

## Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México)

### Annual variation of hydrographic parameters at the confluence of the Jamapa river and Moreno stream (Mexico)

David Salas-Monreal<sup>1\*</sup>, Alejandro Díaz-Hernández<sup>2</sup>, José Antolín Áke-Castillo<sup>1</sup>, Alejandro Granados-Barba<sup>1</sup> y Mayra Lorena Riverón-Enzástiga<sup>3</sup>

1. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Veracruz, México

2. Instituto tecnológico de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México.

3. Noordwijk International College, Blvd, Veracruz, México

\*Autor de correspondencia: [davsalas@uv.mx](mailto:davsalas@uv.mx)

Recibido: 29 de enero de 2020

Aceptado: 22 de mayo de 2020

Publicación en línea: 22 de mayo de 2020

#### Palabras clave:

río Jamapa; arroyo Moreno; sistema arrecifal veracruzano; hipoxia; nitrógeno total; variación anual

#### Resumen

Se utilizaron datos semanales de la temperatura de la superficie del mar, la salinidad, la densidad del agua, el oxígeno disuelto, el nitrógeno total y la clorofila-*a* para dilucidar las variaciones temporales de las condiciones ambientales del río Jamapa en su confluencia con arroyo Moreno (Boca del Río, Veracruz, México), así como para identificar cualquier condición desfavorable para los organismos, como la hipoxia o las altas concentraciones de nitrógeno. Con los datos obtenidos desde septiembre del 2017 hasta noviembre del 2018 se puede observar que los valores de oxígeno fueron mayores durante la temporada de frentes fríos (vientos sostenidos mayores a 60 km/h), debido a la oxigenación producida por el intercambio atmosfera-océano y disminuye drásticamente durante la temporada de lluvias, cuando las descargas del río son 10 veces mayores que durante el resto del año, y durante secas, cuando la temperatura atmosférica (bulbo seco) es al menos 5°C mayor que durante el resto del año, con vientos típicos menores a los 20 km/h. Esto no afectó los niveles registrados de clorofila-*a* que fueron casi constantes durante el periodo muestreado. En cambio, la temperatura y la salinidad muestran un máximo (34 °C y 14 ppt, respectivamente) durante secas y disminuyen cuando inicia la temporada de lluvias.

#### Abstract

Weekly data of the sea surface temperature, salinity, water density, dissolved oxygen, total nitrogen, and chlorophyll-*a* were used to elucidate the temporal variations in the environmental conditions of the Jamapa River at its confluence with Arrollo Moreno (Boca del Río, Veracruz, Mexico), as well as to identify any unfavorable condition for organisms, such as hypoxia or high nitrogen concentrations. With the data obtained from September 2017 to November 2018, it can be seen that the oxygen values were higher during the northern season (sustained winds over 60 km/h), due to the oxygenation produced by the atmosphere-ocean exchange and decreases dramatically during the rainy season, when the river discharges were 10 times greater than during the rest of the year and during the dry season, when the atmospheric temperatures (dry bulb) are at least 5 °C higher than during the rest of the year, with typical winds below 20 km/h. This did not affect the registered levels of chlorophyll-*a*, since they were almost constant during the sampled period. In contrast, the temperature and salinity show a maximum (34 °C and 14 ppt, respectively) during the dry season and decrease when the rainy season begins.

#### Key words:

Jamapa River; Stream Moreno; Veracruz reef system; hypoxia; total nitrogen; Hydrologic annual variation



## Introducción

Los ríos son lugares de gran importancia para la biosfera al ser una de las fuentes más importantes de agua para los seres vivos y albergar hábitats con una elevada biodiversidad. De acuerdo con Jerves et al. (2020) y Zolfaghari *et al.* (2020) es de suma importancia conocer las variaciones temporales del ambiente (temperatura, salinidad y densidad), así como identificar si existen condiciones no favorables para el adecuado desarrollo de los seres vivos (hipoxia o concentraciones altas de nitrógeno total).

El aumento poblacional en las zonas costeras de Latinoamérica ha sido resultado de las relaciones económicas, sociales y políticas establecidas hacia el interior del continente desde la época prehispánica. Durante el periodo prehispánico, los recursos marinos no fueron un factor importante para el crecimiento de los centros poblacionales a lo largo de las costas Latinoamericanas; sin embargo, con la llegada de los europeos, se establecieron asentamientos litorales de gran importancia comercial (Morales y Pérez, 2006). Posteriormente, con la revolución industrial y la globalización, la industria aumentó el consumo del agua de manera exponencial y debido a ello, las ciudades asentadas al borde de los ríos y lagos incrementaron su población. El incremento de la población no solo aumentó el consumo del agua, sino que durante un tiempo la industria y las ciudades vertieron sus residuos y desechos tóxicos a los ríos, lo cual originó que en épocas recientes se tomaran medidas para observar la calidad del agua (Ayers y Westcot, 1987; Mexicana, 2001; Lozada *et al.*, 2009). El crecimiento industrial y económico, se ha visto reflejando en el crecimiento de las plantas hidroeléctricas, las cuales aumentan la temperatura del agua que es vertida en los ríos (Hernández-Tapia, 2017). El aumento de la temperatura del agua, modifica el hábitat del río y las áreas adyacente a su cauce. Con el crecimiento de la agricultura, cerca de los ríos, se construyeron presas reduciendo el flujo por unidad de volumen (gasto) de la mayoría de los ríos, hecho que aumentó la salinidad en la desembocadura de los ríos y por lo tanto, el ecosistema estuarino empezó a cambiar (Salas-Monreal *et al.*, 2019).

El litoral Veracruzano (México) cuenta con aproximadamente 2,000 pescadores, los cuales obtienen un total de ~30,000 toneladas de producción pesquera al año (INAPESCA, 2017), motivo por el cual es de suma importancia conocer las variaciones temporales de los parámetros hidrográficos que pueden afectar o modular dicha producción. El litoral

Veracruzano (México) cuenta con numerosos estuarios que incluyen al del Río Jamapa (figura 1), el cual destaca por su importancia biológica y pesquera, así como por la generación de energía hidroeléctrica y la cercanía con el Puerto de Veracruz, una de las ciudades más antiguas de América (1519) con una población de aproximadamente 1,000,000 de habitantes (figura 1). Por ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar las variaciones hidrográficas de dicho río durante el periodo de septiembre del 2017 hasta noviembre del 2018.

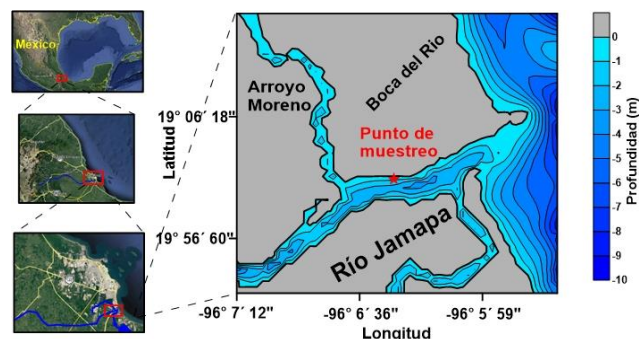


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el río Jamapa, Veracruz, México.

La importancia del río Jamapa radica en que es un sistema estuarino cuyas descargas y nutrientes llegan al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), el cual cuenta con 50 arrecifes de coral (Leaño-Carrera *et al.*, 2019). En este trabajo se realizó una comparación entre las tres temporadas climáticas de la región (Avendaño-Alvarez *et al.*, 2017), secas, lluvias y frentes fríos (localmente llamados "nortes"), con el fin de obtener series de tiempo que permitan conocer la calidad del ambiente acuático en la desembocadura del río Jamapa. Dada la poca información que se tienen de los parámetros ambientales de oxígeno disuelto (OD), nitrógeno total ( $N_2$ ), clorofila-a (Cl-a), temperatura y salinidad en la zona de la desembocadura del río Jamapa, se puso en marcha la creación de una base anual de estos parámetros. El Río Jamapa cuenta con un canal de navegación en la parte sur (figura 1) y debido al efecto que el canal de navegación genera sobre la dinámica del estuario (Salas-Monreal *et al.*, 2019), las variables hidrográficas son diferentes entre la parte sur (canal de navegación) y la parte norte (zona somera) del río. El canal de navegación produce corrientes más fuertes ( $>0,5$  m/s) y un intercambio continuo del agua salobre con el océano ( $\sim 12$  h). El lado sur es más dinámico (el intercambio del agua del río y el océano es continuo) que el lado norte, donde el agua se puede quedar estática durante periodos mayores a 24 h, debido a sus bajas velocidades. Debido a que el lado norte es menos

dinámico y al aporte continuo de agua del Arroyo Moreno, esta parte del río debería mostrar más contaminación (figura 1). Esto se debe en parte a que el cauce de Arroyo Moreno recibe descargas urbanas de forma directas. Dado lo anterior, este trabajo se enfocará en la parte norte del río, ya que ésta es la que puede generar una mayor problemática ambiental (altos índices de contaminación) dentro del sistema.

En la desembocadura del río Jamapa se han detectado episodios de hipoxia (Avendaño-Alvarez *et al.*, 2019), esto es una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua menor a 2,0 ml/l (Díaz y Rosenberg, 1995). El oxígeno en forma de gas posee una baja solubilidad en el agua; además la cantidad de oxígeno contenido en el agua varía con la temperatura. La mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para vivir y crecer. Algunas especies requieren niveles elevados de oxígeno disuelto (OD) como la trucha (*Salvelinus fontinalis*), mientras que otros pueden vivir con niveles mínimos como el bagre (*Bagre marinus*). Otro factor importante para los organismos es el nitrógeno, este es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se le encuentra formando amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y nitritos ( $\text{NO}_2$ ). El proceso de nitrificación depende entre otras cosas de la temperatura del agua y del contenido de oxígeno disuelto. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo que son removidos con facilidad de los sedimentos, incrementando la cantidad de bacterias en la columna de agua, mismas que consumen oxígeno, logrando generar en algunas ocasiones ambientes hipóxicos o anóxicos (bajos o nulos niveles de oxígeno, respectivamente) (Altieri y Díaz, 2019). Todos los parámetros analizados en este trabajo fueron tomados a una distancia de 5 metros del borde del Río Jamapa (figura 1) del 1 de septiembre de 2017 al 25 de noviembre de 2018 de forma semanal. El nivel del río en su parte estuarina cuenta con una modulación micro-mareal (< 2 m) con una componente semidiurna (~12 h), diurna (~24 h) y lunisolar sinódica quincenal (~15 días), por lo que todos los datos se tomaron durante bajamar para evitar variaciones debidas al efecto de la marea entre muestreos sucesivos (Salas-Monreal *et al.*, 2019).

En la zona de estudio existen tres temporadas climáticas muy marcadas (Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016), la temporada de frentes fríos, comúnmente conocida como nortes, la cual cuenta con vientos sostenidos mayores a los 20 km/h y cada 4 a 7 días dicha intensidad aumenta a >60 km/h (con rachas de

hasta 130 km/h), esta es la temporada más fría de la región debido a los vientos polares (vientos del norte o noreste). A la temporada de nortes le sigue la temporada de secas, que es cuando deja de llover, en esta temporada no existe mucha humedad en el ambiente, pero la radiación solar es mayor debido a la falta de nubes y humedad en el ambiente, por lo que las temperaturas al bulbo seco, son las más elevadas que se registran, a esta temporada también se le conoce como la temporada de estiaje. Finalmente, la temporada de lluvias, la cual se caracteriza por una gran descarga (gasto) de agua dulce de los ríos, al igual que mucha humedad en el ambiente (>60%) y nubosidad.

Con los datos medidos en este trabajo se puede ver que la temperatura más alta (figura 2) se registró durante la temporada de secas. La temperatura es muy importante en la degradación de la materia orgánica, afecta la velocidad de las reacciones químicas y biológicas en los ríos y mares, por lo cual se espera que exista una mayor degradación de la materia orgánica en esta temporada, como se puede observar con los valores del nitrógeno registrados en esta temporada. En aguas estuarinas del Golfo de México se espera mayor mezcla en invierno que en verano debido a los nortes (frentes fríos), por lo tanto, la temperatura del agua bajaría en esta temporada (figura 2). La temperatura más alta registrada en el río Jamapa fue en la temporada de secas y baja gradualmente hasta encontrar su mínimo durante la temporada de nortes. Durante la temporada de nortes la columna de agua se mezcla (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016), bajando el valor de la salinidad del fondo y aumentando el valor de la superficie (columna mezclada). En la zona de muestreo, la salinidad tiene valores altos comparados con lo esperado para un río y bajos comparados con la mayoría de los estuarios, esto se debe a la interacción del río Jamapa con la desembocadura de Arroyo Moreno (figura 1), el cual aporta agua dulce de forma continua al sistema. Como era esperado, en la temporada de secas se observaron los mayores valores de salinidad, dichos valores bajaron drásticamente durante la temporada de lluvias.

Todos los gases de la atmósfera son solubles en agua en diferente grado, dependiendo directamente de su presión parcial; el nitrógeno y el oxígeno son considerados gases con una baja solubilidad, siendo su concentración menor en agua con mayor salinidad y temperatura. En aguas con altos contenidos de materia orgánica disuelta los valores de oxígeno saturado son menores que en aguas "limpias", considerándose como

aceptables aquellas con un contenido mínimo de 5 ml/l de oxígeno disuelto, mientras que cuando dichas concentraciones bajan de 2 ml/l (hipoxia) esto puede resultar en una migración de organismos hacia otras regiones o en caso de no poder desplazarse, se puede traducir en la mortalidad de dichos organismos, sobre todo si el ambiente se torna anóxico. Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, como se puede observar en la temporada de secas (figura 2), esto se observó en la confluencia del río Jamapa y Arroyo Moreno, pero también se observó en la desembocadura del río Jamapa (Avendaño-Alvarez *et al.*, 2017), donde existe un mayor intercambio del agua estuarina con el agua oceánica. La concentración más elevada de OD en el área de muestreo se registró durante la temporada de nortes, cuando se observaron las menores temperaturas; sin embargo, el aumento en la cantidad de oxígeno se puede deber en gran medida al intercambio de O<sub>2</sub> con la atmosfera, cuando la columna de agua se oxigena debido a los intensos vientos (frentes fríos) comúnmente registrados durante el invierno (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016) a lo largo de toda la cuenca. Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto fueron de ~5,0 ml/l, mientras que para el resto del año (secas y lluvias) la zona de muestreo mostró características hipóxicas, no favorables para el adecuado desarrollo de la mayoría de los organismos. Esta no es una condición general para todo el río Jamapa, dichos valores se presentan en el punto de muestro debido a su cercanía con Arroyo Moreno, donde se localiza una de las áreas de desagüe de la zona conurbada del Puerto de Veracruz y las descargas de agua de una de las termoeléctricas (termoeléctrica de dos bocas, Veracruz) que descarga agua caliente en esta área. Debido a lo anterior y posiblemente a otros factores como el aporte de materia orgánica proveniente de la parte superior de la cuenca o el consumo del oxígeno por bacterias o productos químicos en la región, el oxígeno disuelto no era suficiente para mantener un sistema íctico altamente productivo, pudiéndose notar con la poca productividad pesquera con que se cuenta en esta área. El nitrógeno es uno de los elementos de mayor interés en los estudios ambientales debido a la importancia para la vida de plantas y animales (Carreón-Palau *et al.*, 2019). En el área de muestreo dichos valores superan los 8 ml/l a lo largo del año. Los valores altos de nitrógeno total observados durante la temporada de nortes se pueden deber a la resuspensión de la materia orgánica del fondo o al aporte N<sub>2</sub> cuenca arriba (lluvia en la zona montañosa), mientras que, en la temporada de lluvias, esto se debe al aporte terrígeno producido

por el deslave de las zonas adyacentes al río a lo largo de toda la cuenca y drenajes pluviales urbanos. El nitrógeno puede pasar de ser abono y nutriente a contaminante de alto riesgo para los organismos acuáticos, cuando sus valores se elevan por encima de los 15 ml/l. Los índices elevados de nitrógeno total observados en esta área se pudieron haber generado por la falta de organismos nitrificantes o por descarga de aguas residuales que aportan una gran cantidad de materia orgánica en descomposición, entre otros factores; sin embargo, estos valores no rebasan los 11 ml/l.

La clorofila-*a* es el tipo de clorofila que se encuentra más frecuentemente entre las algas (Okolodkov *et al.*, 2011). Una de las características principales de la clorofila-*a* es su capacidad de absorber la radiación para crear la fotosíntesis. En la zona de muestreo los valores de clorofila-*a* se mantienen casi constantes debido al aporte continuo de nutrientes a lo largo del año, esto también se puede observar en la desembocadura del Río Jamapa (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017) y en el sistema arrecifal veracruzano, donde desemboca el Río Jamapa (Avendaño-Alvarez *et al.*, 2019). Durante la temporada de nortes existe una gran resuspensión de nutrientes del fondo (Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016), lo cual provee de nutrientes la columna de agua, esto aunado a las lluvias esporádicas cuenca arriba (Salas-Monreal *et al.*, 2019), entre otros factores como las numerosas descargas antrópicas (aguas residuales) las cuales contienen una cantidad de nutrientes, suficiente para favorecer el crecimiento de microalgas, mantienen un alto nivel de nutrientes en la zona de estudio. Durante la temporada de lluvia dichos nutrientes vienen, en su mayoría, de las descargas del río. Dado lo anterior, es sorprendente que esta área no sea una de las más productivas del río en cuanto a pesquerías se refiere, dado que, en muchas ocasiones, las algas que contienen a la clorofila-*a* son la base de la cadena alimenticia en ecosistemas acuáticos. Esto puede deberse a que los niveles de oxígeno disuelto a lo largo de un año son muy bajos. Los niveles de clorofila-*a* que se tuvieron a lo largo del año, pudieron haber sido el resultado de las condiciones climatológicas. Una posibilidad pudo ser que tanto la lluvia con su aporte de CO<sub>2</sub> atmosférico, como el nitrógeno proveniente de la materia orgánica, y una temperatura promedio de 26 °C favorecieran el crecimiento y sustentabilidad de las microalgas en el área de muestreo.

Dado que el río Jamapa desemboca al sistema arrecifal veracruzano, un sistema con más de 50 arrecifes de

coral (Liaño-Carrera *et al.*, 2019), y que a su vez el río cuenta con un sistema estuarino en su desembocadura (Salas-Monreal *et al.*, 2019), el cual es usado por numerosas especies en su etapa de reproducción o crecimiento, es de suma importancia mantener un monitoreo periódico en este sistema y en general en todas las cuencas a nivel mundial, para garantizar que la calidad del agua es la adecuada para mantener un ecosistema acuático saludable. Las cuencas que cuentan con desarrollo urbano (ciudades) a lo largo de su cauce, como es el caso del río Jamapa, deberían de ser monitoreadas de forma periódica permanentemente, para tener una idea más clara de los efectos que las descargas urbanas pueden producirle al ambiente y de esta manera poder tomar medidas de mitigación o generar modelos preventivos que ayuden a mantener un sistema saludable en dichas áreas.

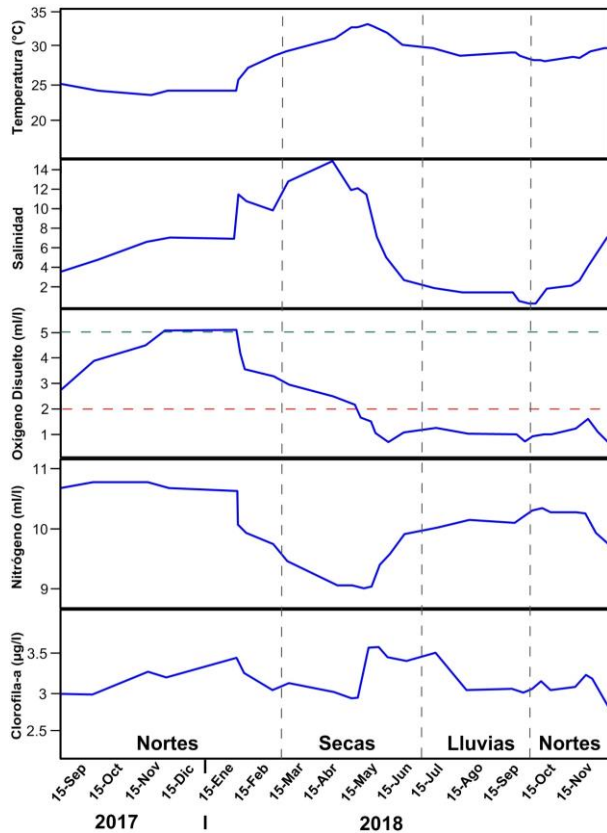


Figura 2. Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (OD), nitrógeno total (N<sub>2</sub>) y Clorofila-a (Cl-a) obtenidas del 1 de septiembre de 2017 al 25 de noviembre de 2018, durante las tres temporadas climáticas de la región, nortes (frentes fríos), secas y lluvias.

Todos los gases de la atmósfera son solubles en agua en diferente grado, dependiendo directamente de su presión parcial; el nitrógeno y el oxígeno son considerados gases con una baja solubilidad, siendo su

concentración menor en agua con mayor salinidad y temperatura. En aguas con altos contenidos de materia orgánica disuelta los valores de oxígeno saturado son menores que en aguas "limpias", considerándose como aceptables aquellas con un contenido mínimo de 5 ml/l de oxígeno disuelto, mientras que cuando dichas concentraciones bajan de 2 ml/l (hipoxia) esto puede resultar en una migración de organismos hacia otras regiones o en caso de no poder desplazarse, se puede traducir en la mortalidad de dichos organismos, sobre todo si el ambiente se torna anóxico. Al aumentar la temperatura, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, como se puede observar en la temporada de secas (figura 2), esto se observó en la confluencia del río Jamapa y Arroyo Moreno, pero también se observó en la desembocadura del río Jamapa (Avenida-Alvarez *et al.*, 2017), donde existe un mayor intercambio del agua estuarina con el agua oceánica. La concentración más elevada de OD en el área de muestreo se registró durante la temporada de nortes, cuando se observaron las menores temperaturas; sin embargo, el aumento en la cantidad de oxígeno se puede deber en gran medida al intercambio de O<sub>2</sub> con la atmósfera, cuando la columna de agua se oxigena debido a los intensos vientos (frentes fríos) comúnmente registrados durante el invierno (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016) a lo largo de toda la cuenca. Las mayores concentraciones de oxígeno disuelto fueron de ~5,0 ml/l, mientras que para el resto del año (secas y lluvias) la zona de muestreo mostró características hipóxicas, no favorables para el adecuado desarrollo de la mayoría de los organismos. Esta no es una condición general para todo el río Jamapa, dichos valores se presentan en el punto de muestreo debido a su cercanía con arroyo Moreno, donde se localiza una de las áreas de desagüe de la zona conurbada del Puerto de Veracruz y las descargas de agua de una de las termoeléctricas (termoeléctrica de dos bocas, Veracruz) que descarga agua caliente en esta área. Debido a lo anterior y posiblemente a otros factores como el aporte de materia orgánica proveniente de la parte superior de la cuenca o el consumo del oxígeno por bacterias o productos químicos en la región, el oxígeno disuelto no era suficiente para mantener un sistema íctico altamente productivo, pudiéndose notar con la poca productividad pesquera con que se cuenta en esta área. El nitrógeno es uno de los elementos de mayor interés en los estudios ambientales debido a la importancia para la vida de plantas y animales (Carreón-Palau *et al.*, 2019). En el área de muestreo dichos valores superan los 8 mg/l a lo largo del año. Los valores altos de nitrógeno total observados durante la temporada de

nortes se pueden deber a la resuspensión de la materia orgánica del fondo o al aporte  $N_2$  cuenca arriba (lluvia en la zona montañosa), mientras que, en la temporada de lluvias, esto se debe al aporte terrígeno producido por el deslave de las zonas adyacentes al río a lo largo de toda la cuenca y drenajes pluviales urbanos. El nitrógeno puede pasar de ser abono y nutriente a contaminante de alto riesgo para los organismos acuáticos, cuando sus valores se elevan por encima de los 15 ml/l. Los índices elevados de nitrógeno total observados en esta área se pudieron haber generado por la falta de organismos nitrificantes o por descarga de aguas residuales que aportan una gran cantidad de materia orgánica en descomposición, entre otros factores; sin embargo, estos valores no rebasan los 11 ml/l.

La clorofila-*a* es el tipo de clorofila que se encuentra más frecuentemente entre las algas (Okolodkov *et al.*, 2011). Una de las características principales de la clorofila-*a* es su capacidad de absorber la radiación para crear la fotosíntesis. En la zona de muestreo los valores de clorofila-*a* se mantienen casi constantes debido al aporte continuo de nutrientes a lo largo del año, esto también se puede observar en la desembocadura del río Jamapa (Avenidaño-Alvarez *et al.*, 2017) y en el sistema arrecifal veracruzano, donde desemboca el río Jamapa (Avenidaño-Alvarez *et al.*, 2019). Durante la temporada de nortes existe una gran resuspensión de nutrientes del fondo (Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016), lo cual provee de nutrientes la columna de agua, esto aunado a las lluvias esporádicas cuenca arriba (Salas-Monreal *et al.*, 2019), entre otros factores como las numerosas descargas antrópicas (aguas residuales) las cuales contienen una cantidad de nutrientes, suficiente para favorecer el crecimiento de microalgas, mantienen un alto nivel de nutrientes en la zona de estudio. Durante la temporada de lluvia dichos nutrientes vienen, en su mayoría, de las descargas del río. Dado lo anterior, es sorprendente que esta área no sea una de las más productivas del río en cuanto a pesquerías se refiere, dado que, en muchas ocasiones, las algas que contienen a la clorofila-*a* son la base de la cadena alimenticia en ecosistemas acuáticos. Esto puede deberse a que los niveles de oxígeno disuelto a lo largo de un año son muy bajos. Los niveles de clorofila-*a* que se tuvieron a lo largo del año, pudieron haber sido el resultado de las condiciones climatológicas. Una posibilidad pudo ser que tanto la lluvia con su aporte de  $CO_2$  atmosférico, como el nitrógeno proveniente de la materia orgánica, y una temperatura promedio de 26 °C favorecieran el

crecimiento y sustentabilidad de las microalgas en el área de muestreo.

Dado que el río Jamapa desemboca al Sistema Arrecifal Veracruzano, un sistema con más de 50 arrecifes de coral (Liaño-Carrera *et al.*, 2019), y que a su vez el río cuenta con un sistema estuarino en su desembocadura (Salas-Monreal *et al.*, 2019), el cual es usado por numerosas especies en su etapa de reproducción o crecimiento, es de suma importancia mantener un monitoreo periódico en este sistema y en general en todas las cuencas a nivel mundial, para garantizar que la calidad del agua sea la adecuada para mantener un ecosistema acuático saludable. Las cuencas que cuentan con desarrollo urbano (ciudades) a lo largo de su cauce, como es el caso del río Jamapa, deberían de ser monitoreadas de forma periódica permanentemente, para tener una idea más clara de los efectos que las descargas urbanas pueden producirle al ambiente y de esta manera poder tomar medidas de mitigación o generar modelos preventivos que ayuden a mantener un sistema saludable en dichas áreas.

## Referencias

- Altieri, A.H. y Díaz, R.J. 2019. Dead zones: oxygen depletion in coastal ecosystems. En: Sheppard, C. Editor. *World Seas: An Environmental Evaluation, Vol. III: Ecological Issues and Environmental Impacts*. Elsevier and Academic Press, Warwick.
- Avenidaño-Álvarez, O., Salas-Monreal, D., Marín-Hernández, M., Salas de Leon, D.A. y Monreal-Gomez, M.A. 2017. Annual hydrological variation and hypoxic zone in a tropical coral reef system. *Regional Studies in Marine Science* 9: 145-155. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.12.007>.
- Avenidaño, O., Salas-Monreal, D., Anis, A., Salas-de-Leon, D.A., y Monreal-Gomez, M.A. 2019. Monthly surface hydrographical variability in a coral reef system under the influence of river discharges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 222: 53-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.04.012>.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W. 1987. Calidad del agua para la agricultura (No. 04; S618. 45, A94.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- Camara, M. Jamil, N.R.B. y Abdullah, F.B. 2020. Variations of water quality in the monitoring network of a tropical river. *Global Journal of Environmental Science and Management* 6(1): 85 - 96. Doi: <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.01.07>.
- Carreón-Palau, L., del Ángel-Rodríguez, J.A., Parrish, C., Pérez-España, H., y Aguiñiga-García, S. 2019. Evaluación de

las fuentes naturales y antropogénicas de nitrógeno y carbono en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba A., Ortiz-Lozano L., González-Gándara C. y Salas-Monreal, D. Editores. Estudios científicos en el corredor arrecifal del suroeste del golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche.

Díaz, R.J. y Rosenberg, R. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology an Annual Review* 33:245-303.

Hernández-Tapia, G.M. 2017. Ríos urbanos. Análisis de la relación entre el desarrollo urbano y la pérdida de los ecosistemas fluviales. En: Cortés-Lara, M.A. Editores. Planeación y desarrollo de tecnología. Visiones sustentables de la vivienda y la transformación urbana. ITESO, Ciudad de México

INAPESCA. 2017. La Pesca Ribereña de Escama Marina en el Litoral Veracruzano. <https://www.gob.mx/inapesca/articulos/la-pesca-riberena-de-escama-marina-en-el-litoral-veracruzano?idiom=es> . Consultado: 16 de diciembre de 2018.

Jerves-Cobo, R., Eurie Forio, M.A., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F., Nopens, I. y Goethals, P.L. 2020. Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis. *Ecological Indicators* 18: 105769. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105769>.

Liaño-Carrera, F., Camarena-Luhers, T., Gómez-Barrero, A., Martos-Fernández, F.J., Ramírez-Macias, J.I., y Salas-Monreal, D. 2019. New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin american journal of aquatic research* 47(2): 270-281. Doi: <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-7> .

Lozada, P.T., Vélez, C.H.C. y Patiño, P. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista de Ingenierías*. Universidad de Medellín, 8(15): 3.

Mexicana, N. 2001. NMX-AA-026-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba". Secretaria de Comercio y Fomento Industrial.

Morales, J.G. y Pérez, J.L. 2006. Crecimiento poblacional e instrumentos para la regulación ambiental de los asentamientos humanos en los municipios costeros de México. Instituto Nacional de Ecología, México. *Gaceta ecológica* 79: 53-77.

Okolodkov, Y.B., Aké-Castillo, J.A., Gutiérrez-Quevedo, M.G., Pérez-España, H., y Salas-Monreal, D. 2011. Annual Cycle of the Plankton Biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Southwestern Gulf of Mexico. En: Kattel, G. Editor. *Zooplankton and Phytoplankton: Types, characteristics and ecology*. Nova Science Publishers, New York.

Riveron-Enzastiga, M.L., Carbajal, N., y Salas-Monreal, D. 2016. Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina* 80(2): 237-246. Doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.04259.15B>.

Salas-Monreal, D., Riveron-Enzastiga, M.L., de Jesús Salas-Perez, J., Bernal-Ramirez, R., Marin - Hernández, M., y Granados-Barba, A. 2019. Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 106562. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106562> .

Torres-Zambrano, N.N., y Torres-Zambrano, D.R. 2016. Macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Los Alisos, Firavitoba - Boyacá. *Intropica*, 11(1): 47-56. Doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864> .

Zolfaghari, K., Wilkes, G., Bird, S., Ellis, D., Pintar, K.D.M., Gottschall, N., McNairn, H., y D.R. Lapen, 2020. Chlorophyll-a, dissolved organic carbon, turbidity and other variables of ecological importance in river basins in southern Ontario and British Columbia, Canada. *Environmental Monitoring Assessment* 192:67. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7800-x>.

**Citar como:** Salas-Monreal, D., Díaz-Hernández, A., Áke-Castillo, J.A., Granados-Barba, A. y Riverón, M.L. Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México). 2020. *Intropica* 15(1): 59-65. Doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.3402>.