



Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México)

M. A. Ferat^{1,*}, I. Galaviz-Villa¹, S. Partida-Sedas²

(1) Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA), Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Kilómetro 12, Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río. C.P. 94290, Veracruz, México.

(2) Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Huatusco, Av. 25 Poniente No. 100, Col. Reserva Territorial. Huatusco, Veracruz, C.P. 94100, México.

* Autor de correspondencia: M. A. Ferat [anahiferat@gmail.com]

> Recibido el 25 de junio de 2019 - Aceptado el 03 de julio de 2019

Ferat, M.A., Galaviz-Villa, I., Partida-Sedas, S. 2020. Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México). *Ecosistemas* 29(1):1879. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>

La cuenca del río Usumacinta es la de mayor extensión y desarrollo hidrológico en Mesoamérica. Esta cuenca abarca una superficie total de más de siete millones de hectáreas, siendo la cuenca baja exclusiva de México. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la presencia de fósforo total, nitrógeno total y nitrógeno amoniacal en las escorrentías de origen agropecuario, y su efecto en la calidad del agua superficial del río Usumacinta, Tabasco. Se tomaron 17 muestras de agua de escorrentía en los municipios de Tenosique y Balancán, Tabasco y se determinó la concentración de fósforo total (365.1-1993), nitrógeno total (351.2-1993) y nitrógeno amoniacal (EPA 350.1-1993). Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de nitrógeno amoniacal y fósforo total exceden los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 para la protección de la vida acuática (N-NH_3 0.06 mg L⁻¹, Pt 0.1 mg L⁻¹) y las concentraciones de nitrógeno total exceden los límites máximos permisibles establecidos por la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos 2002, 2006.

Palabras clave: actividades antropogénicas; aguas superficiales; cuencas hidrológicas; fuentes difusas de contaminación

Ferat, M.A., Galaviz-Villa, I., Partida-Sedas, S. 2020. Evaluation of nitrogen and total phosphorus in agricultural runoff in the lower basin of the Usumacinta River (Tabasco, México). *Ecosistemas* 29(1):1879. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>

The Usumacinta river basin has the greatest extension and hydrological development in Mesoamerica. This basin covers a total area of more than seven million hectares, being the lower basin exclusively within Mexico territory. The objective of the present work was to evaluate the presence of total phosphorus, total nitrogen and ammoniacal nitrogen in agricultural runoffs, and its effect on the surface water quality of the Usumacinta River, Tabasco. Seventeen runoff water samples were taken in the municipalities of Tenosique and Balancán, Tabasco and the concentration of total phosphorus (365.1-1993), total nitrogen (351.2-1993) and ammoniacal nitrogen (EPA 350.1-1993) was determined. The results obtained indicate that the concentrations of ammoniacal nitrogen and total phosphorus exceed the ecological criteria of water quality CE-CCA-001/89 for the protection of aquatic life (N-NH_3 0.06 mg L⁻¹, Pt 0.1 mg L⁻¹) and total nitrogen concentrations exceed the maximum permissible limits set by the United States Environmental Protection Agency 2002, 2006.

Key words: anthropogenic activities; diffuse sources of pollution; hydrological basins; surface waters

Introducción

La contaminación del agua por el sector agropecuario está asociada a la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, y producción de estiércol en la ganadería intensiva. Estas importantes fuentes de contaminación difusa, incrementan los niveles de contaminación de aguas lólicas y lénticas del agroecosistema (Carpenter et al. 1998; Verhulst et al. 2015). De acuerdo con Cabrera y Cuc (2002), la población que habita dentro de la cuenca del Usumacinta se encuentra dentro de los niveles de marginación más elevados de México (Cabrera 2006). Esto ha sido atribuido a que los rendimientos de los sistemas pecuarios y agrícolas (maíz y caña de azúcar, principalmente), siguen siendo de bajo rendimiento y alto impacto al ambiente (INIFAP 2017). En la agricultura, el fósforo es fijado fuertemente al suelo por reacciones químicas; y los compues-

tos nitrogenados, relativamente solubles, son fácilmente arrastrados por las escorrentías (Zavrotsky 1989). Por tanto, el nitrógeno se presenta en mayor cantidad que el fósforo en aguas de la parte baja de los ríos; debido a la perturbación del suelo y vegetación generada por las actividades agrícolas en la cuenca (Ávila et al. 2007). La expansión de las fronteras agrícolas ha provocado deforestación, erosión y contaminación; afectando el paisaje y la disponibilidad de agua en la cuenca. Las escorrentías agropecuarias al desplazarse por el suelo, recogen y transportan contaminantes como el fósforo (P) y nitrógeno (N) (Bravo et al. 2009), que se depositan en el agua superficial produciendo eutrofización y contaminación de la cuenca baja del río Usumacinta. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la presencia de nitrógeno amoniacal, fósforo y nitrógeno total en las escorrentías de origen agropecuario, y su efecto en la calidad del agua superficial del río Usumacinta, Tabasco

Area de estudio

La cuenca baja del río Usumacinta se encuentra en la Región Hidrológica RH30 ubicada en las coordenadas latitud (N) 17°34'59.12" y longitud (W) 91°34'37.84". En esta cuenca la actividad predominante es la ganadería extensiva (Fig. 1). El área de estudio se localiza en los municipios de Tenosique y Balancán en el estado de Tabasco (Fig. 1), los cuales se destacan por su actividad agrícola y ganadera. La presencia de Nitrógeno y Fósforo en las escorrentías agropecuarias permitirá determinar si estos compuestos se dispersan mayormente por uso de suelo y si existe relación con la actividad que se realiza en el agroecosistema.

Metodología

Se establecieron diecisiete puntos de muestreo en temporada de lluvias durante el periodo de julio a diciembre del 2017; con la finalidad de caracterizar los escurrimientos superficiales antes de su incorporación al cuerpo de agua. Se emplearon sistemas de información geográfica (SIG) para establecer los criterios de selección de los puntos de muestreo en la zona de estudio (Krauskopf y Bunde 1972); los cuales fueron: 1) Tipo de uso de suelo y proporción de los mismos en el área de estudio. 2) Zonas bajas y brechas de fácil acceso. 3) Puntos cercanos a corrientes de agua superficial (ríos y arroyos). 4) En patrón del flujo de la corriente. 5) Zonas agropecuarias (ganadería, cultivos agrícolas). Para esto se emplearon mapas de unidades de hidrografía del INEGI (2010), edafología (INEGI 2007) y uso del suelo del INEGI (2017) (Fig. 2).

Previo al inicio de la temporada de lluvias y en cada sitio de muestreo, se colocó un dispositivo marca Nalgene para la colecta de las escorrentías superficiales. Este, se instala a nivel del suelo de forma que la pendiente dirija el flujo de agua hacia el embudo de la botella colectora. Posterior a cualquier evento de lluvia se recupera la botella colectora, siempre que tuviera la capacidad máxima de la botella que es de 1L, y el embudo se sustituye por una tapa de cierre estándar a prueba de fugas, para su transporte al laboratorio a una temperatura de 4°C. Se emplearon los métodos analíticos de la EPA 350.1-1993 (US EPA 1993a), 351.2 – 1993 (US EPA 1993b) y 365.1 – 1993 (US EPA 1993c) para la determinación

del Nitrógeno amoniacal (N-NH_3), Nitrógeno Total Kjeldahl (NT) y Fósforo total, respectivamente.

Se empleó el programa Minitab versión 2017 para realizar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk y determinar diferencias significativas en la concentración de N-NH_3 , NT y Fósforo total según los usos del suelo. Para evaluar la calidad del agua del río Usumacinta se emplearon los criterios ecológicos de la calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEGOB 1989) en el rubro de protección de la vida acuática y los límites máximos permisibles de la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA 2002, 2006).

Resultados y discusión

En la cuenca baja del río Usumacinta se identificaron cinco tipos de suelo; de los cuales el gleysol y vertisol representan el 29% de la superficie, el resto es fluvisol (21%), luvisol (14%) y regosol (7%). El uso de suelo predominante en la cuenca y área de estudio es ganadero (64%) y agrícola (36%).

La escorrentía ocurre cuando el suelo recibe más lluvia o riego del que puede retener (Rivera y González 2013). Estas lluvias se presentan en el área de estudio durante la temporada otoño-invierno (julio-abril), misma en la que se realiza el ciclo de siembra y aplicación de fertilizantes de los principales cultivos de temporal; maíz y caña de azúcar (SIAP 2016). Los meses de mayo a junio son considerados temporada de estiaje en la cuenca baja del Usumacinta, y en el estado de Tabasco; por tanto, no se presentan escorrentías durante este periodo.

Durante el periodo de julio a diciembre (2017), la exportación de fósforo total en las escorrentías osciló entre 0.024 y 1.25 mg L^{-1} , mientras que el nitrógeno total y amoniacal registró valores de 0.72 a 9.64 mg L^{-1} , y 0.40 a 1.84 mg L^{-1} , respectivamente. Valores dentro del rango reportado en escorrentías de suelos predominantemente ganaderos, donde la exportación de fósforo total fluctuó entre 0 y 7.62 mg L^{-1} ; 1.58 a 13.38 mg L^{-1} de nitrógeno total, y de 0.20 a 3.58 mg L^{-1} de nitrógeno amoniacal. De acuerdo con Castillo et al. (2019), las concentraciones de nitrógeno y fósforo aumentan en temporada de lluvias en el río Usumacinta, en comparación con el río Grijalva.

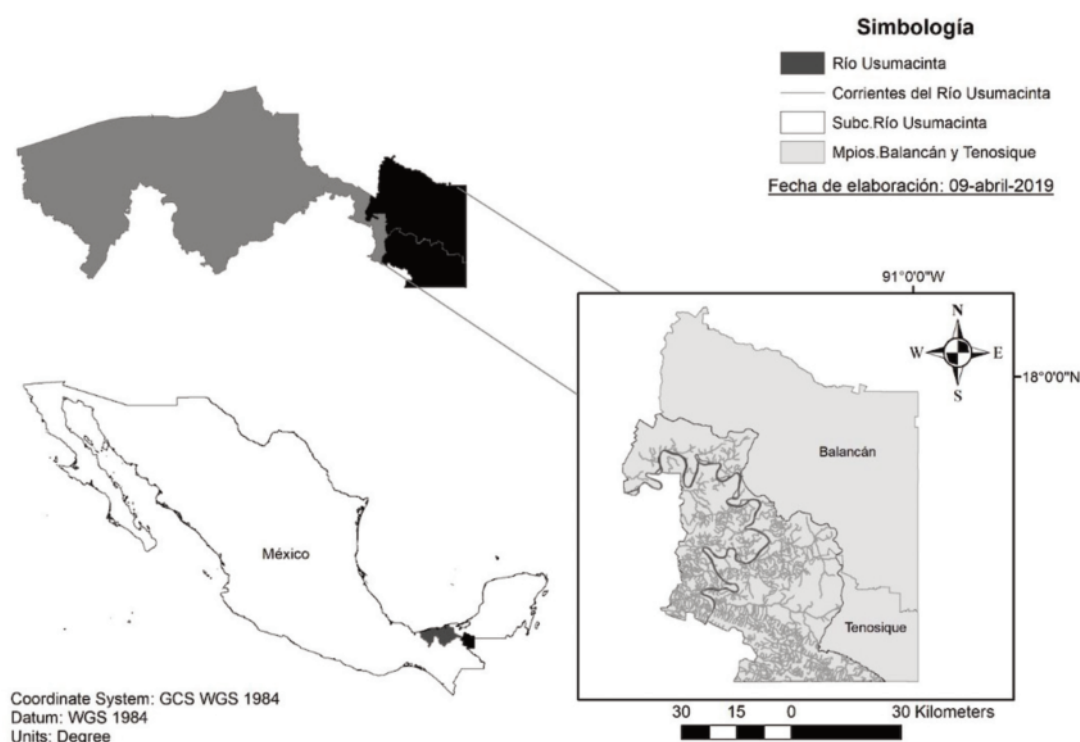


Figura 1. Delimitación del área de estudio.

Figure 1. Delimitation of the study area.

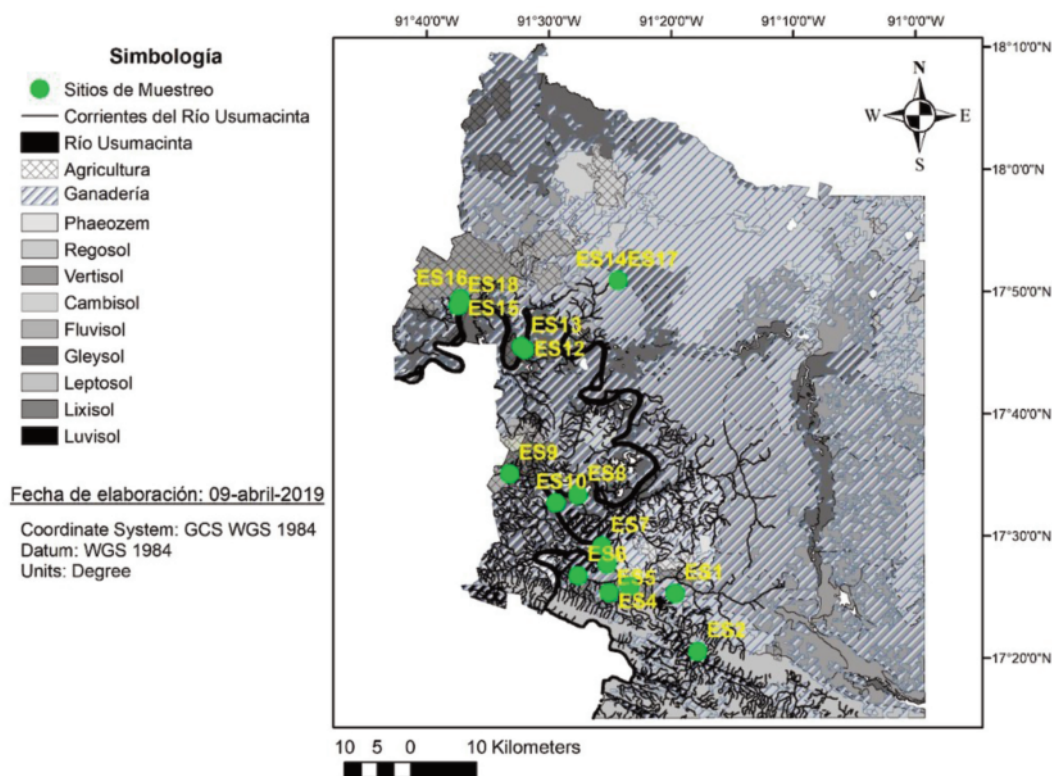


Figura 2. Distribución de los sitios de monitoreo en el río Usumacinta.

Figure 2. Distribution of monitoring sites on the Usumacinta River.

La concentración más alta de estos compuestos se observó en el sitio ES12 en el municipio de Balancán, en el drenaje de la cuenca del Río San Pedro, uno de los principales afluentes del Río Usumacinta. Las concentraciones de nutrientes exceden los límites máximos permisibles establecidos por la US EPA (2002, 2006) y los Criterios Ecológicos de Calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEGOB 1989). Las concentraciones de nitrógeno total en los sitios de monitoreo sobrepasan los límites máximos permisibles (0.76 mg L^{-1}) de la US EPA (2002, 2006). Así también, los límites máximos permisibles (0.06 mg L^{-1}) de nitrógeno amoniacal que establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 (SEGOB 1989), para la protección de la vida acuática; y los índices de fósforo total (0.1 mg L^{-1}). Esta aseveración no aplica para el sitio ES3 (Fig. 3) y ES17 (Fig. 4), para nitrógeno amoniacal y fósforo total, respectivamente.

De acuerdo con la prueba de Shapiro Wilk se observó una distribución no normal en las variables fósforo total y nitrógeno (NT

y N-NH_3); por tanto, se usó la prueba U de Mann-Whitney. Fue posible determinar que existe una correlación significativa ($p < 0.05$) entre el uso de suelo (agrícola o ganadero), y las concentraciones de nitrógeno (NT y N-NH_3) y fósforo total disuelto en las escorrentías, es decir; las concentraciones de estos compuestos están relacionados con ambos agroecosistemas, ganadero (pastizal) y agrícola (Fig. 5-7).

Los resultados de este estudio sugieren que la cuenca baja del río Usumacinta tiene un nivel de afectación moderado por efecto de la presencia de nitrógeno y fósforo total disueltos en las escorrentías, y depositados en aguas superficiales (Poff et al. 2007). Cotler y Iura (2010), reportan varias cuencas a lo largo del país con valores altos de fósforo y nitrógeno generados por fuentes difusas de contaminación, y por la tala desmedida de bosques para incrementar la superficie de tierra destinada a la ganadería extensiva (CONABIO 2018).

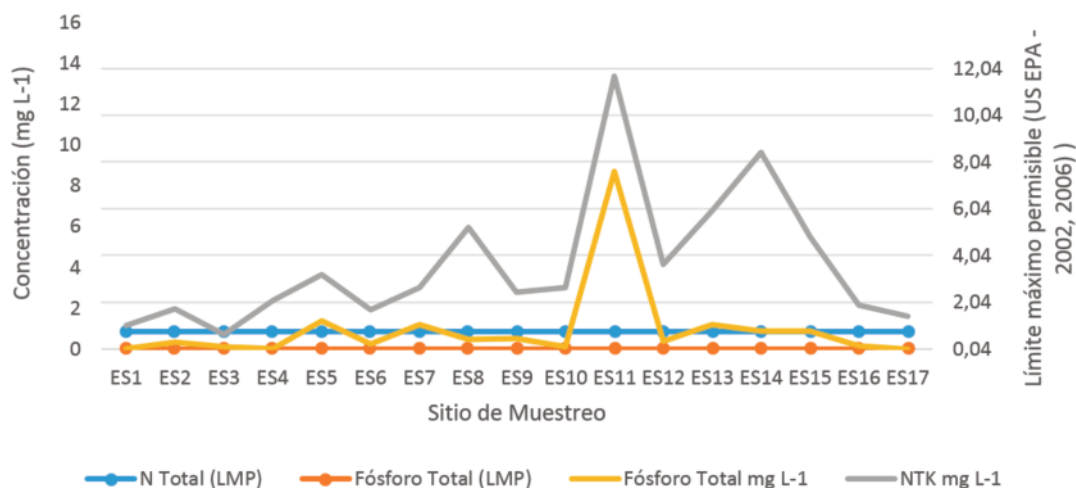


Figura 3. Comparación de los resultados obtenidos y límites máximos permisibles establecidos por la US EPA (2002, 2006).

Figure 3. Comparison of the results obtained and maximum permissible limits established by the US EPA (2002, 2006).

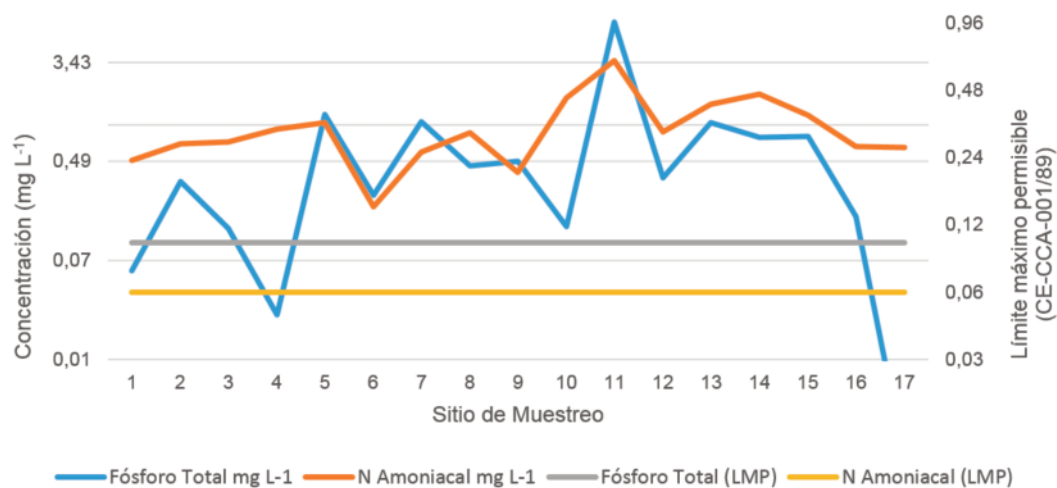


Figura 4. Comparación de los resultados obtenidos y límites máximos permisibles establecidos en los Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/891 (SEGOB 1989).

Figure 4. Comparison of the results obtained and maximum permissible limits established in the Ecological criteria of water quality CE-CCA-001/891 (SEGOB 1989).

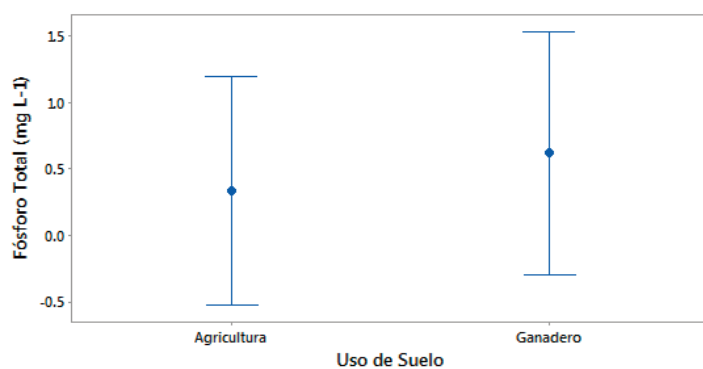


Figura 5. Concentraciones de fósforo total según el uso de suelo.

Figure 5. Total phosphorus concentrations according to land use.

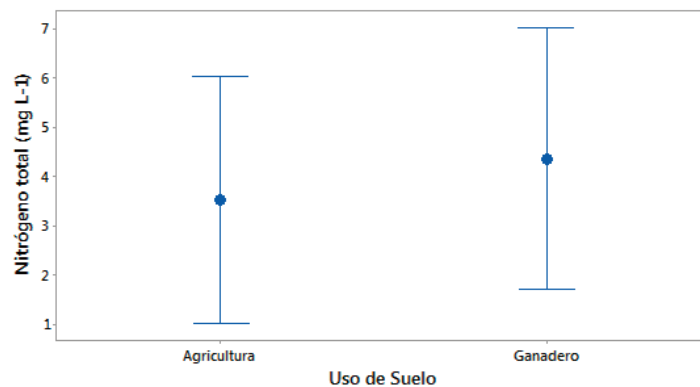


Figura 6. Concentraciones de nitrógeno total según el uso de suelo.

Figure 6. Total nitrogen concentrations according to land use.

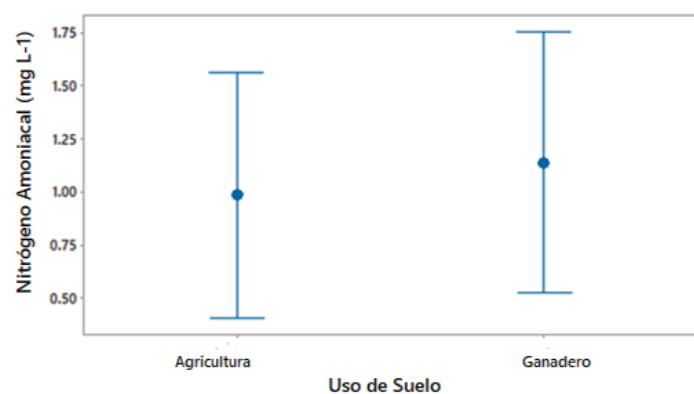


Figura 7. Concentraciones de nitrógeno amoniacal según el uso de suelo.

Figure 7. Ammoniacal nitrogen concentrations according to land use.

Conclusión

El ingreso de nitrógeno y fósforo total a la cuenca del río Usumacinta proviene de los sitios de muestreo ubicados en parcelas agrícolas y pastizales. Las escorrentías de zonas ganaderas son las de mayor aporte de nutrientes a la cuenca baja del río Usumacinta. Se encontró una relación entre el uso de suelo y las concentraciones de nitrógeno y fósforo total por agroecosistema.

Las concentraciones de nutrientes encontrados en las aguas de escorrentía exceden los límites máximos permisibles de la normativa nacional y extranjera, por tanto; existe un riesgo ambiental y posibles efectos en el mantenimiento de la vida acuática en zonas costeras. Lo que compromete los usos futuros de estos ecosistemas y la supervivencia de especies comerciales como el camarón rosado, cuyo ciclo de vida se desarrolla en el área de estudio (Toledo 2005); algunos moluscos, cíclidos (*T. affinis*, *T. helleri*, *Petenia splendida*), y peces de la familia Characidae (*Astyanax aeneus*).

Referencias

- Ávila, H., Tudares, C., Sánquiz, M., Araujo, M., Morales, N., Rojas, J., Pirela, D. 2007. Nitrógeno y fósforo en aguas superficiales de la parte baja del río Catatumbo. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 30 (Especial), 29–35.
- Bravo-Inclán, L., Saldaña-Fabela, P., Izurieta-Dávila, J., Mijangos-Carro, M. 2009. *La importancia de la contaminación difusa en México y en el mundo*. Disponible en: <http://www.atl.org.mx/images/stories/proyectos/contaminacion.pdf>
- Cabrera J. 2006. *Diagnóstico general y participación comunitaria en la cuenca internacional del río Usumacinta*. Reporte técnico. Fundación Kukulkán. Guatemala – México.
- Cabrera, J., Cuc, P. 2002. *Diagnóstico socioambiental de la cuenca del río Usumacinta*. Proyecto conflicto cooperación ambiental en cuencas internacionales centroamericanas. Reporte Técnico. Fundación Kukulkán. Fundación del Servicio Exterior para la Paz y el Desarrollo Democrático, Universidad de Costa Rica y Universidad Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Carpenter, S., Chair, Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H. 1998. Contaminación no puntual de aguas superficiales con Fósforo y Nitrógeno. *Tópicos en Ecología* 3, 369–384.
- Castillo Ferat, M.A., Fernández Reynoso D., Galaviz Villa I., Agüeros Cruz Y. P. 2019. Escorrentías agrícolas: Modelos de análisis de exportación de nitrógeno y fósforo. En: Galaviz Villa I., Sosa Villalobos C.A., (eds.), *Fuentes difusas y puntuales de contaminación y calidad de aguas superficiales y subterráneas*, pp. 77-112; Epomex, Campeche, México.
- CONABIO 2018. *Ficha n° 91. BALANCÁN*. Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad (SNIB-CONABIO). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_091.html
- Cotler, H., Iura, D. 2010. *Contaminación potencial difusa por actividad agrícola*. En: Cotler H. (Coord.) 2010. *Las cuencas hidrográficas de México: Diagnóstico y priorización*, pp. 120–123. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT - Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., Ciudad de México, México. Disponible en: <https://micrositios.inecc.gob.mx/cuenca/diagnostico/24-contaminacion-potencial-difusa.pdf>.
- INEGI 2007. *Conjunto de datos vectorial edafológica. Escala 1:250 000. Serie II. Continuo Nacional (claves E15-9, Tenosique; E15-8, Villahermosa)*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Descargas>.
- INEGI 2010. *Red Hidrográfica Escala 1:50 000 Edición: 2.0, Subcuenca Hidrográfica RH30Aa R. Usumacinta. Cuenca R. Usumacinta. RH Grijalva - Usumacinta*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/default.html#Descargas>
- INEGI 2017. *Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación, serie VI. Conjunto Nacional, Escala 1:250 000*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Ciudad de México, México. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598459>
- INIFAP 2015. *Agenda Técnica Agrícola Tabasco*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca Y Alimentación. Ciudad de México, México. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/agendas/3106_4811_Agenda_Tecnol%c3%b3gica_Tabasco_2015.pdf
- Krauskopf, T.M., Bunde, D. 1972. Evaluation of environmental impact through a computer modelling process». En: Ditton, R., Goodale, Th. (eds.), *Environmental Impact Analysis: Philosophy and Methods*. University of Wisconsin-Sea Grant Program. Madison, WI, Estados Unidos.
- Poff, N.L., Olden, J.D., Merritt, D.M., Pepin, D.M. 2007. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(14), 5732–5737.
- Rivera, W.L., González, C.T. 2013. *Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua. Manual para instructores*. Universidad de Puerto Rico en Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-917/aguama-nualescorrentia.pdf>
- SEGOB 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas CE-CCA-001/89. *Diario Oficial de la Federación*, DOF: 13/12/1989. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4837548&fecha=13/12/1989
- SIAP, Servicio e Información Agroalimentaria y Pesquera 2016. *Cierres de producción agrícola por Estado, Tabasco*, Editorial SIAP- SAGARPA, Ciudad de México, México.
- Toledo, O.A. 2005. Marco conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México. En: Botello, A., Rendon-von-Osten, J., Gold-Bouchot, G., Agraz-Hernandez, C. (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias* (2^{da} ed.), pp. 25-30. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- US EPA 1993a. *Method 350.1: Nitrogen, Ammonia (Colorimetric, Automated Phenate), Revision 2.0*. Environmental Monitoring Systems laboratory. US Environmental protection Agency, Cincinnati, OH, Estados Unidos. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-350.1.pdf>
- US EPA 1993b. *Method 351.2: Determination of Total Kjeldahl Nitrogen by Semi-Automated Colorimetry. Revision 2.0*. Environmental Monitoring Systems laboratory. US Environmental protection Agency, Cincinnati, OH, Estados Unidos. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_351-2_1993.pdf
- US EPA 1993c. *Method 365.1: Determination of Phosphorus by Semi-Automated Colorimetry, Revision 2.0*. Environmental Monitoring Systems laboratory. US Environmental protection Agency, Cincinnati, OH, Estados Unidos. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_365-1_1993.pdf
- US EPA 2002. *National recommended water quality criteria, EPA-882-R-02-047*. Office of Water and Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, Estados Unidos. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-12/documents/national-recommended-hh-criteria-2002.pdf>
- US EPA 2006. *National recommended water quality criteria*. Office of Water and Office of Science and Technology. US Environmental Protection Agency, Washington, D.C, Estados Unidos. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1003R9X.PDF?Dockkey=P1003R9X.PDF>
- Verhulst, N., Grahmann, K., Cox, R., Govaerts, B. 2015. Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación. *Mas Agro*, 12. Disponible en: http://conservacion.cimmyt.org/es/component/docman/doc_view/1502-eficiencia-del-uso-de-nitrogeno
- Zavrotsky, A. 1989. Faro del Catatumbo: Lo conocido y lo desconocido. *Se-forven: revista del Servicio Autónomo Forestal Venezolano* 12(11): 5-15.