

Relación del giro ciclónico de la bahía de Campeche (México) sobre las capturas de *Scomberomorus maculatus*

Relationship of the cyclonic gyre of the Campeche (Mexico) on the captures of *Scomberomorus maculatus*

David Salas-Monreal,¹ Ayal Anis,² Gabriela Athié,³ Mayra Lorena Riverón-Enzastiga⁴
y Mark Marín-Hernández¹

¹ Universidad Veracruzana (UV), Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Ver. 94290, México. Email: davsalas@uv.mx

² Texas A&M University at Galveston, P.O. Box 1675, Texas, 77553, USA.

³ Catedra CONACYT-UV, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Ver. 94290, México.

⁴ Nordwijk International College. Boca del Río, Ver. 94290, México.

RESUMEN

Los giros ciclónicos son lugares donde se concentra una gran cantidad de partículas suspendidas en la columna de agua, entre ellas el fitoplancton que es una parte importante de la cadena trófica. En el sur del Golfo de México (GoM) la mayoría de la flota pesquera de altamar suele moverse entre sitios conocidos, debido a la concentración de organismos. Algunos de estos sitios se encuentran ubicados en el área de influencia del giro ciclónico de la bahía de Campeche. Usando datos de satélite de las corrientes geostróficas, se analizó la variación geográfica de la posición del giro de Campeche, con respecto a las zonas de pesca, para los meses de noviembre a febrero del 2014 al 2017. En el Golfo de México el pez sierra (*Scomberomorus maculatus* o *Spanish mackerel*), que por su captura se localiza en el treceavo lugar a nivel nacional en México, reporta la mayor captura en la zona de Campeche. Esta especie, al igual que otros organismos marinos del sur del GoM, aprovechan de manera indirecta los nutrientes aportados por el giro de Campeche, el cual se desplaza de acuerdo con las condiciones oceánicas y atmosféricas de mesoescala, de ahí la importancia de conocer su ubicación para las pesquerías, tanto de altamar como artesanales. Por tal motivo en este trabajo se pretende describir la relación que existe entre el giro de Campeche, el cual aporta una gran cantidad de nutrientes y la captura del pez sierra.

Palabras clave: Golfo de México, pesquerías, fitoplancton, variabilidad anual del giro de Campeche.

ABSTRACT

Cyclonic gyres are places where a large amount of suspended particles are concentrated, among them the phytoplankton, an important piece of the trophic chain. In the southern Gulf of Mexico (GoM) most of the fishing fleet usually goes to well-known sites. Those are sites where the organisms use to concentrate. Some of these sites are located in the area of influence of the cyclonic gyre of the Bay of Campeche. Using satellite data of the geostrophic currents, we analyzed the geographical variation of the position of the Campeche gyre, with respect to the fishing areas, for the months of November to February 2014 to 2017. In the Gulf of Mexico, the sawfish (*Scomberomorus maculatus* or *Spanish mackerel*), which due to its capture is located in the thirteenth place at a national level in Mexico, reports the highest capture in the Campeche area. This species, as well as other marine organisms from the south of GoM, indirectly take advantage of the nutrients provided by the Campeche gyre, which moves according to the oceanic and atmospheric conditions of the mesoscale, hence the importance of knowing its location for fisheries, both offshore and artisanal. For this reason, this paper aims to describe the relationship between the Campeche gyre, which provides a large amount of nutrients, and the capture of sawfish.

Keywords: Gulf of Mexico, fisheries, phytoplankton, annual variability of the Campeche gyre.

Recibido: 2/8/19

Revisado: 19/2/20

Aceptado: 27/2/20

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México (GoM) es un sistema altamente dinámico, las corrientes en la zona costera están regidas principalmente por el patrón del viento, moviéndose hacia el sur durante el invierno y hacia el norte durante el verano (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Vera-Mendoza *et al.*, 2017), ocasionando que algunos pelágicos costeros como el pez sierra, puedan tomar ventaja de estas condiciones oceánicas para ahorrar energía durante su período de migración. El ahorro de energía es necesario ya que el pez sierra puede desovar mientras migra (Buonaccorsi *et al.*, 2001). Sin embargo, en zonas de mayor profundidad, a nivel de mesoescala (~100 km), el principal forzamiento de la circulación superficial son los giros (Expósito-Díaz *et al.*, 2009), como ocurre en la zona sur del GoM, donde el giro de Campeche predomina.

Los giros ciclónicos bombean agua del fondo, creando zonas más saladas, frías y productivas en la superficie (Bracco & Pedlosky, 2003; Coria-Monter *et al.*, 2014; Salas-Monreal *et al.*, 2018a), como lo es el caso del giro de Campeche, en el cual la posición de la picnoclina varía dependiendo de la posición del giro (Monreal-Gómez, 1986; Monreal-Gómez & Salas-de-León, 1990). Esto favorece la concentración de organismos que son aprovechados por la flota pesquera del GoM (Salas-de-León *et al.*, 1998). Cuando la corriente de mesoescala, que forma parte del giro, llega de forma perpendicular a la plataforma continental, esta puede producir desplazamientos verticales de la picnoclina, produciendo zonas altamente productivas dentro de la plataforma continental, favoreciendo el crecimiento y reproducción de muchos organismos (Salas-Monreal *et al.*, 2012).

La circulación de la bahía de Campeche cambia dependiendo de la temporada (Díaz-Flores, 2004; Pérez-Brunius *et al.*, 2013), lo cual influye en la distribución de los organismos planctónicos (Salas-de-León *et al.*, 1998), los mismos que a su vez influyen sobre la concentración de pelágicos mayores, aun cuando estos cuenten con una migración anual. De aquí la importancia de ubicar las zonas de mayor concentración de organismos planctónicos para las pesquerías. Mediante los datos de satélite se pueden ubicar estas áreas, detectando de esta manera las zonas "idóneas" para las pesquerías; sin embargo, esto no nos da una predicción temporal de las zonas, solo nos brinda la ubicación geográfica en el momento en el que se tienen los datos de satélite (hora y día determinado). La predicción temporal en el caso del GoM, la podemos obtener mediante el desplazamiento del giro de Campeche,

siempre y cuando exista una correlación entre la distancia de las capturas con el centro del giro. Farber-Lorda *et al.* (2018), encontraron que en el GoM existe una fuerte relación entre la cantidad de organismos planctónicos y las descargas de los ríos en el verano (temporada de lluvias), sin embargo, la captura del pez sierra se da principalmente durante los meses de noviembre a febrero (temporada de nortes), motivo por el cual el objetivo principal del presente trabajo fue investigar si existe una correlación entre el giro de Campeche y las capturas del pez sierra (*Scomberomorus maculatus*).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se usaron datos de las descargas de los ríos de la comisión nacional del agua (CONAGUA-México), así como velocidades geostroficadas calculadas a partir de altimetría por satélite (producto AVISO). Los datos de satélite cuentan con una resolución espacial de 0,25° (~ 28 km), posteriormente fueron interpolados usando el método Kriging para obtener una resolución espacial de 5x5 km. Estos datos fueron usados para determinar el centro del giro de Campeche de forma visual, asumiendo que el giro de Campeche es una elipse cuyo centro se localiza en la intersección de los ejes semimayor y semimenor (Salas-Monreal *et al.*, 2019). La ubicación del centro de la elipse fue usada para calcular la distancia del giro con respecto a las principales ciudades portuarias (lugar donde se reportan las capturas, representados con números en la figura 1). Se calcularon las correlaciones (tipo de correlación y el nivel de confianza en %) entre las capturas de peso húmedo reportadas para cada estado y las descargas de los ríos o caudal de los ríos que se vierten en la zona de pesca, así como para la distancia del centro del giro a las principales ciudades portuarias; lo anterior para los meses de noviembre a febrero del 2014 al 2017, ya que la mayoría de las capturas en el GoM se realizan durante esos meses. Dicha correlación es factible debido a que gran parte de la flota pesquera es artesanal, es decir, aunque cambie la cantidad de barcos para cada zona, las características técnicas usadas en cada embarcación, el tiempo de pesca y el arte de pesca es similar en todas las áreas. Adicionalmente, la pesca artesanal o las cooperativas pesqueras cuentan con áreas bien definidas, motivo por el cual se puede asumir que el peso húmedo reportado en cada una de las tres zonas de estudio corresponde a áreas bien definidas de pesca. A partir de estas correlaciones, se obtuvo una ecuación que reproduce las capturas durante los meses de noviembre a febrero para el estado de Campeche.

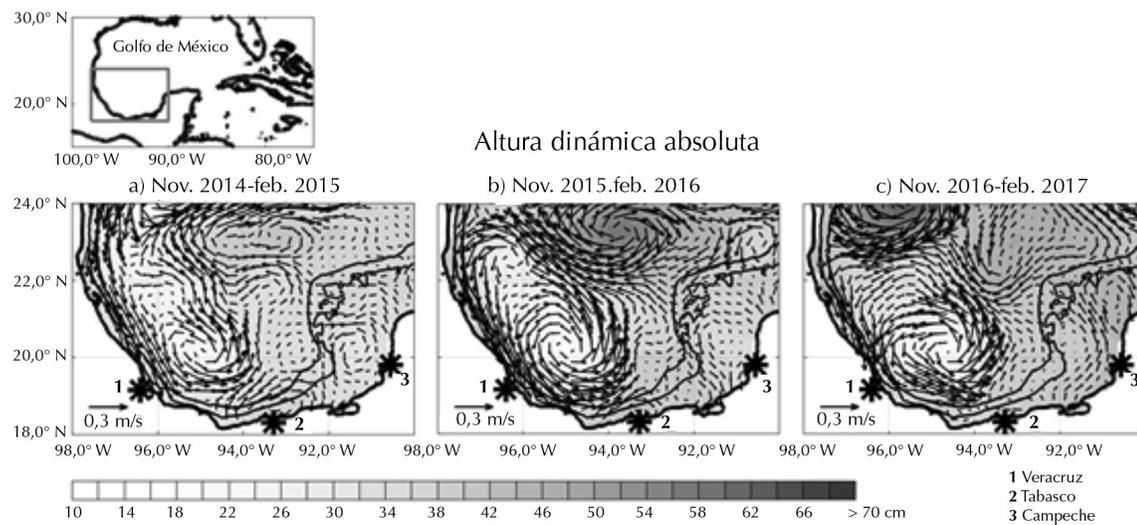


Fig. 1. Ubicación de la zona de estudio dentro del Golfo de México (panel superior izquierdo). Patrón de corrientes y altura dinámica absoluta promedio entre los meses de noviembre y febrero de 2014 a 2017. La escala de grises representa los valores de la altura dinámica absoluta (cm) y los asteriscos representan las ciudades pesqueras más importantes dentro de los estados de Veracruz (1), Tabasco (2) y Campeche (3).

Existe una conectividad entre las tres zonas de muestreo (Salas-Monreal *et al.*, 2019), dicha zona abarca básicamente la parte del giro de Campeche (Padilla-Pilotze *et al.*, 1990; Salas-de-León *et al.*, 1992; Monreal-Gómez & Salas-de-León, 2012; Díaz-Flores *et al.*, 2017), el cual se desplaza entre los 19-21° N y los 93-96° O en la bahía de Capeche (México). La zona de estudio (Fig. 1) es considerada la principal área de pesca del pez sierra (*Scomberomorus maculatus* o *Spanish mackerel*) en el GoM. De acuerdo con el anuario estadístico de acuicultura y pesca mexicano, este ocupa el treceavo lugar a nivel nacional debido a su captura, de aquí la importancia de poder predecir dicha captura.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La posición del giro de Campeche varía dependiendo de las condiciones oceanográficas y meteorológicas de mesoescala, por lo que la ubicación geográfica de las áreas más productivas, asociadas al giro, cambian acorde con dichas condiciones (Rojo-Garibaldi *et al.*, 2018; Salas-Monreal *et al.*, 2018b). Teniendo las capturas anuales dentro del GoM (TABLA 1), se decidió trabajar con los datos mensuales de los estados de Campeche y Veracruz (Fig. 1), debido a que dichos

estados representan más del 67 % del total de las capturas del pez sierra al sur del GoM. A partir de los volúmenes mensuales de pesca obtenidos para el estado de Campeche y Veracruz, se puede observar que la mayoría de las capturas se realizaron entre noviembre y febrero (TABLA 2).

Los volúmenes mensuales de pesca en el estado de Campeche cuentan con una tendencia polinomial que puede ser reproducida en un 95 % mediante la expresión obtenida en la figura 2, sin embargo, para el estado de Veracruz dichos volúmenes no pueden ser reproducidos con la misma confiabilidad ($r^2 < 0,55$). En la tabla 2, se puede apreciar que mientras menor es la distancia del centro del giro de Campeche a las zonas de pesca del estado de Campeche, las capturas reportadas son mayores, por lo que ocurre una relación inversamente proporcional ($r^2 = 0,75$), es decir, durante los meses de enero, febrero y diciembre se observaron capturas mayores a 500 t, asociadas a distancias menores de 400 km. Esto se debe en gran medida a que los giros ciclónicos generan áreas altamente productivas que pueden llegar a ser hasta siete veces más productivas de lo normal y que cuando el giro choca contra la plataforma continental, estas zonas productivas se observan dentro de la plataforma (Salas-Monreal *et al.*, 2012; Riverón-Enzastiga *et al.*, 2016).

TABLA 1. Peso húmedo en toneladas de las capturas del pez sierra en los estados del Golfo de México suroccidental

Estado\fecha	Capturas anuales (t)				Porcentaje total (%)
	2014	2015	2016	2017	2014-2017
Campeche	3,918	2,053	3,485	3,116	38,09
Veracruz	2,035	2,992	1,942	2,536	28,80
Tabasco	1,193	1,387	1,035	1,312	14,93
Tamaulipas	1,096	1,252	1,878	1,769	18,16

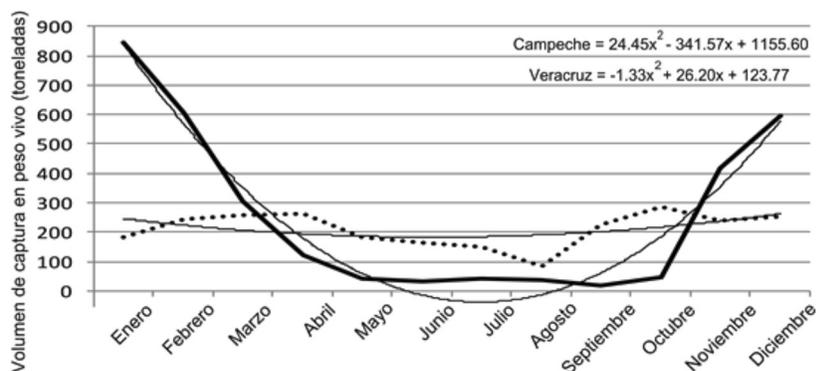


Fig. 2. Volumen de la producción pesquera mensual en peso húmedo para el estado de Campeche (línea gruesa continua) y Veracruz (línea punteada), México. El ajuste polinomial para cada serie está indicado con línea delgada continua y presenta un valor de r^2 de 0,95 y 0,55, respectivamente.

TABLA 2. Peso húmedo en toneladas de las capturas del pez sierra en los estados del Golfo de México suroccidental y las distancias entre el centro del giro de Campeche y las principales ciudades pesqueras

Mes/Estado	Volúmenes (t)		Distancias (km)	
	Campeche	Veracruz	Campeche	Veracruz
Enero	847	182	385	248
Febrero	607	244	349	286
Marzo	303	259	712	368
Abril	124	265	764	386
Mayo	43	181	N/A	N/A
Junio	31	166	N/A	N/A
Julio	44	152	N/A	N/A
Agosto	37	85	N/A	N/A
Septiembre	19	225	N/A	N/A
Octubre	48	288	453	194
Noviembre	417	237	465	205
Diciembre	595	254	334	256

Nota: N/A indica No Analizado, debido a que el centro del giro de Campeche no se encontraba bien definido.

Para el estado de Veracruz la correlación entre los volúmenes de la producción pesquera mensual, en peso húmedo (peso entero) y la distancia con el giro de Campeche no fue significativa ($r^2 = 0,27$). Dado lo anterior, se hicieron correlaciones entre dichos volúmenes y las descargas mensuales de los principales ríos del

suroeste del GoM (TABLA 3), obteniendo de esta manera correlaciones (r^2) menores al 0,35 durante el invierno, por lo que el pez sierra no tuvo una correlación significativa con las descargas de los ríos durante el invierno para las zonas de captura de los estados de Veracruz y Campeche.

TABLA 3. Descarga mensual para los ríos Tonalá, Papaloapan y Jamapa, así como el peso húmedo de las capturas del pez sierra en los estados de Campeche y Veracruz

Fecha/Estado	Descargas total (m ³)			Captura (t)	
	Tonalá	Papaloapan	Jamapa	Campeche	Veracruz
2016, noviembre	950,5	1 597,3	1 883,5	417	237
2016, diciembre	554,3	3 099,5	1 784,5	595	254
2017, enero	676,1	3 764,1	1 059,5	847	182
2017, febrero	850,2	6 232,4	749,7	607	244

CONCLUSIONES

A partir de la variación mensual del volumen de la producción pesquera, en peso húmedo del pez sierra, para la zona de pesca del estado de Campeche (México), se pudo obtener una ecuación que relaciona dichos volúmenes con la distancia del centro de giro de Campeche a la zona de pesca del estado de Campeche. Esta relación solo fue significativa para el estado de Campeche, el cual cuenta con una tendencia anual polinomial que puede ser reproducida en un 95 % mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = 24,45(\text{mes})^2 - 341,57(\text{mes}) + 1\,155,60.$$

Mientras que la relación entre el volumen y la distancia entre el giro y la zona de pesca del estado de Campeche (D), se puede reproducir mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen} = -0,64(D) + 811,75.$$

La cual puede reproducir la serie con un 75 % de confianza. Para el resto de las zonas pesqueras de los estados del sur del GoM (Tamaulipas, Veracruz y Tabasco), no fue posible obtener una relación confiable, posiblemente debido a que los factores antrópicos, como la venta del producto en mercados locales (pesca no reportada de manera oficial), no permiten reproducir adecuadamente las series de tiempo.

REFERENCIAS

Bracco, A. & Pedlosky, J. (2003). Vortex generation by topography in locally unstable baroclinic flows. *Journal of Physical Oceanography*, 33(1), 207-219.

Buonaccorsi, V. P., Starkey, E. & Graves, J. E. (2001). Mitochondrial and nuclear DNA analysis of population subdivision among young-of-the-year Spanish mackerel (*Scomberomorus maculatus*) from the western Atlantic and Gulf of Mexico. *Marine Biology*, 138(1), 37-45.

Coria-Monter, E., Monreal-Gómez, M. A., Salas-de-León, D. A., Aldeco-Ramírez, J. & Merino-Ibarra, M. (2014). Differential distribution of diatoms and dinoflagellates in a cyclonic eddy confined in the bay of La Paz, gulf of California. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 119, 6258-6268.

Díaz-Flores, M. A. (2004). Estudio de las corrientes en la bahía de Campeche utilizando un perfilador acústico Doppler (ADCP). Tesis de Maestría en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Cd. de México, 68 pp.

Díaz-Flores, M. A., Salas-de-León, D. A. & Monreal-Gómez, M. A. (2017). Origen y evolución del giro ciclónico de la bahía de Campeche, Golfo de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3), 441-450.

Expósito-Díaz, G., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Salas-Monreal, D. & Vázquez-Gutiérrez, F. (2009). Corrientes inerciales en el sur del Golfo de México. *Ciencias Marinas*, 35(3), 287-296.

Farber-Lorda, J., Athié, G., Ibar, V. C., Daessle, L. W. & Molina, O. (2018). The relationship between zooplankton distribution and hydrography in oceanic waters of the southern Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*.

Monreal-Gómez, M. A. (1986). Modélisation du mode barotrope et du premier mode barocline dans le Golfe du Mexique. Tesis de doctorado, Université de Liège, Liège, Bélgica, 171 pp.

Monreal-Gómez, M. A. & Salas-de-León, D. A. (1990). Simulación de la circulación de la bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2), 101-111.

- Monreal-Gómez, M. A. & Salas-de-León, D. A. (2012). Simulación de la circulación en la bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2).
- Padilla-Pilotze, A. R., Salas-de-León, D. A., & Monreal-Gómez, M. A. (1990). Evidence of a cyclonic eddy in the bay of Campeche. *Ciencias Marinas*, 16(3), 1-14.
- Pérez-Brunius, P., García-Carrillo, P., Dubranna, J., Sheinbaum, J. & Candela, J. (2013). Direct observations of the upper layer circulation in the southern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research II*, 85, 182-194.
- Riverón-Enzástiga, M. L., Carbajal, N. & Salas-Monreal, D. (2016). Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2), 237-246.
- Rojo-Garibaldi, B., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Sánchez-Santillán, N. L. & Salas-Monreal, D. (2018). Nonlinear analysis of the occurrence of hurricanes in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 25(2), 291-300.
- Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Sanvicente-Añorve, L. & Flores-Coto, C. (1998). Influence de la circulation à long terme sur la répartition des organismes zooplanctoniques dans la baie de Campeche, Mexique. *Oceanológica Acta*, 21(1), 87-93.
- Salas de León, D. A., Monreal-Gómez, M. A. & Colunga-Enríquez, G. (1992). Hidrografía y circulación geostrofica en el sur de la bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 31(3), 315-323.
- Salas-Monreal, D., Salas-de-Leon, D. A., Monreal-Gomez, M. A., Riverón-Enzástiga, M. L. & Mojica-Ramírez, E. (2012). Hydraulic jump in the gulf of California. *Open Journal of Marine Science*, 2(4), 141.
- Salas-Monreal, D., Anis, A. & Salas-de-León, D. A. (2018a). Galveston bay dynamics under different wind conditions. *Oceanología*, 60(2), 232-243.
- Salas-Monreal, D., Marín-Hernández, M., Salas-Pérez, J. de, Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A. & Pérez-España, H. (2018b). Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, 179, 88-99.
- Vera-Mendoza, R. R., Salas-de-León, D. A., Salas-Monreal, D. & Ortiz-Figueroa, M. (2017). Wind forcing of sea level variability in a tropical coral reef area in the western Gulf of Mexico. *Latin american journal of aquatic research*, 45(4), 797-806.
- Zavala Hidalgo, J., Morey, S. L. & O'Brien, J. J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108 (C12).