

Salas-Monreal, D., J.J. Salas-Pérez & R.G. Bernal-Ramírez. 2025. Variación de la Descarga del río Coatzacoalcos, Sur del CASGM, p. 371-382. In: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano & A.L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo Conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México: Integrando los Ambientes Costeros. Universidad Autónoma de Campeche. 540 p. ISBN 978-607-8907-34-2. doi 10.26359/EPOMEX02202515.

# Variación de la Descarga del río Coatzacoalcos, Sur del CASGM

*David Salas-Monreal<sup>1,\*</sup>, José de Jesús Salas-Pérez<sup>2</sup>  
& Rocío de Guadalupe Bernal-Ramírez<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,  
Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias,  
Universidad Veracruzana

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Boca del Río  
Tecnológico Nacional de México,  
Boca del Río, Veracruz

\*Autor de correspondencia: *davsalas@uv.mx*

## Resumen

Se analizaron las descargas del río Coatzacoalcos, localizado en la parte sur del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM), con el objetivo de ver si existe una tendencia en sus descargas, mostrando que existe un aumento en los picos de descarga del río del año 1993 al año 2006; sin embargo, en una tendencia se aprecia una ligera disminución entre lo observado de 1982 al 2013. Dicho río afecta directamente a los arrecifes de la zona sur del CASGM, por lo que es importante conocer la magnitud de sus descargas, así como su periodicidad. Usando la serie de tiempo de 1982 al 2013, se observa que existe una disminución en sus descargas en esos 31 años, debida, posiblemente, al incremento poblacional y a los procesos agrícolas, ganaderos, e industriales. Los máximos en las descargas van de junio a noviembre, con una disminución entre julio y agosto debida a la canícula. Los efectos naturales también juegan un papel importante, por ejemplo, el fenómeno de El Niño y La Niña producen variaciones en las descargas del río, disminuyéndolo o intensificándolo, respectivamente. Durante la temporada de lluvias, la influencia de las descargas del río Coatzacoalcos puede llegar hasta 66 km de distancia, mientras que durante la temporada de secas, ésta, puede llegar a solo 5.5 km de distancias desde su desembocadura.

**Palabras clave:** descargas de ríos, canícula, estacionalidad del río Coatzacoalcos.

## Abstract

The discharges of the Coatzacoalcos River, located in the southern part of the Southwest Reef Corridor of the Gulf of Mexico (CASGM), were analyzed in order to see if there is a trend in its discharges. This river directly affects the reefs in the southern area of the CASGM, therefore it is important to know the magnitude of its discharges, as well as its periodicity. Using the time series from 1982 to 2013, it was evident that there has been a decrease in discharges in the last 31 years, possibly due to population increase, and agricultural and industrial processes. The maximum discharges were observed from June to November with a decrease between July and August due to the dog days. Other natural factors, such as the ENSO events could also modify its discharges, during an El Niño event its discharges were diminished, while during a La Niña event, its discharges intensified. Finally, the influence of the Coatzacoalcos River could be observed up to 5.5 km during the dry season and up to 66 km during the rainy season, those distances may vary depending on the velocity of the coastal currents and local winds.

**Keywords:** River discharges, dog days, seasonality of the Coatzacoalcos River.

## Introducción

Las poblaciones a lo largo de la historia se han asentado de forma adyacente a los ríos o acuíferos, esto debido a la necesidad del agua potable tanto para su consumo directo como para el uso en la agricultura y ganadería. En la actualidad, en México se ha usado la fuerza de los ríos (advección) como un mecanismo que genera energía limpia, lo cual impulsa a la construcción de presas. En México, en general existe una escasez de agua, motivo por el cual es común que se hagan presas que favorecen el aprovechamiento de ésta.

En los últimos 30 años, la población ha crecido exponencialmente (Azuz & Rivera, 2007) esto hace que, al existir un incremento exponencial en la población, se deba de esperar un decremento de igual magnitud en la cantidad de agua dulce que llegue al océano. Este crecimiento no es solo de las ciudades aledañas a los ríos, también puede ser de ciudades lejanas. Para dar un ejemplo, abastecer al Valle de México de agua potable, hace necesario desviar varios ríos hacia esa zona. Además, en México se cuenta con un alto consumo de agua embotellada, lo cual genera que, sin importar el lugar donde se encuentren los acuíferos o ríos, a éstos se les extraiga una gran cantidad de agua dulce para abastecer dicha demanda (Montero Contreras, 2016). Por lo tanto, el agua se ha transformado en un recurso económico negociable de alto valor.

El valor y el costo que tiene el agua han ido incrementando con el aumento de la población, en algunas regiones cuesta más un litro de agua embotellada que un litro de gasolina (Mirre, 2004). Por ese motivo en algunos lugares las descargas de los ríos

ya no llegan con la misma magnitud hacia los océanos, esto se debe principalmente a que existen plantas purificadoras de agua y embotelladoras que aprovechan este recurso y, por ende, extraen el agua directamente de los ríos para abastecer este mercado (Avenida-Álvarez *et al.*, 2017; Salas-Monreal *et al.*, 2020a,b).

Esta disminución, afecta de manera directa a las especies que habitan en la plataforma continental, debido a que se modifica la cantidad de nutrientes y agua dulce o salobre necesaria para el desarrollo de algunos organismos. Dentro de los organismos que se localizan en latitudes tropicales dentro de la plataforma continental, se encuentran los arrecifes de coral, uno de los principales motivos por los que se propone el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM). Los arrecifes de coral solo forman el 2 % de la cobertura total de los océanos, pero cuentan con la mayor diversidad de organismos por metro cuadrado que existe en los océanos (Chacón-Gómez *et al.*, 2013).

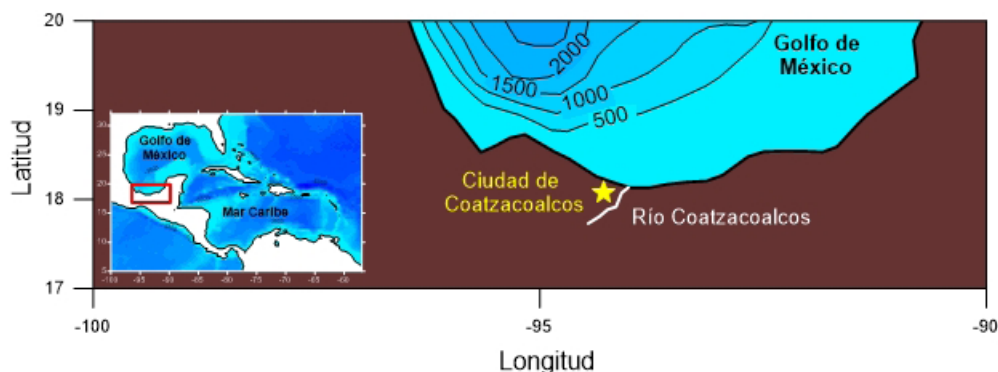
El estudio de la variación de las descargas de los ríos, no solo se ha enfocado en cuestiones sociales, como la construcción de presas o la extracción para consumo humano de forma directa o indirecta, sino que algunos estudios realizados en Estados Unidos de América, Canadá, Japón, China, Australia y Argentina, entre otros (Baumgartner & Reichel, 1975; Dai & Trenberth, 2002; Twilley, 2006), se han enfocado en estudiar los cambios naturales que generan dichas variaciones. En la actualidad se sabe que la mayoría de dichas variaciones naturales tienen una oscilación a bajas frecuencias, es decir una variación interanual, la cual es generada por

los ciclos naturales a lo largo del año, como la temporada de lluvias y secas, relacionadas con los fenómenos atmosféricos a escala mundial.

Durante la temporada de lluvias, siempre existe un pico máximo y uno mínimo. Estos picos se ven afectados por los movimientos de altas y bajas presiones atmosféricas a nivel mundial. En el golfo de México, donde se localiza el CASGM, la temporada de lluvias está centrada en el mes de septiembre (Avenidaño-Álvarez *et al.*, 2019), por lo que este mes debería de ser el que cuente con una mayor descarga de agua dulce y nutrientes del continente hacia el mar.

En México, casi todos los ríos cuentan con una estación hidrográfica en algún punto de su cuenca, lo cual permite estimar la cantidad de agua dulce que llegaría a la desembocadura de los ríos, como una medida indirecta de las precipitaciones (Maurer *et al.*, 2004). De esta forma, las descargas de los ríos pueden servir como índices de la variabilidad interanual hidroclimática a escala

regional. En el caso del CASGM, hay dos cosas que se deben considerar respecto a las descargas de los ríos, la primera es la cantidad de agua dulce que llega a la desembocadura de la cuenca, esto debido a la variación en la cantidad de nutrientes y la disminución en la salinidad que se va a generar por el incremento de dichas descargas y la segunda es conocer el alcance de dichas descargas, esto es, la distancia a la que llegaría la pluma del río desde su desembocadura (Salas-Monreal *et al.*, 2022; 2023). Existen varios ríos que desembocan en el CASGM, en este capítulo, se trata el río Coatzacoalcos (figura 1), ya que es uno de los ríos que afecta la parte sur del corredor, una de las áreas menos estudiadas del CASGM y además es uno de los ríos más caudalosos de esa zona. Por ese motivo, el objetivo principal de este capítulo es analizar las variaciones anuales y decadales del río Coatzacoalcos, y estimar la distancia a la que se podría localizar su influencia de forma teórica.



**Figura 1.** Ubicación del río Coatzacoalcos dentro del golfo de México.

## Métodos

Los datos de las descargas del río Coatzacoalcos se obtuvieron mediante la serie llamada “BANDAS”, administrada por la Comisión Nacional del Agua (CNA). Dicha serie se obtuvo desde enero del 1982, hasta noviembre del 2013, contando con aproximadamente 31 años de datos. Los datos diarios del volumen por unidad de tiempo, o gasto en  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , se filtraron usando un filtro móvil o corrido con una ventana de cinco días (Thomson & Emery, 2014), esto con la finalidad de poder apreciar con mayor claridad las variaciones interanuales y anuales. Se usaron cinco días debido a que los fenómenos de alta frecuencia como los nortes (vientos intensos del norte) y suradas (vientos intensos del sur), están asociados a altas y bajas presiones (asociados con las lluvias) y tienen una duración promedio de cuatro días (Salas-Pérez *et al.*, 2022). De esta manera se elimina el ruido blanco de los datos y se pierde la menor información posible (Thomson & Emery, 2014).

Los huecos en los datos que se tienen en esta serie se rellenaron de forma lineal cuando dichos huecos fueron menores a cinco días, mientras que, si existieron huecos mayores a cinco días, éstos fueron rellenados con el mejor ajuste posible, ya sea con una ecuación polinomial, exponencial o logarítmica. Para determinar el mejor ajuste o ecuación, se usaron los datos anteriores y posteriores a aquellos huecos que se quieren rellenar, usando dos veces la cantidad de datos que se quieren rellenar antes y después del hueco. Como ejemplo, si se tiene un hueco de siete días, se usaron 14 datos anteriores al hueco y 14 datos posteriores al hueco para hacer el

ajuste. Para el ajuste, se determinó el coeficiente de determinación para cada uno de los modelos estadísticos y se usó aquel con el mayor coeficiente.

Los datos fueron rellenados apegándose a las curvas obtenidas. Solamente se conservaron los huecos en el caso de que dichos ajustes o coeficientes de determinación ( $r^2$ ) fuesen menor a 0.5. Finalmente, con la serie de los datos diarios de los 31 años sin rellenar (serie original), se realizó un promedio para obtener la variación anual del río durante ese periodo, esto es, obtener el promedio diario durante los 31 años con los datos existentes, esto nos sirve para poder determinar los meses de mayor y menor descarga de agua dulce hacia el mar.

Adicionalmente, se usó la ecuación del radio de curvatura para poder obtener la distancia de influencia de la pluma del río Coatzacoalcos dentro del CASGM (Liaño-Carrera *et al.*, 2019). En este caso se debe asumir que no existe viento y que las descargas del río son lo suficientemente fuertes como para dominar sobre los procesos advectivos costeros. De lo contrario, en caso de existir viento o corrientes costeras intensas, la pluma del río Coatzacoalcos podría verse afectada por estas fuerzas externas, llegando a una mayor o menor distancia de lo calculado con esta ecuación. Por ejemplo, si se cuenta con viento o corrientes costeras intensas, las cuales tengan una componente principal del este (oeste), entonces, se esperaría que la influencia de la pluma del río sea menor (mayor) a la calculada aquí.

La ecuación del radio de curvatura ( $r$ ) es el consciente entre la velocidad superficial del

río ( $U$ ) en la parte media de su desembocadura, sobre la frecuencia de Coriolis ( $f$ ), la cual se puede calcular como  $2\Omega\sin(\alpha)$ , donde  $\alpha$  es la latitud de la desembocadura

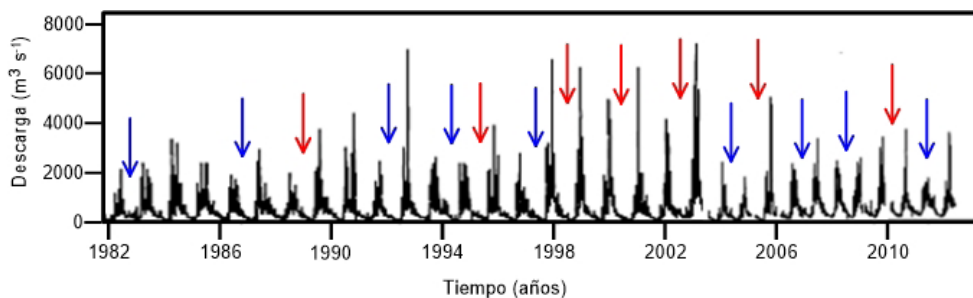
del río y  $\Omega$  es la velocidad de rotación de la tierra. En este caso  $\alpha$  fue considerada como  $18^\circ 09' 46''$  N o  $18.1677^\circ$  N y  $\Omega$  como  $1,670$  km/h o  $7.27 \times 10^{-5}$  rad/s.

## Resultados

Las descargas del río Coatzacoalcos han ido variando a lo largo del tiempo (figura 2); sin embargo, no se puede decir que la disminución en sus descargas se deba exclusivamente al incremento poblacional, como se puede ver, de 1982 a 1988 aproximadamente, las descargas fueron similares al periodo de 1994 a 1997 y del 2006 en adelante. Se puede notar como existe una disminución en el 2004 y 2005, esto se debe a un fenómeno natural, ya que la construcción de presas y la extracción de agua potable desde su origen en la sierra Atravesada o sierra de Niltepec en Oaxaca (México) hasta la desembocadura del río (Hendricks, 1984; Ruíz & Tomás, 1985; Maza-Álvarez, 2004), han tenido variaciones mínimas desde los años 90s, ya que el río Coatzacoalcos cuenta con dos presas construidas anteriores a esta fecha.

El río Coatzacoalcos cuenta con descargas mayores a los  $7,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1993 y el 2003. En el periodo de 1998 al 2002, también se contaron con descargas cercanas a los  $7,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , siendo este el periodo con la mayor cantidad de descargas observado. Finalmente, para el resto de los años, los picos en las descargas fueron de aproximadamente  $4,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , con un mínimo en sus descargas durante la temporada de lluvias, relacionado con la canícula (Valdéz *et al.*, 2005; Jiménez-Pérez, 2020).

Las variaciones de las lluvias en la parte central del país se pueden asociar a fenómenos como El Niño y La Niña; en este caso, entre 1982 a 1983 y 1997 a 1998, se reportó un evento Niño intenso, mientras que entre los años 1986 a 1988, 1990 a 1993, 1994 a 1995, 2002 a 2003, 2004 a 2005, 2006 a



**Figura 2.** Descarga del río Coatzacoalcos desde 1982 hasta el 2013. El color azul representa los eventos de El Niño, mientras que el color rojo representa los eventos de La Niña.

2007 y 2009 a 2010, se reportaron eventos Niño moderados. Para el caso de La Niña, se reportaron eventos moderadas entre 1984 a 1985, 1988 a 1989, 1995 a 1996, 1998 a 1999, 2005 a 2006, 2007 a 2008, 2008 a 2009, 2010 a 2012, mientras que solo se reportó un evento Niña intenso de 2000 a 2001.

En este caso se puede observar cómo, con eventos Niño intensos, las descargas del río Coatzacoalcos disminuyeron, mientras que con un evento Niña intenso, las descargas del río aumentaron. De igual manera, cuando se observaron eventos Niño moderados, se puede ver una disminución en las descargas del río Coatzacoalcos, mientras que con eventos moderados de La Niña, también se puede observar un incremento en sus descargas.

Usando los datos obtenidos, de 1982 al 2013, se hicieron promedios diarios con el objetivo de ver la variación de la descarga del río Coatzacoalcos a lo largo de un año (figura 3).

Como se observa existe un pico en septiembre, con una descarga promedio aproximada a los  $4,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Se cuenta con un mínimo en el mes de mayo, con descargas menores a los  $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Entre el mes de julio y agosto (temporada de lluvias) se puede observar una disminución de la descarga del río; ésta, se debe al efecto de la canícula, la cual produce un descenso en las descargas del río durante la temporada de lluvias. Como se observa aquí, las mayores descargas del río se dan de junio a noviembre.

Usando la ecuación del radio de curvatura con los datos obtenidos en la figura 3 y si-

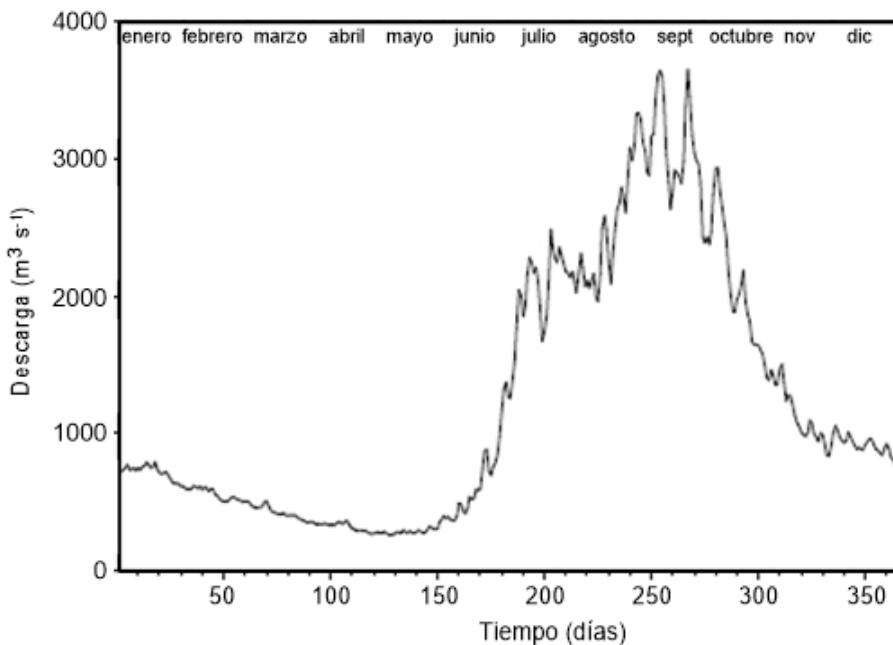


Figura 3. Promedio diario de las descargas del río Coatzacoalcos desde 1982 hasta el 2013.

guiendo la metodología de Salas-Monreal *et al.* (2022, 2023) se puede ver que las descargas del río Coatzacoalcos deben variar entre los ~5.5 km durante la temporada de secas o mes de mayo hasta aproximadamente los 66 km durante el mes de septiembre. Esto es obtenido de forma teórica, asumiendo que no existe viento fuerte o corrientes costeras fuertes, que puedan modificar la dirección de la corriente del río. En ese caso, esta distancia puede cambiar dependiendo de la dirección y magnitud del viento.

Por ejemplo, si se cuenta con vientos intensos del sur o suradas, éstas van a incrementar la distancia calculada aquí para los

meses de abril a agosto, llegando a mayores latitudes, mientras que, si se cuenta con vientos intenso del norte o nortes, éstos van a incrementar esta distancia entre los meses de septiembre a marzo. Sin embargo, de forma general se puede ver cómo, durante el periodo de agosto a octubre, las descargas del río podrían llegar hasta la desembocadura del río Olapa en el municipio de Mecayapan, Veracruz (México), localizado a 68 km de distancia hacia el norte del río Coatzacoalcos. En este lugar se localizan varios arrecifes de coral, los cuales pueden verse beneficiados o perjudicados por las descargas del río Coatzacoalcos.

## Discusión

Con el crecimiento poblacional y el cambio climático se va a ir reduciendo la cantidad de agua dulce que llegue a la desembocadura de los ríos. Esto es perjudicial para organismos que dependen de la disminución de la salinidad, dentro de estuarios o bocas de los ríos, durante algunas de sus etapas de crecimiento.

Por otro lado, una parte de los nutrientes llega al océano gracias a las descargas de los ríos (Miltner & Rankin, 1998), lo cual favorece que la plataforma continental sea altamente productiva en la desembocadura de los ríos. Esto hace que sea importante conservar un ciclo preestablecido en las descargas de los ríos, de forma que no se afecte drásticamente a los diversos ecosistemas que dependen de ellos. Por ejemplo, cuando se retienen los nutrientes en la parte alta de las cuencas de los ríos, éstos se ven reflejados con una disminución en la producción en

las partes bajas de los mismos (Kronvang *et al.*, 1999; Ibáñez & Peñuelas, 2019).

La mayor descarga de los ríos hacia el mar debe coincidir con la temporada de lluvias de forma general. En México la temporada de lluvias se da principalmente durante la primavera-verano (Englehart & Douglas, 2002; Vega *et al.*, 2023); sin embargo, este patrón puede cambiar dependiendo de diferentes factores de mesoescala o escala mundial, como los fenómeno de El Niño y La Niña (Magaña *et al.*, 2003; Pavia *et al.*, 2006). En este caso se puede ver como al moverse longitudinalmente las Celdas de Hadley, como lo descrito por Oort & Yienger (1996) y Wang (2002), esto puede generar mayores o menores precipitaciones en algunos lugares específicos (Poblete *et al.*, 2015; Poblete & Minetti, 2015).

En el caso del río Coatzacoalcos se puede observar como el corrimiento de las zonas

de lluvia (Wang, 2002), propicia una disminución en las descargas del río durante El Niño y un aumento durante La Niña, lo cual produce oscilaciones que van entre los cuatro a siete años. Estas oscilaciones, aunadas a la extracción de agua para consumo directo e indirecto, así como la construcción de presas hacen que, con el paso de los años, la cantidad de agua dulce que llega a la desembocadura de los ríos sea mucho menor a la esperada. Finalmente, el mayor aprovechamiento de los nutrientes por los organismos que viven dentro de los estuarios y desembocaduras de los ríos se dan de junio a noviembre (primavera-verano), ya que es en esta temporada cuando existen mayores descargas de los ríos hacia el golfo de México (Riverón-Enzástiga, 2008).

El río Coatzacoalcos también se comporta de esta manera, por lo que si se reducen las descargas en esa temporada, también sería de esperarse que la cantidad de nutrientes, así como las condiciones ambientales (temperatura y salinidad) de los estuarios, ríos y de la plataforma continental, hasta una distancia de aproximadamente 66 km desde su desembocadura, también cambien, produciendo cambios en los parámetros ecológicos de la zona que, posiblemente, modifiquen la abundancia de las especies que ahí se encuentran.

No obstante, para en el río Coatzacoalcos no se puede apreciar una drástica disminución durante el periodo de 1982 al 2013; esta variación está más asociada con los fenómenos de El Niño y La Niña que a una posible reducción por consumo humano. Esto se puede ver ya que las variaciones en la descarga y el gasto de agua anteriores a 1993, son menores a lo observado del 2003 a la fecha, aun con el incremento poblacional.

La distancia a la que se observan los efectos de los ríos depende tanto de la intensidad de la descarga del río (Liaño-Carrera *et al.*, 2019), como de la magnitud y dirección del viento (Salas-Pérez *et al.*, 2023). Por ello, al no cambiar la velocidad (magnitud y dirección) del viento en tiempos relativamente cortos (menores a cinco años), lo único que puede cambiar la influencia del río hacia mar abierto, es la intensidad de la descarga de los ríos.

Con base en lo antes expuesto, es importante que siempre que se planee retener agua dulce en cualquier parte de la cuenca de un río, se realicen estudios ecológicos que permitan ver las consecuencias de reducir la magnitud de dichas descargas. De esta manera se evitará perjudicar a los ecosistemas aledaños a las desembocaduras de los ríos por la reducción de los nutrientes.

## Conclusiones

Usando los datos de las descargas del río Coatzacoalcos de 1982 al 2013, se aprecia que éstas no se han visto afectadas de forma considerable por el incremento poblacional, como se puede ver en el gasto de agua ante-

rior a 1993 y posterior al 2003, donde aun con un incremento poblacional, dichas descargas no disminuyen en la misma proporción que el aumento poblacional.

El río Coatzacoalcos cuenta con un periodo de mayor descarga de junio a noviembre, alcanzando picos promedio de  $4,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , con una disminución entre el mes de julio y agosto, debido al efecto de la canícula.

Cuando se presenta el fenómeno de La Niña, las descargas del río Coatzacoalcos se incrementan y pueden alcanzar hasta los

$7,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . No obstante, de forma contraria, durante los eventos de El Niño se produce una reducción en las descargas de dicho río.

La influencia de la descarga del río Coatzacoalcos sobre la plataforma continental puede variar desde 5.5 km, durante la temporada de secas, hasta 66 km, durante la temporada de lluvias.

## Literatura citada

- Avendaño-Álvarez, O., D. Salas-Monreal, A. Anis, D. Salas-de-León, & A. Monreal-Gómez, 2019. Monthly surface hydrographical variability in a coral reef system under the influence of river discharges. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 222:53-65.
- Avendaño-Álvarez, O., D. Salas-Monreal, M. Marín-Hernández, D. Salas-de-León, & A. Monreal-Gómez, 2017. Annual hydrological variation and hypoxic zone in a tropical coral reef system. *Regional Studies in Marine Science*, 9:145-155.
- Azuz-Adeath, I., & E. Rivera-Arriaga, 2007. Estimación del crecimiento poblacional para los estados costeros de México. *Papeles de Población*, 13(51):187-211.
- Baumgartner, A. & E. Reichel, 1975. The world water balance. Elsevier, New York, 179 pp.
- Chacón-Gómez, I., D. Salas-Monreal, & M. Riverón-Enzástiga, 2013. Current pattern and coral larval dispersion in a tropical coral reef system. *Continental Shelf Research*, 68:23-32.
- Dai, A. & K. Trenberth, 2002. Estimates of freshwater discharges from continents: Latitudinal and seasonal variations. *Journal of Hydro-meteorology*, 3:660-687.
- Englehart, P. & A. Douglas, 2002. Mexico's summer rainfall patterns: an analysis of regional modes and changes in their teleconnectivity. *Atmósfera*, 15(3):147-164.
- Hendricks, D., 1984. Impacto de las represas en la calidad del agua. Las represas y sus efectos sobre la salud, 71-88.
- Ibáñez, C., & J. Peñuelas, 2019. Changing nutrients, changing rivers. *Science*, 365(6454):637-638.
- Jiménez-Pérez, S., 2020. El fenómeno de la canícula asociado a eventos convectivos. Tesis de Maestría en Geociencias Aplicadas. IPICYT. 102 pp.
- Kronvang, B., C. Hoffmann, L. Svendsen, J. Windolf, J. Jensen, & J. Dørgé, 1999. Retention of nutrients in river basins. *Aquatic Ecology*, 33:29-40.
- Liaño-Carrera, F., T. Camarena-Luhrs, A. Gómez-Barrero, J. Martos-Fernández, I. Ramírez-Macias, & D. Salas-Monreal, 2019. New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(2):270-281.
- Maurer, E., D. Lettenmaier & N. Mantua, 2004. Variability and potential sources of predictability of North American runoff. *Water Resources Research*, 40:W09306. doi:10.1029/2003WR002798
- Magaña, V., J. Vázquez, J.L. Pérez, & J. Pérez, 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3):313-330.

- Maza-Álvarez, J., 2004. La necesidad de construir presas. *Ingeniería del Agua*, 11(4):445-454.
- Miltner, R. & A. Rankin, 1998. Primary nutrients and the biotic integrity of rivers and streams. *Freshwater Biology*, 40(1):145-158.
- Mirre, J., 2004. Oro líquido. *Quo*, 79:66-67.
- Montero-Contreras, D., 2016. El consumo de agua embotellada en la ciudad de México desde una perspectiva institucional. *Agua y Territorio / Water & Landscape*, (7):35-49.
- Oort, A. & J. Yienger, 1996. Observed interannual variability in the Hadley circulation and its connection to ENSO. *Journal of Climate*, 2751-2767.
- Pavia, E., F. Graef & J. Reyes, 2006. PDO-ENSO effects on the climate of Mexico. *Journal of Climate*, 19(24):6433-6438.
- Poblete, A., J. Minetti, & C. Borbore, 2015. Posible impacto de la activación de la celda de Hadley en la actual sequía en los Andes Áridos. *Revista Universitaria de Geografía*, 24(1):85-97.
- Poblete, A. & J. Minetti, 2015. Propuesta de un índice de sequía para valuar la posible expansión de la celda de Hadley y su relación con la crisis hídrica de las regiones subtropicales del hemisferio sur. *Geográfica Digital*, 12(24):1-17.
- Riverón-Enzástiga, M., 2008. Análisis de la variabilidad de las descargas de agua de los principales ríos del sur de la cuenca hidrográfica del Golfo de México. Ciudad de México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. 98 pp.
- Ruiz, J. & J. Tomás, 1985. Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, (11):91-102.
- Salas-Monreal, D., A. Díaz-Hernández, J. Aké-Castillo, A. Granados-Barba, & M. Riverón-Enzástiga, 2020a. Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México): hidrografía del río Jamapa. *Intropica*, 59-65.
- Salas-Monreal, D., M. Riverón-Enzástiga, J.J. Salas-Pérez, R. Bernal-Ramírez, M. Marín-Hernández & A. Granados-Barba, 2020b. Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 235:106562.
- Salas-Monreal, D., R. Monreal-Jiménez, V. Contreras-Tereza, A. Monreal-Gómez, D. Salas de León & M. Riverón-Enzástiga, 2022. Hydrographic variation in a tropical coral reef system: The Veracruz Reef System, Gulf of Mexico. *Oceanologia*, 64(3):473-488.
- Salas-Monreal, D., O. Avendaño-Álvarez, J.J. Salas-Pérez, & M. Marín-Hernández, 2023. Surface flow modulation by river discharges in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 286:108339.
- Salas-Pérez, J.J., D. Salas-Monreal & G. Jordán-Garza, 2022. Influence of itinerant high and low-pressure systems on the oceanographic variables of the central region of the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. ESS Open Archive eprints, 105:essoar-10511171.
- Salas Pérez, J.J., D. Salas-Monreal, G. Jordán-Garza, & F. Lehovc, 2023. Satellite features of river plumes over the Lobos-Tuxpan reef system. *Journal of Oceanography*, 79(4):395-411.
- Thomson, R. & W. Emery, 2014. Data analysis methods in physical oceanography. Newnes.
- Twilley, R. 2006. The Gulf Coast's most precious resource: freshwater. In: Selected findings from confronting climate changes in the Gulf Coast region. [http://www.UCSUSA.org/assets/documents/global\\_warning/ACF-ZAYvUL.pdf](http://www.UCSUSA.org/assets/documents/global_warning/ACF-ZAYvUL.pdf)
- Valdés, A., M. Cortez, & J. Francisco, 2005. Un estudio explorativo de los Sistemas Convectivos de Mesoescala de México. *Investigaciones Geográficas*, (56):214.

- Vega-Camarena, J., L. Brito-Castillo, L. Pineda-Martínez & L. Farfán, 2023) ENSO impact on summer precipitation and moisture fluxes over the Mexican Altiplano. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5):1083.
- Wang, C., 2002. Atmospheric circulation cells associated with the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Climate*, 15(4):399-419.