flujo anteriormente descrito en este estudio. Esto puede relacionarse con que en la fase previa de inundación ha sido asociada en otros humedales con el cambio en la dinámica biogeoquímica de los materiales no conservativos, lo cual resulta en el incremento de la remineralización de la materia orgánica y la liberación de nutrientes (Carvalho *et al.* 2003, Shuhaimi-Othman *et al.* 2007). Además la hipereutrofización ha sido registrada en otros humedales fluviales afectados principalmente por las actividades antropogénicas, mismas que aportan aguas residuales domésticas, industriales y por el efecto de la contaminación no puntual (Yu *et al.* 2011, Li *et al.* 2012, Balali *et al.* 2013). Lo anterior en su conjunto ha sido interpretado en el deterioro de la calidad ambiental del agua en otros humedales (Malek *et al.* 2011).

En este sentido el umbral generado para el contenido de coliformes fecales en la fase de flujo alto resaltó por su alto valor predecido, mismo que fue superior 40 veces al del lineamiento establecido para los servicios al público con contacto directo u ocasional y para la protección de la vida acuática en humedales de México (DOF 1998, CONAGUA 2013, LFDMA 2014). El elevado umbral de este indicador se puede atribuir al incremento del flujo de agua y su efecto en el transporte de la materia

contaminada originada en los núcleos urbanos y en las actividades productivas humanas, pues generalmente son vertidas directamente en los ecosistemas acuáticos y por las heces del ganado y aves, como se ha demostrado en otros estudios (Crim *et al.* 2012, Sanderts *et al.* 2013, Iancu *et al.*, 2013, Rochelle-Newall *et al.* 2015). Por lo anterior, el alto umbral de los CF afectan la biodiversidad, pues se han asociado con la mortandad de peces y gasterópodos (Rocke, 2002). Además, representan un riesgo para la salud del ecosistema y la salud humana en Pantanos de Centla de acuerdo con Mallin *et al.* (2000) e Iancu *et al.*, (2013). En este sentido, la condición ambiental de los ecosistemas limnéticos en Pantanos de Centla es desfavorable para la fauna acuática. Asimismo, los CF han sido considerados por la ONU entre los indicadores para el desarrollo sustentable y la OECD como un indicador ambiental dentro de su Coret Set (ONU 2007, OECD 1993). En este contexto, las lagunas limnéticas de este estudio no favorecen este tipo de desarrollo y representan una condición ambiental degradada.

CONCLUSIÓN

En conclusión, en Pantanos de Centla la variación intra-anual del flujo resultó un factor determinante para la selección de los indicadores ambientales del agua. En este sentido, los indicadores ambientales del agua OD, CE y NO₂ en este humedal fluvial favorecen la calidad ambiental del agua, sin embargo, la hipereutrofización y el incremento de la contaminación fecal evidenciaron el detrimento de la calidad ambiental del agua en las lagunas limnéticas de Pantanos de Centla.

También, la propuesta de los indicadores ambientales del agua debe basarse en función de la dinámica de los ecosistemas, lo que puede permitir la generación de umbrales de la forma más robusta posible para la detección de señales de alerta temprana y de factores de degradación de la calidad ambiental. Esto apoya la necesidad del mantenimiento de los programas de monitoreo en estos humedales fluviales tropicales.

LITERATURA CITADA

- Abarca FJ (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Sánchez O, Herzing E, Peters M, Márquez R, Zambrano L (eds) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología. Arizona Game and Fish Department. México. pp: 113-144.
- Agostinho AA, Thomaz SM, Minte-Vera CV, Winemiller KO (2000) Biodiversity in the high Parana River floodplain. En: Gopal B, Junk WJ y Davis JA, (eds) Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 89–118.
- Agostinho AA, Bonecker CC, Gomes LC (2009) Effects of water on connectivity: the case of the upper Paraná River floodplain. *Ecohydrology & Hydrobiology* 9: 99-113.
- Ajibola MO, Adewale BA, Ijasan KC (2012) Effects of Urbanisation on Lagos Wetlands. *International Journal of Business and Social Science* 3: 310-318.
- Alvarez-Mieles G, Irvine K, Griensven AV, Arias-Hidalgo M, Torres A, Mynett AE (2013) Relationships between aquatic biotic communities and water quality in a tropical river-wetland system (Ecuador). *Environmental Science & Policy* 34: 115-127.
- Ambrosio ES, Ferreira AC, Rodrigues CA (2014) The potential use of *SINELOBUS STANFORDI* (Richardson, 1901) (Crustacea, Tanaidacea) as a biological indicator of water quality in a temperate estuary of South America. *Limnetica* 33: 139-152.
- Andersen JH, Schlüter L, Aerebjerg G (2006) Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies. *Journal of plankton research* 28: 621-628.
- APHA (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Washington, USA.
- Arias ME, Cochrane TM, Kumm M, Lauri H, Holtgrieve GW, Koponen J, *et al.* (2014) Impacts of hydropower and climate change on drivers of ecological productivity of Southeast Asia's most important wetland. *Ecological Modelling* 272: 252-263.
- Arrington DA, Winemiller KO (2006) Habitat affinity, the seasonal flood pulse, and community assembly in the littoral zone of a neotropical floodplain river. *Journal of the North American Benthological Society* 25: 126-141.
- Aubert AH, Gascuel-Oudoux C, Gruau G, Akkal N, Faucheux M, Fauvel Y, *et al.* (2013). Solute transport dynamics in small, shallow groundwater-dominated agricultural catchments: insights from a high-frequency, multisolute 10 yr-long monitoring study. *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 1379-1391.
- Azizul IM, Harun CA (2013) Limnological status of trimohini beel of Rajshahi, Bangladesh. *Journal Asiatic Society of Bangladesh, Science* 39: 173-182.
- Barba-Álvarez R, De la Lanza EG, Contreras RA, González MI (2013) Insectos acuáticos indicadores de la calidad del agua en México: casos de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. *Biodiversidad* 84: 381-383.
- Barba ME, Rangel MJ, Ramos RR (2006) Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia* 22: 101-110.
- Barbier EB, Acreman MC, Knowler D (1997) Valoración económica de los humedales: Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.

- Balali S, Hoseini A, Ghorbani R, Kordi H, Khozani EA (2013) Relationships between Nutrients and Chlorophyll a concentration in the International Alma Gol Wetland, Iran. *International Journal of Aquatic Biology* 1: 68-75.
- Bhat NA, Wanganeo A, Raina R (2015) Seasonal dynamics of phytoplankton community in a tropical wetland. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 4136.
- Bice CM, Gehrig SL, Zampatti BP, Nicol JM, Wilson P, Leigh SL, *et al.* (2014). Flow-induced alterations to fish assemblages, hábitat and fish-hábitat associations in a regulated lowland river. *Hydrobiologia* 722: 205-222.
- Brinson MM (1993) A hydrogeomorphic classification for wetland. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS. 101 pp.
- Carvalho P, Thomaz SM, Bini LM (2003) Effects of water level, abiotic and biotic factors on bacterioplankton abundance in lagoons of a tropical floodplain (Paraná River, Brazil). *Hydrobiologia* 510: 67-74.
- CCME (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Canadian Council of Ministers of the Environment. Manual. Winnipeg. 5 pp.
- CONAGUA-SEMARNAT (2012). Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 141 pp.
- CONAGUA (2013). Indicadores de calidad del agua. Comisión Nacional del Agua.
- Contreras-Espinosa F, Warner BG (2004) Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia* 511: 233-245.
- Costa JS, Cunha A, Breni SC (2015) Physicochemical characterization of water quality – Lagoa dos Índios in Macapá, Brazil. *American Chemical Science Journal* 5: 122-134.
- Cowardin LM, Carter V, Golet FC, LaRoe ET (1979) Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C. 131 pp.
- Crim JF, Schoonover JE, Lockaby BG (2012) Assessment of fecal coliform and *Escherichia coli* across a land cover gradient in west Georgia streams. *Water Quality Exposure and Health* 4: 143-158.
- Dale VH, Beyeler SC (2001) Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators* 1: 3-10.
- Da Silva HP, Petry AC, da Silva CJ (2010) Fish communities of the Pantanal wetland in Brazil: evaluating the effects of the upper Paraguay river flood pulse on baía Caiçara fish fauna. *Aquatic Ecology* 44: 275-288.
- DOF (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003- ECOL-1997. Límites Máximos Permisibles de Contaminantes para las Aguas Residuales Tratadas que se Reusen en Servicios al Público. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 21 de septiembre de 1998.
- EEA (2014) Digest of EEA indicators. European Environment Agency. Technical report. Luxembourg. 48 pp.
- EEA (2005) Indicators. http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1 .Fecha de consulta 30 de octubre de 2012.
- Effendi H, Romant, Wardiatno Y (2015) Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences* 24: 228-237.
- Ellis J, Adriaenssens V (2006) Uncertainty Estimation for Monitoring Results by the WFD Biological Classification Tools. WFD Report. Environment Agency, Bristol.

- Furian S, Curti MER, Mascari PT, Rezende-Filho AT, Luiz VR, Barbiero L (2013) Chemical diversity and spatial variability in myriad lakes in Nhecolandia in the Pantanal wetlands of Brazil. *Limnol. Oceanogr.* 58, 2249–2261.
- Gadhia M., Surana R. y Ansari E. (2012). Seasonal Variations in Physico-Chemical Characteristics of Tapi Estuary in Hazira Industrial Area. *Our Nature* 10: 249-257.
- Gandaseca S, Rosli N, Ngayop J, Iman AC (2011) Status of Water Quality Based on the Physico-Chemical assessment on River Water at Wildlife Sanctuary Sibuti Mangrove Forest, Miri Sarawak. *American Journal of Environmental Sciences* 7: 269-275.
- Ghumman AR (2011) Assessment of water quality of Rawal Lake by long-time monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment* 180: 115-126.
- Hamilton SK (2010) Biogeochemical implications of climate change for tropical rivers and floodplains. *Hydrobiologia* 657: 19–35.
- Harun S, Harun AM, Mohamed M, Hadi FA, Jimmy EO (2010) Water quality study of four streams within Maliau Basin Conservation Area, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Biology and Conservation* 6: 109–113.
- Hunsaker CT, Carpenter DE (1990) Ecological indicators Environmental monitoring and assessment program. Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. 429 pp.
- Iancu R, Oprean L, Stegarus D, Tita O, Boicean A, Lengyel E (2013) Environmental indicators of water quality in the Cibin River (Transylvania, Romania). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research* 15: 91-116.
- Jacobs AD, Kentula ME, Herlihy AT (2010) Developing an index of wetland condition from ecological data: An example using HGM functional variables from the Nanticoke watershed, USA. *Ecological Indicators* 10: 703-712.
- Johnson KG, Allen MS, Havens KE (2007) A review of littoral vegetation, fisheries, and wildlife responses to hydrologic variation at Lake Okeechobee. *Wetlands* 27: 110-126.
- Junk WJ (1999) The flood pulse concept of large rivers: Learning from the tropics. *Archiv. Für. Hydrobiologie Supplementband* 11: 261-280.
- Junk WJ (2002) Long term environmental trends and the future of tropical wetlands. *Environmental Conservation* 29: 414-435.
- Kasprzak P, Padisak J, Koschel R, Krienitz L, Gervais F (2008) Chlorophyll a concentration across a trophic gradient of lakes: an estimator of phytoplankton biomass?. *Limnologica* 38: 327–338.
- Kurtz JC, Jackson LE, Fisher WS (2001) Strategies for evaluating indicators based on environmental Protection Agency's office of research and development's guidelines. *Ecological Indicators* 1: 49-60.
- Legendre P, Legendre L (2000) *Numerical Ecology*. 2nd Edition. Elsevier Science. Amsterdam. 853 p.
- Lemke MJ, Brown BJ, Leff LG (1997) The response of three bacterial populations to pollution in a stream. *Microbial Ecology* 34: 224-231.
- Lewis WMJr, Hamilton SK, Lasi MA, Rodríguez M, Saunders JFIII (2000) Ecological determinism on the Orinoco floodplain. *Bioscience* 50: 681-692.
- LFDMA (2014) Ley Federal de Derecho en Materia de Agua: Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales. Diario oficial de la federación. México, DF. 95 pp.
- Liou SM, Lo SL, Wang SH (2004) A generalized water quality index for Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment* 96: 35-52.

- Malek S, Ahmad SMSA, Singh SKK, Milow P, Salleh A (2011) Assessment of predictive models for chlorophyll-a concentration of tropical lake. *BMC Bioinformatics* 12: S12.
- Mallin MA, Williams KE, Esham EC y Lower PR (2000) Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications* 10: 1047-1056.
- McEgan R, Mootian G, Goodridge LD, Schaffner DW, Danyluk MD (2013) Predicting Salmonella populations from biological, chemical, and physical indicators in Florida surface waters. *Applied and Environmental Microbiology* 79: 4094–4105.
- McLusky DS (1993) Marine and estuarine gradients – an overview. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 27: 489-493.
- MENZ (2014) Criteria for selecting our environmental indicators. <http://www.mfe.govt.nz/more/environmental-reporting/about-environmental-reporting-nz/our-national-environmental-domains-0> . Consultado 14 de febrero de 2015.
- Metcalf and Eddy Inc. (1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. Irwin McGraw-Hill, New York.
- Montoya JV, Castillo MM, Sánchez L (2011) La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos tropicales: estudios en la cuenca del Orinoco. *Interciencia* 36: 900-907.
- Mora AV, García A (2013) Evaluación de la calidad del agua y su tendencia corrosiva en los morichales “Guaricongo”, municipio Heres, Ciudad Bolívar, estado Bolívar, Venezuela.
- Nichols FH, Cloern JE, Luoma SN, Peterson DH (1986) The modification of an estuary. *Science* 231: 567-573.
- Niemi GJ, McDonald ME (2004) Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology Evolution Systematics* 35: 89–111.
- Obeten-Offem B, Olatunji-Ayotunde E, Ujong-Ikpi G, Ada FB, Ncha-Ochang S (2011) Plankton-Based Assessment of the Trophic State of Three Tropical Lakes. *Journal of Environmental Protection* 2: 304-315.
- OECD (1982) *The Eutrophication of waters: Monitoring, assessment and control*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Environmental Directorate. Paris, France. 154 pp.
- OECD (1991) *Environmental indicators: A preliminary set*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France.
- OECD (1993.) *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Environment Monographs. Paris, France. 39 pp.
- OECD (1994). *Environmental Indicators: OECD Core Set*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France.
- OECD (1998) *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France.
- OECD, (2001a) *OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France. 155 pp.
- OECD (2001b). *OECD Environmental Outlook*. Organisation for Economic Cooperation and Development. Paris, France.
- OECD (2008), *Key environmental indicators 2008*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, France. 36 pp.
- Perevochtchikova M (2013) La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y Política Pública* 22: 283-312.
- Pinilla G (2010) An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological indicators* 10: 848-856.

- Poff NL, Allan JD, Bain MB, Karr JR, Prestegard KL, Richter BD, Sparks RE, Stromberg JC (1997) The natural flow regime. *BioScience* 47: 769-784.
- Poff NL, Richter BD, Arthington AH, Bunn SE, Naiman RJ, Kendy E, *et al.* (2010) The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new frame work for developing regional environmental flow standards. *Freshwater Biology* 55: 147–170.
- Polanco C (2006) Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente* 2: 27-41.
- Ramírez-Herrejón JP, Mercado-Silva N, Balart EF, Moncayo-Estrada R, Mar-Silva V, Caraveo-Patino J (2015) Environmental degradation in a eutrophic Shallow Lake is not simply due to abundance of non-native *Cyprinus carpio*. *Environmental Management* 1-15.
- Rebelo LM, Senay GB, McCartney MP (2012) Flood pulsing in the Sudd Wetland: Analysis of seasonal variations in inundation and evaporation in South Sudan. *Earth Interactions* 16: 1-19.
- Rice CL, Weber DS, Haase CS, Piazza BP (2014) Water quality monitoring station design for remote sites experiencing extreme water level fluctuation. *River Research and Applications* 31: 173-180
- Rivera-Usme JJ, Pinilla-Agudelo GA, Rangel-Ch JO (2013) Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia* 35: 389-408.
- Roberts B, Stickley A, Gasparishvili A, Haerpfner C, McKee M (2012) Changes in household access to water in countries of the former Soviet Union. *Journal of Public Health* 34: 352-359.
- Rochelle-Newall E, Huong NTM, Quynh LTP, Sengtaheuanghoung O, Ribolzi O (2015) A short review of fecal indicator bacteria in tropical aquatic ecosystems: knowledge gaps and future directions. *Frontiers in Microbiology* 6: 1-15.
- Romero-Gil J, García A, Bautista C, Pérez P (2000) Caracterización de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. *Universidad y Ciencia* 15: 15-28.
- Salcedo MA, Sánchez AJ, de la Lanza G, Kamplicher C, Florido R (2012a) Condición ecológica del humedal tropical Pantanos de Centla. En: Sánchez AJ, Chiappa X, Pérez B, (Eds) *Recursos Acuáticos Costeros del Sureste*. CONCYTEY, Mérida, México. pp: 1096.
- Salcedo MA, Sánchez AJ, Florido R, Ruiz-Carrera V (2012b) Ciclos de inundación en la cuenca baja de los ríos Grijalva Usumacinta. En: *Universidades Mexicanas (CUMex) y la Universidad de Guadalajara (U de G) (sometido) Las cuencas hidrográficas en México: una perspectiva integrada*.
- Sánchez E, Colmenarejo MF, Vicente J, Rubio A, García MG, Travieso L, Borja R (2007a) Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators* 7: 315-328.
- Sánchez AJ, Salcedo MA, Florido R, Armenta A, Rodríguez-Leal C, Galindo A, Moguel E (2007) Pantanos de Centla, un humedal costero tropical. En: De la Lanza G, Hernández-Pulido S (eds.) *Las aguas interiores de México, conceptos y casos*. AGT .DF, México. pp: 399-422.
- Sánchez AJ, Florido R, Salcedo MA, Ruiz-Carrera V, Montalvo-Urgel H, Raz-Guzman A (2012a). Macrofaunistic diversity in *Vallisneria americana* Michx. in a tropical wetland, southern Gulf of Mexico. En: Mahamane A (ed) *Ecosystems I*. InTech. Rijeka, Croatia. pp: 1-26.
- SAS (2010). JMP Version 9.0.2, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- SCOR-UNESCO (1966) Determination of photosynthetic pigments in seawater. *Monographs on Oceanographic Methodology*. SCOR-UNESCO. Paris, Francia. 35 pp.
- Shuhaimi-Othman M, Lim EC, Mushrifah I (2007) Water quality in Chini Lake, Pahang, west Malasia. *Environmental Monitoring and Assessment* 131: 279-292.

- Smol JP, Douglas MSV (2007) Crossing the final ecological threshold in high Arctic ponds. *Proceedings of National Academy of Sciences of the USA* 104: 12395-12397.
- Sousa DNR, Mozeto AA, Carneiro RL, Fadini PS (2014) Electrical conductivity and emerging contaminant as markers of surface freshwater contamination by wastewater. *Science of the Total Environment* 484: 19-26.
- Souza MFL (2009) Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. *Brazilian Journal Biology* 69: 707-716.
- Suter G, (1993). *Ecological Risk Assessment*. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI.
- Thomaz SM, Bini LM, Bozelli RL (2007) Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiologia* 579: 1-13.
- Tockner K, Malard F, Uehlinger U, Ward JV (2002) Nutrients and organic matter in a glacial river-floodplain system (Val Roseg, Switzerland). *Limnology and Oceanography* 47: 266-277.
- UN (2007). *Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies*. United Nations. New York. 99 pp.
- UNEP (2012). *UNEP year book 2012: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. 68 p.
- Wardrop DH, Kentula ME, Jensen SF, Stevens DL, Brooks RP (2007) Assessment of wetlands in the Upper Juniata watershed in Pennsylvania, USA, using the hydrogeomorphic approach. *Wetlands* 27: 432-445.
- Wantzen KM, Junk WJ, Rothlaupt KO (2008) An extension of the floodpulse concept (FPC) for lakes. *Hydrobiologia* 613: 151-170.
- Wedepohl RE, Knauer DR, Wolbert GB, Olem H, Garrison PJ, Kepford K (1990) *Monitoring lake and reservoir restoration*. North American Lake Management Society for US, Environmental Protection Agency. Washington, DC. 103 pp.
- Weilhoefer CL, Yangdong PS, Eppard (2008) The effects of river floodwaters on floodplain wetland water quality and diatom assemblages. *Wetlands* 28: 473-486.
- Wen L, Rogers K, Saintilan N, Ling J (2011) The influences of climate and hydrology on population dynamics of waterbirds in the lower Murrumbidgee River floodplains in Southeast Australia: Implications for environmental water management. *Ecological Modelling* 222: 154-163.
- Whigham DF, Deller Jacobs A, Weller DE, Jordan TE, Kentula ME, Jensen SF, Stevens DL (2007) Combining HGM and EMAP procedures to assess wetlands at the watershed scale—status of flats and non-tidal riverine wetlands in the Nanticoke River watershed, Delaware and Maryland (USA). *Wetlands* 27: 462-478.
- Yu H, Xi Beidou, Jiang J, Heaphy J, Wang H, Li D (2011) Environmental heterogeneity analysis, assessment of trophic state and source identification in Chaohu Lake, China. *Environ. Environmental Science Pollution Research* 18: 1333-1342.
- Zar JH (1996) *Biostatistical Analysis*. 3a edition. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs. 718 p.
- Zipper CE, Holtzman G, Shabman LA, Stephenson K, Walker JL, Yagow G (2012) "A Screening Approach" for nutrient criteria in Virginia: Report of the Academic Advisory Committee for Virginia Department of Environmental Quality. Virginia. Special Report Water Resources Research Center. Virginia. 74 pp.

Índice de Tablas y Figuras

Tabla 1. Ubicación de sitios de muestreo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla en las áreas de drenaje de los ríos Grijalva y Usumacinta. Sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

Tabla 2. Variación intra-anual (flujo bajo y alto) y espacial (Grijalva y Usumacinta) de las variables físicas, químicas y biológicas en el humedal Pantanos de Centla. * = diferencia significativa ($p < 0.005$). ** = diferencia altamente significativa ($p < 0.001$). SST = sólidos suspendidos totales, DBO_5 = demanda bioquímica de oxígeno, DQO = demanda química de oxígeno.

Tabla 3. Pesos y varianza explicada de las variables en los primeros tres componentes principales (CP1, CP2, CP3). En negritas pesos de métricos seleccionados. CP = Componente principal.

Tabla 4. Predicción de umbrales ($p = 0.95$) de los Indicadores de la calidad ambiental del agua en la escala intra-anual. Límite de confianza: 95 %.

Figura. 1. Duración y volumen del caudal promedio de 8 años de los ríos de la cuenca Grijalva-Usumacinta. Línea roja divide el período bajo e intermedio. Línea morada divide el período intermedio y alto. Datos proporcionados por Subgerencia Técnica de la Dirección Local Tabasco, CONAGUA.

Figura. 2. Predicción ($p = 0.95$) de los indicadores de la calidad ambiental del agua con un 95 % de límite de confianza durante la escala intra-anual. Flujo bajo: a (OD), c (CE), e (NO_2), d (Clorofila a); flujo alto: b (OD), d (CE), f (CF).

Tabla 1.

Sitios de muestreo	UTM X	UTM Y
Área drenada por el río Grijalva		
1) Laguna Larga	541271	2011653
2) Laguna El Viento	536096	2015690
3) Laguna Los Ídolos	538913	2020934
4) Laguna Concepción	548072	2004514
5) Laguna El Loncho	565173	2001047
6) Laguna El Sargazal	565590	2003620
7) Laguna El Tintal	541396	1999933
8) Laguna Landeros	559460	2002515
Área drenada por el río Usumacinta		
9) Laguna San Isidro	555376	2035150
10) Laguna Cantemoc	570110	2015468
11) Laguna Chichicastle	559375	2014741
12) Laguna San Isidro-El Jobo	576271	2008724
13) Laguna El Guanal	558469	2022549
14) Laguna El Sauzo	567364	2013952
15) Laguna Narvárez	581390	2036690
16) Laguna Punteada	561759	2030038

Tabla 2.

Variables	Intra-anual		Espacial		Humedal
	Bajo	Alto	G	U	
Temperatura del Agua (°C)	29 ± 0 (24 - 35)	28 ± 0 (25 - 34)	29 ± 0 (24 - 35)	29 ± 0 (25 - 34.7)	29 ± 0 (24 - 35)
Potencial de Hidrógeno	7.9 ± 0.0 (6.7 - 8.8)	7.3 ± 0.0 (6.2 - 8.4)	7.6 ± 0.0 (6.6 - 8.44)	7.6 ± 0.050 (6.2 - 8.8)	7.6 ± 0.0 (6.2 - 8.8)
Visibilidad (Secchi, m)	0 ± 0.2 (0.1 - 1.4)	1 ± 0.1** (0.2 - 3.5)	0.8 ± 0.1 (0.2 - 3.5)	0.9 ± 0.1 (0.1 - 3.5)	0.9 ± 0.1 (0.1 - 3.5)
Profundidad (m)	1.0 ± 0.1 (0.2 - 3)	2.5 ± 0.1** (0.6 - 6)	1.9 ± 0.1 (0.4 - 6)	1.6 ± 0.1 (0.2 - 5.8)	1.7 ± 0.1 (0.2 - 6)
Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)	6.5 ± 0.1** (2.7 - 12.1)	2.9 ± 0.2 (0.4 - 7.3)	4.3 ± 0.2 (0.4 - 8.2)	5.1 ± 0.2* (0.4 - 12.1)	4.7 ± 0.2 (0.4 - 12.1)
Conductividad eléctrica (µScm ⁻¹)	596 ± 26** (216 - 2040)	315 ± 5 (212 - 464)	458 ± 25 (212 - 2040)	451 ± 20 (216 - 1361)	455 ± 16 (212 - 2040)
SST (mgL ⁻¹)	29 ± 2** (1 - 153)	13 ± 1 (1 - 121)	19 ± 2 (1 - 121)	23 ± 2 (1 - 153)	21 ± 1 (1 - 153)
Alcalinidad (mgL ⁻¹)	160 ± 3** (44 - 264)	142 ± 1 (100 - 172)	151 ± 2 (44 - 236)	151 ± 3 (108 - 264)	151 ± 2 (44 - 264)
Dureza (mgL ⁻¹)	308 ± 8** (116 - 504)	177 ± 3 (34 - 288)	238 ± 8 (34 - 504)	247 ± 9 (110 - 448)	242 ± 6 (34 - 504)
DBO ₅ (mgL ⁻¹)	3 ± 0 (0 - 13)	6 ± 1 (1 - 58)	4 ± 1* (0 - 58)	4 ± 1 (0 - 58)	4 ± 1 (0 - 58)
DQO (mgL ⁻¹)	25 ± 2 (4 - 161)	26 ± 2 (3 - 257)	23 ± 1 (3 - 130)	28 ± 3 (4 - 257)	25 ± 2 (3 - 257)
Nitritos (mgL ⁻¹)	0.037 ± 0.002** (0.004 - 0.135)	0.014 ± 0.001 (0.001 - 0.062)	0.028 ± 0.002 (0.001 - 0.135)	0.023 ± 0.002 (0.001 - 0.114)	0.025 ± 0.001 (0.001 - 0.135)
Amonio (mgL ⁻¹)	0.177 ± 0.016 (0.003 - 1.036)	0.226 ± 0.028 (0.004 - 2.181)	0.182 ± 0.018 (0.003 - 0.831)	0.221 ± 0.027 (0.01 - 2.814)	0.202 ± 0.016 (0.003 - 2.814)
Fosforo total (mgL ⁻¹)	0.098 ± 0.010 (0.001 - 0.745)	0.127 ± 0.338** (0.002 - 3.462)	0.088 ± 0.010 (0.001 - 0.642)	0.137 ± 0.034 (0.002 - 3.462)	0.112 ± 0.018 (0.001 - 3.462)
Grasas y aceites (mgL ⁻¹)	5 ± 0 (0 - 13)	7 ± 0 (0 - 24)	6 ± 0 (1 - 19)	6 ± 0 (0 - 24)	6 ± 0 (0 - 24)
Coliformes totales (NMP100ml ⁻¹)	5472 ± 434 (80 - 16001)	7267 ± 444* (70 - 16001)	6598 ± 398 (80 - 16001)	6146 ± 489 (70 - 16001)	6373 ± 315 (70 - 16001)
Coliformes fecales (NMP100ml ⁻¹)	3441 ± 388 (19 - 16001)	5118 ± 420* (19 - 16001)	4349 ± 365 (19 - 16001)	4215 ± 454 (19 - 16001)	4283 ± 290 (19 - 16001)
Estreptococos fecales (NMP100ml ⁻¹)	296 ± 42 (6 - 2401)	606 ± 134* (14 - 11000)	591 ± 132* (8 - 11000)	312 ± 49 (6 - 3110)	452 ± 71 (6 - 11000)
Clorofila a (µgL ⁻¹)	23.12 ± 1.44* (5.3 - 85.4)	17.67 ± 1.35 (5.3 - 80.1)	19.84 ± 1.16 (5.3 - 58.74)	20.92 ± 1.63 (5.3 - 85.4)	20.38 ± 1.00 (5.3 - 85.4)

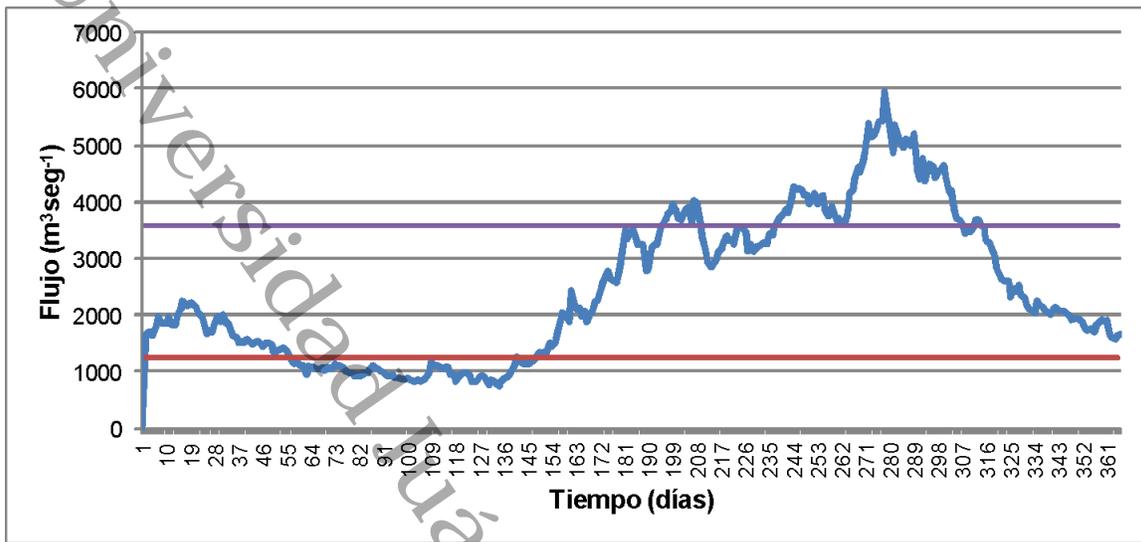
Tabla 3.

Variables	CP1	CP2	CP3
Oxígeno disuelto	0.64208	0.10329	-0.04604
Conductividad eléctrica	0.55954	-0.14588	0.02965
Nitritos	0.46234	0.28855	-0.14234
Fósforo total	0.09001	0.57935	0.35092
Coliformes fecales	-0.16731	0.53898	0.46769
Clorofila a	0.15744	-0.50858	0.79678
Porcentaje de varianza explicada	30	22	15
Varianza acumulada en los tres primeros componentes principales			67 %

Tabla 4.

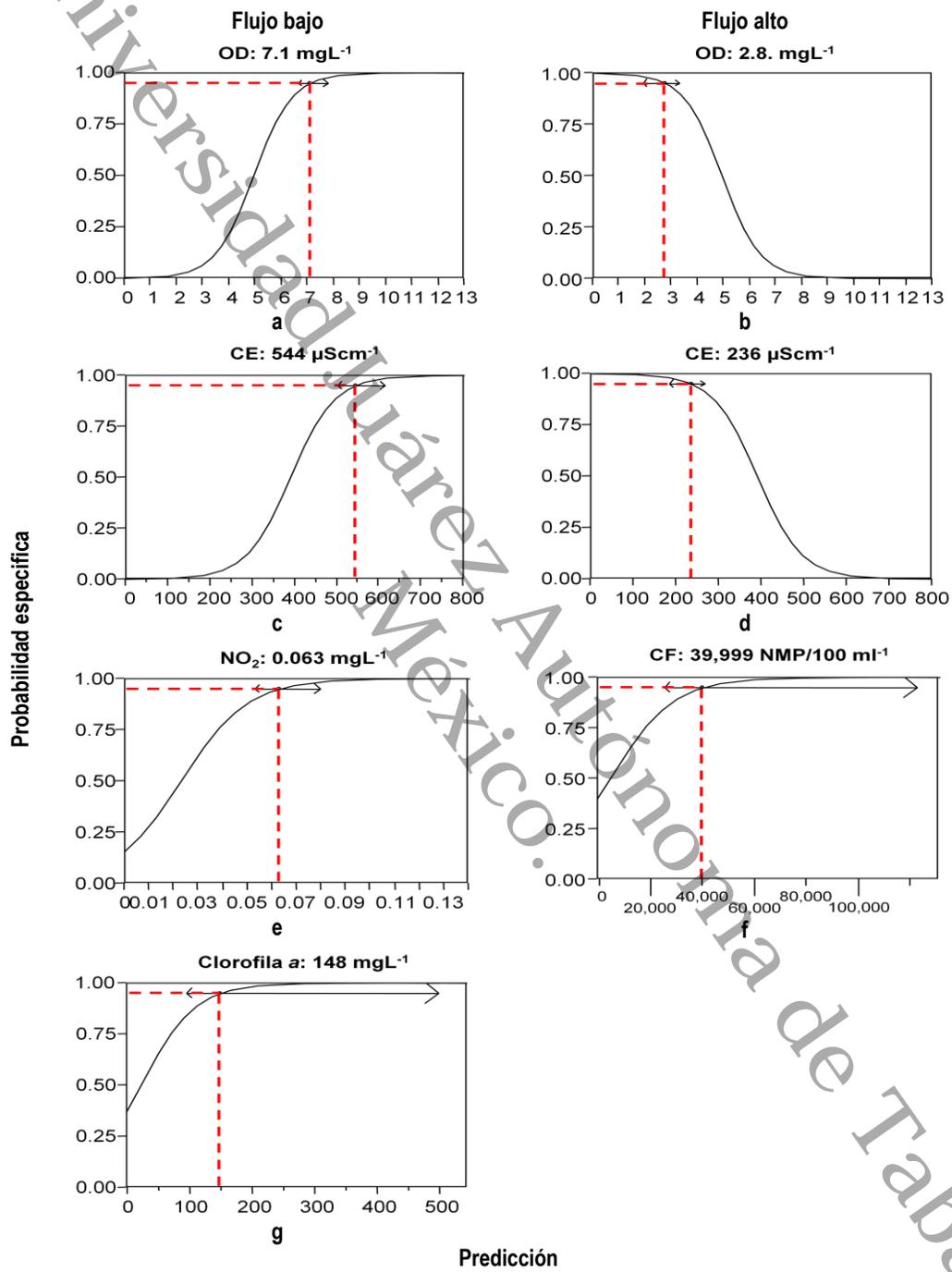
Métrico	Flujo	Predicción	Intervalo de confianza	
			Inferior	Superior
Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)	Bajo	7.1	6.6	7.8
	Alto	2.8	1.9	3.3
Conductividad eléctrica (µScm ⁻¹)	Bajo	544	502	614
	Alto	236	184	268
Nitritos (mgL ⁻¹)	Bajo	0.063	0.053	0.080
Coliformes fecales (NMP100ml ⁻¹)	Alto	39,999	25,063	122,574
Clorofila a (µgL ⁻¹)	Bajo	148	93	499

Figura 1.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Figura 2.



ECOSISTEMAS Y RECURSOS AGROPECUARIOS

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

GUÍA PARA LA PREPARACIÓN DE MANUSCRITOS

Indicaciones generales --- Escribir a doble espacio el manuscrito en procesador de Microsoft Word con letra Arial Narrow 12, con márgenes de 2.5 cm, páginas y líneas numeradas de forma continua. Las figuras y tablas deben ir al final del documento. El texto debe estar redactado en tercera persona y en voz pasiva; los números del cero al nueve deben estar escritos con letra, excepto cuando sean precedidos por alguna unidad, y del 10 en adelante con números. Usar las unidades y abreviaturas aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades (Consultar el apartado Unidades básicas).

Títulos del manuscrito --- Todos los manuscritos deben contar con dos títulos (uno corto y otro principal). El título corto debe estar escrito en el idioma del manuscrito con mayúsculas y minúsculas, alineado a la derecha con un máximo de seis palabras. El título principal debe estar en español e inglés, en mayúsculas, negritas y centrado, con un máximo de 15 palabras. En caso de ser necesario incluir el nivel taxonómico para facilitar la ubicación del o de los organismos estudiados; no usar nombres abreviados sean científicos o no, separar los nombres del phylum, clase, orden y familia.

Nombres de autores y direcciones --- Anotar los nombres completos de los autores, iniciar con el (los) nombre (s) y después los apellidos, separar los autores con coma. Para identificar los autores poner un superíndice numérico, el cual debe relacionarse con la dirección de adscripción. En caso de que todos los autores estén adscritos a la misma institución no es necesario utilizar el superíndice numérico. Escribir el nombre de la institución con la dirección postal y electrónica completa del autor responsable e identificarlo con un asterisco, para los demás autores solo se requerirá el nombre de la institución.

Resumen --- Escribir el resumen en cada idioma, con sus respectivas palabras clave. Palabras clave --- Colocar cinco palabras clave en ambos idiomas después del resumen.

Títulos de primer y segundo orden --- Los títulos de primer orden son utilizados para identificar las secciones, estos deben alinearse al margen izquierdo y escritos con mayúsculas, negritas y sin punto (ejemplo: MATERIALES Y MÉTODOS) y continuar con el texto en el siguiente renglón. Los títulos de segundo orden son utilizados para identificar los apartados en cada sección, deben ir alineados al margen izquierdo, en negritas, con mayúsculas y minúsculas, y colocar punto y seguido para continuar con el texto (ejemplo: Diseño experimental. Se utilizó ...).

Literatura citada --- La literatura debe reflejar el manejo especializado y actualizado de los temas relacionados al manuscrito. La información obtenida en las páginas electrónicas son aceptadas si proviene de instituciones cuya información esté certificada y actualizada (FAO, UNESCO, NOM, INEGI, Secretarías de Gobierno). La literatura de difícil acceso, como tesis de licenciatura y posgrado, publicaciones de memorias de congresos y literatura con distribución limitada no debe incluirse.

Citar en el texto (1) el apellido del autor seguido del año, Núñez-García y Fuentes-Carrasco (2012) afirman..., (2) el apellido entre paréntesis sin coma y seguido del año, si el (los) autor(es) no forma(n) parte del texto (Williams y de la Croix 2015); y (3) el apellido del autor sin coma seguido del año con una letra que permita distinguir más de una referencia publicada el mismo año por él o los mismos autores (Santillana et al. 2015a, 2015b). En el caso de la idea se apoyada por más de una cita, la literatura se cita en orden cronológico, y en el caso de existir dos o más autores del mismo año se ordenan de forma alfabética (Pérez 2015, Pereira y López 2015, Reséndez y Salvadores-Baledón 2015). Si se trata de más de dos autores, después del primer autor seguirá et al. en cursivas con punto, seguido del año: Guadarrama et al. (2015) o (Guadarrama et al. 2015) dependiendo de su posición en el texto. Cuando se mencione información coincidente del mismo autor de diferentes citas colocar solo la más reciente.

En la sección de literatura citada, escribir las referencias sin espacios utilizando sangría tipo francesa según los ejemplos para artículos publicados en revistas, libros, capítulos de libros, cartografía e internet. En caso de revistas anotar el nombre completo de la revista, volumen , enseguida dos puntos y la pagina inicial seguida de un guión y terminar con la página final. En caso de apellidos con preposiciones (de la, von, etc.), éstas se escribirán iniciando con mayúscula antes del apellido. Cuando se cite un documento con más de seis coautores, se anotarán los primeros seis y se añade et al. Cuando el artículo esté en prensa, añadir el DOI (Digital Object Identifier) al final de la cita.

Ejemplos

Capítulo de libro

Sánchez AJ, Florido R, Salcedo MA, Ruiz-Carrera V, Montalvo-Urgel H, Raz-Guzman A (2012) Macrofaunistic diversity in Vallisneria americana Michx. in a tropical wetland, southern Gulf of Mexico. In: Mahamane A (ed) Ecosystems I. InTech. Rijeka, Croatia. pp: 1-26.

Libros

Zar JH (2009) Biostatistical analysis. 5th Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 66P

Artículo

Kursat CH, .Lupeanu ME, Rennie AEW, Neagu C, Akinci I (2013) Product re-design using advanced engineering applications and function analysis: a case study for greenhouse clips. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 35: 305-318.

Alonso JM, Stepanova AN, Lisse TJ, Kim CJ, Chen H, Shinn P, et al. (2003) Genome-wide insertional mutagenesis of Arabidopsis thaliana. Science 301: 653-657.

Internet

Paliwal RL, Granados G, Lafitte HR, Violic AD, Marathée JP (2001) El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm> . Fecha de consulta 5 de agosto de 2015.

FAO (2012) Capacidades de pasta y papel. Estudio 2011-2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. 97 p. <http://www.fao.org/docrep/016/i3005t/i3005t.pdf>. Fecha de consulta 5 de agosto de 2013.

EDICIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas y figuras --- Al final del manuscrito en hojas separadas deben ir las tablas y figuras con títulos en el idioma en que se presenta el manuscrito.

Tablas --- Enumerarlas en arábigos. El título debe ser corto y explícito, de manera que se entienda por sí mismo sin necesidad de leer el texto. Incluir punto y seguido después del número de la tabla (ejemplo - Tabla 1. Provincia VI. Sierra de Chiapas y Guatemala. Inventario de clases, subclases y tipos de paisajes). Las Tablas se elaboran con el editor de tablas del procesador de texto, en blanco y negro con fondo blanco. Si las Tablas son cargadas de información se recomienda sopesar otra forma de reportarla o dividir la Tabla. Las columnas no son separadas por líneas. Las comparaciones de medias se identificarán con letras minúsculas en superíndice (a, b, etc.). Incluir la probabilidad del análisis. El tamaño de las Tablas será proporcional a la cantidad de información que se presente. Dentro del texto, citar preferentemente las Tablas entre paréntesis, ejemplo: (Tabla 1).

Figuras --- Las Figuras corresponden a los dibujos, gráficas, diagramas, mapas y fotografías. Se enumeran en arábigos. El título debe ser corto y explícito, de manera que se entienda por sí mismo sin necesidad de leer el texto. Incluir punto y seguido después del número de la Figura (ejemplo - Figura 2. Crecimiento de la Amphora sp a diferentes salinidades). Las fotografías deben tener un contraste adecuado para su impresión y enviarse en digital, estas imágenes deberán tener un mínimo de 300 dpi (puntos por pulgada). En el caso de fotografías macro y microscópicas, y de información cartográfica, se debe incorporar la escala de referencia. En una Figura lo que interesa destacar es el contenido y no los ejes. Consecuentemente, el grosor de estos últimos conviene que sea menor que el de las líneas interiores. Para indicar las dimensiones de los ejes se sugiere elegir escalas apropiadas, que destaquen lo que se desea mostrar. La simbología utilizada en la Figura debe describirse en el título de la misma. El formato para enviar las figuras es JPG o PNG. El tamaño máximo de la Figura es de media cuartilla, que permita su reducción hasta un cuarto del tamaño original, sin perder legibilidad y detalles. Evitar sobrecargar las Figuras. La información que se presenta en la Figura no se debe duplicar en el texto. Las Figuras se citan en el texto, ejemplo: Figura 1..., (Figura 2). Sólo se captaran las figuras que cumplan con los requisitos indicados.

Simbología y abreviaturas --- Para el uso de símbolos, utilizar las fuentes del procesador de Microsoft Word. La primera vez que sean utilizadas abreviaturas en el manuscrito, primero poner el nombre completo y encerrar entre paréntesis la abreviatura. Las oraciones no deben iniciar con símbolos, abreviatura o números.

FORMATOS ESPECÍFICOS

1. FORMATO PARA EL ARTÍCULO CIENTÍFICO

Orden --- Estructurar el artículo en el siguiente orden: título corto, título principal en español e inglés, autor(es), resumen, palabras clave, abstract, key words, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos (opcional) y literatura citada. La extensión máxima del manuscrito es de 25 cuartillas, incluyendo Tablas y Figuras,.

Resumen --- El resumen debe incluir el objetivo, procedimientos empleados, resultados sobresalientes y conclusión, todo en un solo párrafo, con máximo de 250 palabras. No incluir citas en éste apartado.

Palabras clave--- Colocar cinco palabras que no estén contenidas en el título, en orden alfabético y separadas por punto y coma. Abstract y Key Words: El contenido de estos apartados deben ser iguales al resumen y palabras clave en español. Los autores son responsables de la traducción al inglés.

Introducción --- Señalar de forma clara la importancia, justificación, antecedentes y finalizar con el objetivo del estudio. Incluir literatura relevante del estudio, preferentemente de los últimos cinco años, publicada en revistas científicas de reconocido prestigio.

Materiales y Métodos --- En este apartado se indica donde, cuando y como se realizó el estudio (incluir área de estudio, diseño experimental, variables evaluadas, análisis estadístico, etc.). La información de este apartado debe ser congruente con el objetivo del estudio. Por lo tanto, se describirán de forma concisa, clara y completa, los materiales y la metodología empleada, de tal forma que el estudio sea reproducible.

Resultados --- Se deben de organizar en forma concisa, con Tablas y/o Figuras. La descripción de éstos se debe enfocar en destacar los aspectos relevantes del estudio.

Discusión --- Se debe basar en la interpretación de los resultados y su comparación objetiva e imparcial con estudios similares, fundamentada con referencias pertinentes.

Conclusiones --- Anotar en forma breve y concisa las aportaciones al campo del conocimiento, avaladas por los resultados obtenidos. Agradecimientos --- Son opcionales, se empleará para dar crédito a personas, instituciones que financiaron, asesoraron o auxiliaron durante la realización del trabajo.

Literatura Citada --- Se integra en orden alfabético y cronológico con todas las referencias citadas en el texto.

2. NOTA CIENTÍFICA

Como Nota científica se considerarán:

- a).- Resultados que a juicio de los árbitros o editores ameriten ser publicados bajo esta modalidad.
- b).- Resultados preliminares, modificaciones de algún método o técnica experimental, metodologías estadísticas, ampliaciones de ámbito geográfico de especies, descripción de nuevas variedades, aparato o instrumento de campo o laboratorio.

La Nota Científica contendrá los siguientes apartados: título corto, título principal en español e inglés, autor(es), resumen (máximo 150 palabras), palabras clave, abstract, key words, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, agradecimientos (opcional) y literatura citada. Las conclusiones se incluirán en un párrafo al final del apartado de resultados y discusión. La extensión máxima es de 15 cuartillas incluyendo Tablas y Figuras.

3. ARTÍCULOS DE REVISIÓN

La publicación de este tipo de manuscrito está sujeto a consideración del comité editorial. Los tópicos que se discutirán serán los que se encuentran dentro del alcance de la revista, su redacción preferentemente será en idioma inglés, y su extensión máxima es de 35 cuartillas.

Los apartados que integran estas contribuciones son: título principal, título corto, resumen, palabras clave, abstract, key words, introducción, desarrollo del tema (con los apartados que sean necesarios en el trabajo a criterio del autor o autores), conclusiones y literatura citada. Las reglas para la redacción de estos apartados serán las que se especifican en las normas editoriales.

4. CARTAS AL EDITOR

En esta sección se aceptaran escritos relacionados con análisis críticos de libros publicados en los últimos cinco años, remembranzas del quehacer científico de investigadores de renombre, comentarios de temas de interés y de artículos publicados en la revista. La extensión máxima de estas contribuciones será de cuatro cuartillas, en formato libre. Si en el texto se incluyen citas bibliográficas, estas deberán citarse al final del manuscrito de acuerdo con las normas editoriales de la revista.

Unidades Básicas ---

ampere -A
candela -cd
Caloría- cal
Centímetro- cm
Centímetro cúbico- cm³
Día- d
Grado Celsius- °C
Gramo- g
Hectárea- ha
Hectómetro- hm
Hora- h
Kilogramo- kg
Kilómetro- km
Litro- L
Metro- m
Miligramo- mg
Minuto- min
Mililitro- mL
Milisegundo- ms
Milivoltio- mv
Mol- mol
Nanómetro- nm
Miligramos por litro- mg L⁻¹
Segundo- s

Tonelada - t

Voltio- v

CONSIDERACIONES

Las abreviaturas son iguales en singular y plural (1 cm, 15 cm), no colocar punto después de la abreviatura, excepto al final de la oración.

Particularidades del Sistema Internacional ---

Dejar un espacio entre el número y la unidad de medida.

Correcto: 15 m, 30 %, 37 °C.

Incorrecto: 15m, 30%, 37°C.

No dejar espacio entre el número y la unidad cuando se trate de ángulos y medidas de longitud o latitud

Correcto: 30° 15' 5" Norte

Incorrecto: 30 ° 15 ' 5 ''

Usar espacios para dividir los números de más de tres dígitos, tanto a la izquierda como a la derecha del punto decimal.

Correcto: 21 345 678.00

Incorrecto: 21345678.00

No mezclar sustantivos con unidades de medida.

Correcto: El contenido de agua es 30 ml kg⁻¹

Incorrecto: El contenido es 30 ml H₂O/kg; el contenido es 30 ml agua/kg.

No comenzar las oraciones con números.

Correcto: En el bosque se colectaron 30 especímenes

Incorrecto: 30 especímenes se colectaron en el bosque, Treinta especímenes se colectaron en el bosque.

Abreviar las unidades de medida cuando están precedidas de dígitos, pero no cuando son sustantivos.

Correcto: La tortuga pesó 15 kg; El peso se expresó en kilogramos; Sucedió en 15 % de los casos.

Incorrecto: La tortuga pesó 15 kilogramos; El peso se expresó en kg; Sucedió en el 15 por ciento de los casos.

No usar símbolos como sustantivos en frases.

Correcto: esta es mayor que la otra.

Incorrecto: esta es > que la otra.

Representar los números con palabras cuando se componen de un sólo dígito (cero a nueve), y con dos dígitos representarlos con número.

Correcto: se tomaron tres muestras, ...de las 10 localidades ...

Incorrecto: se tomaron 3 muestras, ...de las diez localidades ...

Abreviar las fechas consistentemente. En la redacción formal no usar rayas oblicuas en las fechas.

Correcto: 10 de diciembre de 2002

Incorrecto: 10/12/02

Expresar la hora mediante el sistema de 24 horas:

Correcto: 08:00, 21:30.

Incorrecto: 8:00 a.m., 9:30 p.m.

Insertar fórmulas con el editor de ecuaciones de Word:

Correcto: $X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

Incorrecto: $X = \frac{-b2 \pm (b2 - 4ac)0.5}{(2a)}$

En el título solo debe de ir el nombre científico de la especie:

Correcto: Fenología de la floración y ciclos reproductivos del nanche (*byrsonima crassifolia*) en Nayarit.

Incorrecto: Fenología de la floración y ciclos reproductivos del nanche [*byrsonima crassifolia* (L.) hbk] en Nayarit,nanche (*byrsonima crassifolia* (L.) kunth, (malpighiales: malpigiaceae).....nanche (*byrsonima crassifolia* (L.) kunth, malpigiaceae)

Abreviar los nombres de los géneros después de usarlos por primera vez. Si dos o más géneros comienzan con la misma letra.