

# Corrientes superficiales dentro del corredor arrecifal del Suroeste del Golfo de México

David Salas Monreal<sup>1</sup> - José de Jesús SalasPérez<sup>2</sup> - David Alberto Salas de León<sup>3</sup> -  
María Adela Monreal Gómez<sup>3</sup> - Horacio Pérez España<sup>1</sup> -  
Leonardo Dagoberto Ortiz Lozano<sup>1</sup> - Alejandro Granados Barba<sup>1</sup> -  
Mayra Lorena Riverón Enzástiga<sup>4</sup> - Carmen Amelia Villegas Sánchez<sup>5</sup>

## RESUMEN

Frente a las costas del estado de Veracruz (México) se conoce la ubicación de grandes agrupaciones de arrecifes de coral conocidos como el “Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”, el “Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” y el “Sistema Arrecifal de los Tuxtlas”, las cuales cuentan con numerosas estructuras individuales de más de 1 kilómetro de largo en su eje mayor. Estos grupos de arrecifes de coral se han estudiado desde un punto de vista multidisciplinario con la finalidad de encontrar una relación entre ellos. El reto actual sobre el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México es determinar desde las diferentes disciplinas cómo se da esta conectividad. Dado lo anterior en este estudio se usó el modelo “Regional Ocean Model System” (ROMS) para describir las corrientes marinas superficiales y estimar el tiempo de traslado de una larva o huevo de 5 mm entre los distintos sistemas arrecifales. Mediante los resultados obtenidos aquí se puede observar que la conectividad entre los tres sistemas arrecifales es clara durante la temporada de nortes, pero durante la temporada de suradas solo existe una conectividad entre los dos sistemas arrecifales del norte, dejando al Sistema Arrecifal de los Tuxtlas sin una conexión aparente con los otros dos sistemas.

## ABSTRACT

In the state of Veracruz (México) the location of large clusters of reefs is well known, which generally have individual structures of more than 1 kilometer in its major axis. Those reefs have been studied from an interdisciplinary point of view and are currently known as the “Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”, “Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” and “Sistema Arrecifal de los Tuxtlas”. However those reef systems cannot be “islands” within the continental shelf, this is why in recent times some researchers have been given the task to study the connectivity that must exist between them. As a result of their studies, they have discovered that among the reef groups above mentioned there are isolated reefs that allow the presence of a reef runner. Given the above, the Regional Ocean Model System (ROMS) model was used to describe the surface currents and to estimate the time of transfer of a larva or egg of 5 mm between the different reef systems. The results obtained here show that the connectivity between the three reef systems is clear during the northern season, but during the southern season the connectivity is only evident between the two northern reef systems, leaving the Tuxtlas Reef System without apparent connectivity with the other two systems.

- 1 Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. David Salas-Monreal davsalas@uv.mx
- 2 Facultad de Ciencias Biológicas Agropecuarias, Universidad Veracruzana.
- 3 Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- 4 Science Department, Noordwijk International College, Veracruz.
- 5 Instituto Tecnológico de Chetumal.

## 1. Introducción

Actualmente, los sistemas arrecifales enfrentan problemas asociados al cambio global y a la contaminación, como son el blanqueamiento, enfermedades y la acidificación de los océanos (Chacón-Gómez et al., 2013); estas áreas marinas proveen de bienes y servicios ambientales o ecosistémicos que han sido aprovechados por la población costera a lo largo del tiempo (Moberg y Folke, 1999). En efecto, los arrecifes de coral mantienen la biodiversidad, brindan refugio a especies durante su etapa larval o reproductiva, y protegen al ser humano de fenómenos naturales como huracanes y tormentas tropicales que afectan las costas y su infraestructura. A pesar de ello, en algunos lugares, los arrecifes se están recuperando del daño antropogénico causado el siglo pasado y lo que va del siglo actual (Manzello et al., 2014); por ello, es prioritario estudiar los sistemas arrecifales y los factores bióticos y abióticos que los afectan, como ha sido el caso de los arrecifes localizados frente a las costas veracruzanas (México).

El estado de Veracruz cuenta con un amplio litoral costero, dentro del cual se localizan tres áreas marinas de gran importancia ecológica y social (Figura 1). Estos tres sistemas arrecifales no se encuentran aislados dentro de la plataforma continental, ya que, cuentan con una conectividad debida a las corrientes marinas (Riverón-Enzástiga et al., 2016). En la costa occidental del Golfo de México las corrientes marinas se mueven generalmente en la misma dirección del viento, es por ello que durante la temporada de nortes las corrientes se mueven de norte a sur y durante la temporada de suradas las corrientes se mueven de sur a norte (Salas-Monreal et al., 2009), propiciando de esta manera un intercambio entre las diferentes poblaciones que habitan en tales sistemas arrecifales.

Los tres grandes agrupamientos de arrecifes de coral localizados frente a las costas del estado de Veracruz son; 1) el “Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano” (PNSAV), 2) el “Área de Protección de Flora y Fauna Sistema

Arrecifal Lobos-Tuxpan” (SALT) y 3) el “Sistema Arrecifal de los Tuxtles” (SAT), mismos que se ubican a una distancia menor a los 30 km de la costa dentro de la plataforma continental (Jordán-Garza et al., 2017). Dichos arrecifes cuentan con diferencias morfológicas debidas entre otras razones, a su turbidez (i.e. la distancia con respecto a las desembocaduras de los ríos), el tipo de arrecife, la profundidad a la que se localizan, la distancia con relación a las zonas urbanas, etc. Todos estos factores hacen que la turbidez a la que se encuentran sometidos dichos arrecifes sea diferente y que la salud de los mismos, por ende, también sea diferente. Actualmente se han realizado estudios en el PNSAV con la finalidad de tener un diagnóstico del estado de salud de este sistema (Gutiérrez-Ruiz et al., 2011), sin embargo la relación genética que existe entre dichos sistemas (Villegas-Sánchez et al., 2013) y la relación entre los componentes bióticos que existen entre estos sistemas arrecifales es aun escasa. Debido a lo anterior se realizó este estudio con la finalidad de incrementar el conocimiento de la conectividad entre los sistemas arrecifales que se encuentran frente a las costas veracruzanas, de esta manera se estudiaron los patrones de corrientes superficiales, sugiriendo por primera vez la posible conectividad que existe entre dichos agrupamientos arrecifales desde un punto de vista hidrodinámico.

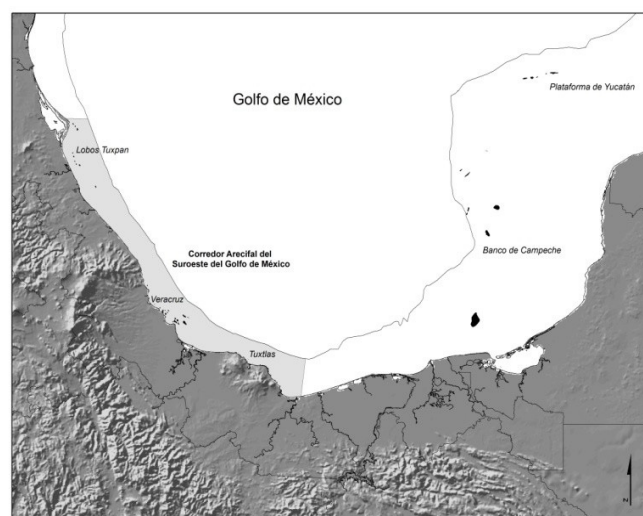


Figura 1. Localización de los tres sistemas arrecifales frente a las costas veracruzanas.

## 2. Metodología

Con la finalidad de describir la dinámica de las corrientes marinas superficiales, para determinar el rol que pueden tener en la conectividad ecológica de los diferentes sistemas arrecifales, se usó el modelo "Regional Ocean Model System" (ROMS) para describir las corrientes marinas en la zona de estudio y estimar el tiempo de traslado de una larva o huevo de 5 mm cuyos orígenes se localizan en el centro de cada uno de los tres sistemas arrecifales. Con esta información se pretende dar un primer diagnóstico sobre la dirección en que operan las corrientes costeras y la factibilidad de que las larvas de corales o de cualquier otro taxón que haya desovado en uno de estos sistemas pueda llegar al siguiente sistema sin necesidad de contar con un punto intermedio que sirva como "pivote" para estas larvas.

En este estudio el modelo oceanográfico ROMS fue diseñado siguiendo la configuración básica propuesta en Salas-Monreal et al. (2009) con el fin de describir el efecto del viento en la plataforma continental veracruzana. El modelo se configuró para el dominio mostrado en la Figura 2 y 3. En las bocas de los ríos (agua dulce) se supuso que la salinidad era cero y la temperatura era igual a 15 °C. Las velocidades de los ríos se fijaron en 0.50 y 1 m s<sup>-1</sup> dependiendo del caudal de cada río, éstos son valores representativos para la mayoría de los ríos del estado de Veracruz (Riverón-Enzástiga et al., 2016). Las elevaciones de la superficie del mar (marea), usadas para forzar el modelo, se obtuvieron de la estación del sistema mareográfico nacional. La temperatura inicial del océano y la salinidad se establecieron de acuerdo a las imágenes satelitales proporcionadas por la "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA). Las velocidades del agua en cada punto se registraron a intervalos de 0.5 horas después de que el modelo alcanzara la estabilidad. Usando las salidas de este modelo se graficó el patrón de corrientes en cada punto del modelo, así como el vector traza o la trayectoria que seguirían las partículas que salieran del centro de cada uno de los tres sistemas arrecifales. Final-

mente usando estos datos se calculó el tiempo que tardarían las larvas o huevos de 5 mm en llegar de un sistema arrecifal a otro debido al transporte producido por las corrientes marinas.

## 3. Resultados y discusiones

Como se puede observar con el patrón de corrientes obtenidos para el mes de agosto (suradas) del 2016, se muestra la existencia de un giro anticiclónico (movimiento del agua en el sentido de las manecillas del reloj) frente a los arrecifes SALT, esto puede favorecer que las partículas suspendidas (huevos, larvas, contaminantes o trazadores) provenientes de la zona arrecifal del PNSAV se concentren en esa parte (frente al SALT) y que la mayoría de las larvas de coral (huevos, trazadores o contaminantes) converjan en el SALT. Sin embargo en la zona sur del área de estudio, en la parte localizada entre los arrecifes SAT y los arrecifes del PNSAV se localiza un área divergente, misma que impediría el intercambio de larvas entre dichos sistemas. Esta zona de divergencia es debida al giro de Campeche (Salas-Pérez et al., 2012), el cual produce una "barrera" natural entre ambos sistemas (PNSAV y SAT) en esta temporada, evitando el flujo de larvas y por ende la conectividad entre dichos sistemas para esta temporada. El giro de Campeche aunque evita la conectividad en el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México en esta temporada debería favorecer el intercambio de larvas entre el sistema arrecifal SAT y los arrecifes del banco de Campeche y del Mar Caribe. Mientras que el patrón de corrientes observados para el mes de octubre (temporada de nortes) del 2016 (Figura 2), muestra que las corrientes se mueven de norte a sur, propiciando el intercambio de partículas suspendidas en el agua (contaminantes, trazadores, huevos o larvas) desde los arrecifes SALT hasta los arrecifes SAT pasando por la zona arrecifal del PNSAV sin interrupciones aparentes.

Los vectores traza obtenidos mediante el patrón de corrientes (i.e. las trayectorias que se-

guirían las partículas suspendidas en la columna de agua) confirman una conectividad entre los tres sistemas arrecifes durante el mes de octubre (temporada de nortes), mientras que para el mes de agosto (temporada de suradas) no existiría una conexión entre el SAT y los arrecifes del PNSAV y el SALT. Mediante esta información se calculó el tiempo que tomarían las larvas o huevos de 5 mm en llegar del sistema arrecifal SALT al sistema arrecifal PNSAV, y de este último al sistema areccifal SAT. Los resultados muestran que las larvas o huevos tardarían alrededor de 15 días en llegar del PNSAV al SALT durante el mes de agosto del 2016, mientras que no existiría una conexión entre estos dos sistemas con el SAT. Para el mes de octubre del 2016 las larvas o huevos tardarían alrededor de 17 días en llegar del SALT al PNSAV y aproximadamente 8 días para llegar de este último al SAT.

En la actualidad no está clara la forma en que se conectan los tres sistemas arrecifales, sin embargo es un hecho que la dirección de las corrientes cambia dependiendo de la dirección del viento (suradas y nortes), lo cual implica que existe un cambio en la dirección de la conectividad entre las tres zonas arrecifes. Debido al patrón de corrientes la conectividad entre el sistema arrecifal SALT y el sistema arrecifal PNSAV es evidente durante todo el año, cambiando de dirección dependiendo de la temporada del año. Por otro lado la conectividad entre estos dos sistemas arrecifales y el sistema arrecifal SAT no es tan evidente desde un punto de vista hidrodinámico, ya que durante la temporada de suradas el patrón de corrientes no permite tal conexión.

Finalmente, asumiendo la magnitud de la corriente obtenida en cada punto de la malla del patrón de corrientes (Figura 2) con las direcciones obtenidas mediante los vectores traza (Figura 3), y asumiendo que las larvas o los huevos no sean comidos o mueran en el trayecto de un sistema arrecifal a otro, estos organismos deben ser capaces de llegar de extremo a extremo de los tres sistemas arrecifales (SALT-PNSAV-SAT) en un tiempo promedio de 25 días durante la temporada de nortes (octubre del 2016).

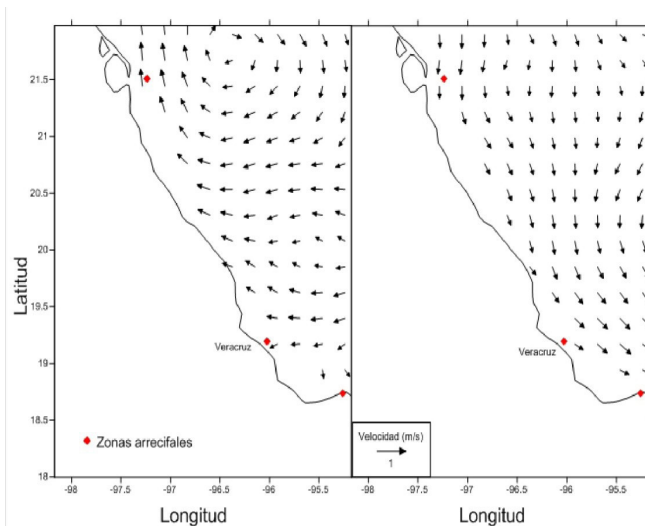


Figura 2. Patrón de corrientes para el mes de agosto (panel izquierdo) y octubre (panel derecho) del 2016.

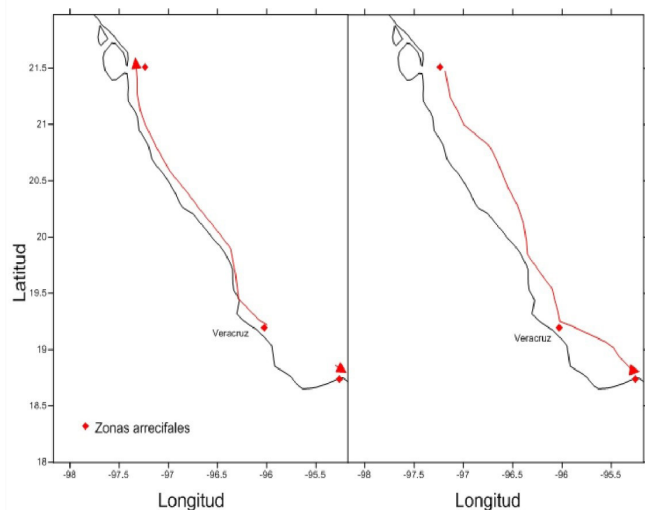


Figura 3. Vector traza para el mes de agosto (panel izquierdo) y octubre (panel derecho) del 2016.

#### 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una evidente conectividad durante la temporada de nortes entre las tres grandes agrupaciones de arrecifes de coral conocidos como el “Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”, el “Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” y el “Sistema Arrecifal de los Tuxtlas”, lo cual facilita que las larvas o huevos puedan desplazarse

de norte a sur en un tiempo aproximado de 25 días, sin embargo durante la temporada de su-  
 radas tal conectividad no es evidente, ya que el  
 patrón de corrientes solo favorece el intercam-  
 bio entre el Parque Nacional Sistema Arrecifal  
 Veracruzano y el Área de Protección de Flora y  
 Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, dejan-  
 do sin comunicación aparente a estos dos siste-  
 mas con el Sistema Arrecifal de los Tuxtlas. Por  
 ende desde un punto de vista hidrodinámico la  
 conectividad entre los tres sistemas arrecifales  
 no se da de forma permanente durante todo el  
 año. Esta es la primera vez que se describe la  
 conectividad entre estos tres sistemas arrecifa-  
 les desde un punto de vista hidrodinámico, sin  
 embargo es importante que este tipo de traba-  
 jos se siga realizando de forma inter y multidis-  
 ciplinaria para lograr un mejor entendimiento  
 de los diferentes fenómenos que influyen en la  
 salud de dichos sistemas arrecifales.

## 5. Agradecimientos

Al proyecto “Conectividad y funcionamiento de  
 comunidades arrecifales del Golfo de México y  
 Mar Caribe” SEP-CONACYT 169747, “Simula-  
 ción numérica de la interacción océano-atmos-  
 fera en el Golfo de México” ICMYL-UNAM-144,  
 “hidrodinámica del Golfo de México” IC-  
 MYL-UNAM-145, así como al proyecto “Bases  
 para el análisis y síntesis de los sistemas coste-  
 ros de Veracruz” dentro de la “Red para el aná-  
 lisis y síntesis de la zona costera veracruzana  
 del Golfo de México” por facilitar los datos para  
 este trabajo.

## Referencias

Chacon-Gomez I.C., Salas-Monreal D., y Riveron-Enzas-  
 tiga M.L. (2016). “Current pattern and coral larval dis-  
 persion in a tropical coral reef system” *Continental Shelf  
 Research*, 1:1-14.

Gutiérrez-Ruíz C.V., Román-Vives M.A.M, Vergara C.H.  
 y Badano E.I. (2011) “Impact of anthropogenic disturban-  
 ces on the diversity of shallow stony corals in the Ve-  
 racruz Reef System National Park”. *Revista Mexicana de  
 Biodiversidad*, 82:249-260.

Jordán-Garza A.G., González-Gándara C., Salas-Pérez  
 J.J., y Morales-Barragan, A.M. (2017). “Coral assembla-  
 ges are structured along a turbidity gradient on the Sou-  
 thwestern Gulf of Mexico, Veracruz.” *Continental Shelf  
 Research*, 138, 32-40.

Manzello D.P., Enochs I.C., Bruckner A., Renaud P.G.,  
 Kolodziej G., Budd D.A., Carlton R., y Glynn P.W. (2014).  
 “Galapagos coral reef persistence after ENSO warming  
 across an acidification gradient” *Geophysical Research  
 Letters*, 41: 9001-9008.

Moberg F., y Folke C. (1999) “Ecological goods and ser-  
 vices of coral reef ecosystems” *Ecological Economics*,  
 29:215-233.

Riverón-Enzástiga M.L., Carbajal N., y Salas-Monreal D.  
 (2016) “Tropical coral reef system hydrodynamics in the  
 western Gulf of Mexico” *Scientia Marina*, 80:1-10.

Salas-Monreal D., Salas-de-León D.A., Monreal-Gómez  
 M.A., y Riverón-Enzástiga M.L. (2009) “Current rectifi-  
 cation in a tropical coral reef system” *Coral Reefs*, 28:871-  
 879.

Salas-Pérez J.J., Salas-Monreal D., Monreal-Gómez  
 M.A., Riverón-Enzástiga M.L., y Llasat C. (2012) Seaso-  
 nal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and  
 currents in a tropical coral reef system” *Estuarine, Coastal  
 and Shelf Science*, 3:1-11.

Villegas-Sánchez C.A., Pérez-España H., Rivera-Madrid  
 R., Salas-Monreal D., y Arias-González E. (2013) “Subtle  
 genetic connectivity between mexican caribbean and  
 south western Gulf of Mexico reefs: The case of the bi-  
 color damselfish, *Stegastes partitus*” *Coral Reefs*, 30:1-13.