



1er Congreso Internacional  
CEMIE-Océano

# Variabilidad de la Corriente de Yucatán en el Caribe Mexicano y su efecto en la surgencia de Yucatán

Gabriela Athié<sup>1,2\*</sup>, Tania Reyes-Jiménez<sup>2\*\*</sup>, Mariana De la Miyar-Loza<sup>3\*\*\*</sup>,  
Cecilia Enriquez<sup>4</sup>, Julio Sheinbaum<sup>5</sup>, Ismael Mariño<sup>4</sup>, Julio Candela<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Cátedra CONACYT / <sup>2</sup> Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, U.V.

<sup>3</sup> Posgrado en Ingeniería Ambiental, ITBOCA.

<sup>4</sup> Escuela Nacional de Estudios Superiores/ FC-UMDI-Sisal, UNAM.

<sup>5</sup> Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

\*gathie@uv.mx

\*\* tangy\_2@hotmail.com

\*\*\* marianadlm@hotmail.com

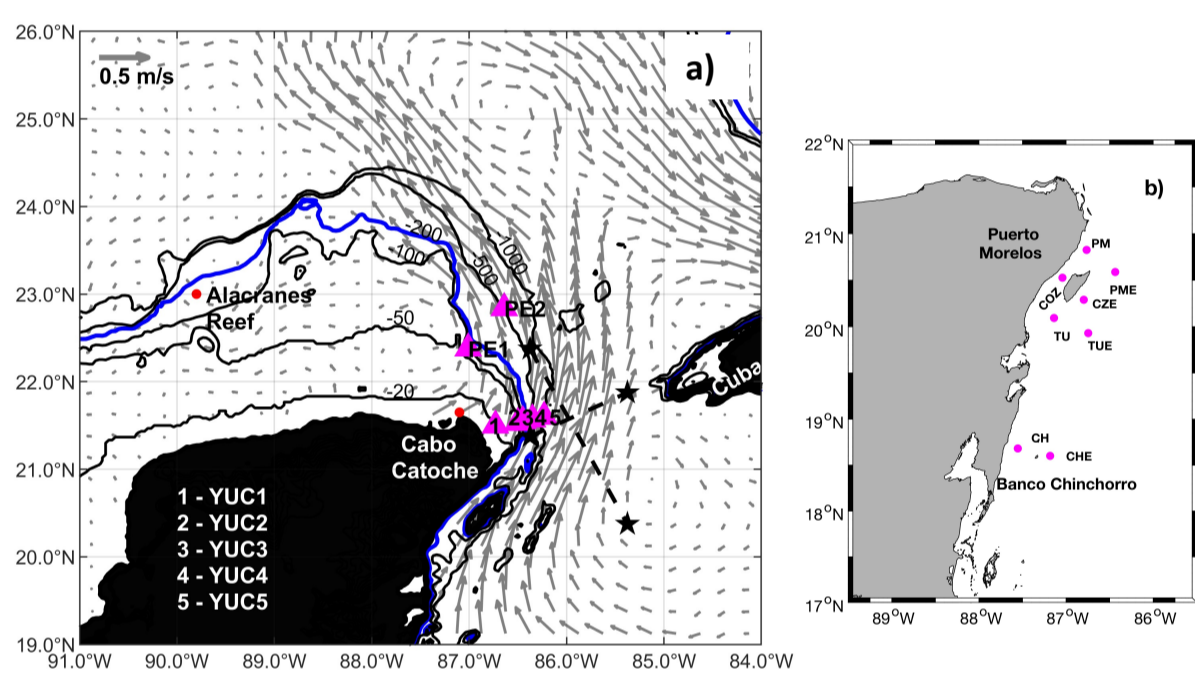


## Introducción

La Corriente de Yucatán es parte de la corriente de frontera oeste del Giro Subtropical del Atlántico Norte, cuenta con una velocidad promedio de  $1.5 \text{ ms}^{-1}$  alcanzando máximos de hasta  $2.5 \text{ ms}^{-1}$ , lo que la hace adecuada para la extracción de energía por corrientes oceánicas mediante turbinas marinas (Alcérrecua-Huerta et al., 2019; Hernández-Fontes et al., 2019). Estudios recientes a partir de mediciones directas de velocidad en el Canal de Yucatán han mostrado que entre el 60 y 80% de la varianza de la Corriente de Yucatán se relaciona con movimientos longitudinales de su núcleo debidos a meandros y remolinos (Sheinbaum et al., 2016) y que mientras el transporte a través del Canal de Yucatán muestra una estacionalidad con un máximo en verano, la Corriente de Yucatán en el oeste del canal, no presenta una estacionalidad significativa (Athie et al., 2020). Para poder evaluar la factibilidad para la extracción de energía por corrientes marinas, las mediciones en una escala temporal fina son cruciales en relación con los cálculos de turbulencia y el buen funcionamiento de las turbinas hidrocinéticas. Sin embargo, también es relevante entender en detalle los factores que contribuyen a la variabilidad subinercial a largo plazo en los diferentes puntos del Caribe Mexicano y los factores físicos que se asocian a fenómenos de relevancia biológica en la zona, como la Surgencia de Yucatán; éstos últimos representan los objetivos de el presente trabajo.

## Datos

- Proyecto CANEK: series de tiempo de velocidad de la corriente en profundidades menores a los 100 m (bins cada 8-10 m) de anclajes equipados con ADCPs colocados en el extremo oeste del Canal de Yucatán (~6 años; Figura 1a; Tabla 1) y a lo largo del Caribe Mexicano (2-7 años; Figura 1b). Series de temperatura medida en la cabeza de los ADCPs (Tabla 1). Se utilizó un filtro paso-alto Lanczos para todas las series de tiempo con un periodo de corte de 48 horas.
- Perfiles de velocidad: mapas de la estructura vertical de la Corriente de Yucatán, obtenidos a partir de un mapeo objetivo realizado con 10 anclajes cubriendo todo el Canal de Yucatán (Sheinbaum et al., 2016).
- AVISO: mapas dinámicos de nivel del mar (MADT), anomalías del nivel del mar (SLA) y velocidades geostroficas (datos diarios con resolución espacial de  $\frac{1}{2}$  de grado en longitud/latitud).



**Figura 1.** Localización de los diferentes anclajes instalados en el lado oeste del Canal de Yucatán y al norte del mismo (a) y en el Caribe Mexicano (b). En (a) las estrellas negras indican los puntos utilizados para el cálculo de los gradientes de SLA; se indica la batimetría en negro con la isóbata de 200m en azul; se muestra el campo de velocidad geostrofica promedio calculado con datos AVISO (2008-2014).

**Tabla 1.** Periodos de instalación para los diferentes anclajes instalados en el Caribe Mexicano y en el lado oeste del Canal de Yucatán. Se indica la profundidad de instalación del ADCP, la velocidad promedio ( $\bar{V}$ ) a 50 m de profundidad y promediada por arriba de los 100 m de profundidad, con sus respectivas desviaciones estándar.

Anclajes en el Caribe Mexicano	$\bar{V}$ z=50m	STD ( $V'$ ) z=50m	$\bar{V}$ z<100m	STD ( $V'$ ) z<100m			
					PM (2003-2009)	PME (2006-2010)	CZE (2003-2006)
PM (2003-2009)	1.40	0.28	1.30	0.25			
PME (2006-2010)	0.86	0.22	0.84	0.22			
CZE (2003-2006)	0.85	0.26	0.83	0.25			
COZ (00-01/09-10)	1.02	0.17	0.97	0.16			
TU (2003-2007)	0.65	0.25	0.64	0.24			
TUE (2004-2007)	0.57	0.22	0.55	0.20			
CH (04-07/08-10)	0.47	0.36	0.47	0.34			
CHE (2003-2010)	0.29	0.29	0.28	0.28			

Anclajes en el Canal de Yucatán	Profundidad Instrumento	$\bar{V}$ z=50 m	STD z=50 m
PE1 (2010-2011)	117 m	-0.035	0.126
PE2 (2010-2011)	503 m	0.435	0.480
YUC1 (2008-2014)	20 m	0.017	0.084
YUC2 (2008-2014)	55 m	0.061	0.222
YUC3 (2008-2014)	108 m	0.267	0.481

## Resultados

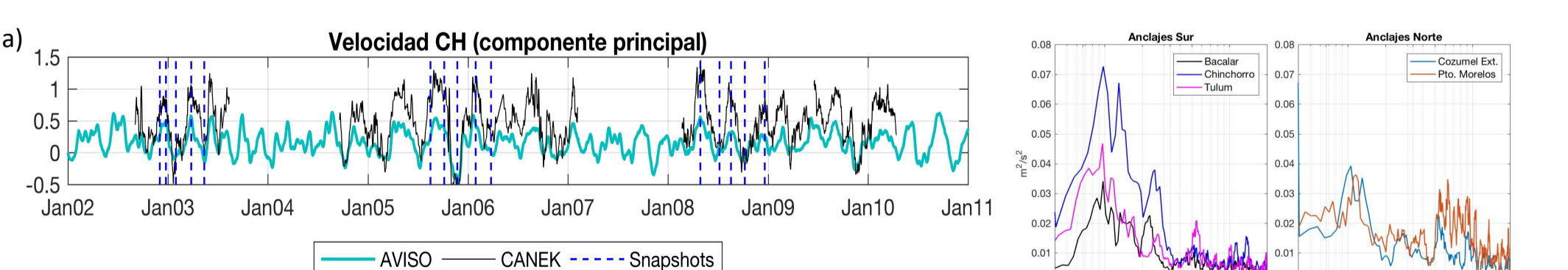
### Corriente de Yucatán en el Caribe Mexicano

Se observó un incremento en la corriente promedio desde Chinchorro ( $0.47 \text{ ms}^{-1}$ ) hasta Puerto Morelos ( $1.30 \text{ ms}^{-1}$ ; Tabla 1). La corriente presentó velocidades mayores a  $1 \text{ ms}^{-1}$  el 93% del tiempo en Puerto Morelos (~6 años), mientras que en el Canal de Cozumel el porcentaje fue de 58% (~2 años). Tanto la dirección de la corriente como su intensidad son estables en los 100 m superiores para los anclajes al norte de los  $20^\circ\text{N}$  (TU, TUE, COZ, CZE, PM y PME; Tabla 2; Figura 2). La disminución de la velocidad entre los 30 m y 100 m de profundidad fue del 25% para estos puntos.

**Tabla 2.** Porcentaje del tiempo en el que se observa que la velocidad de la corriente subinercial en el sentido de la componente principal es mayor a  $1 \text{ ms}^{-1}$ , para los 50m de profundidad y para el promedio por encima de los 100 m de profundidad.

Anclajes Caribe Mexicano	Duración (años)	% ( $V > 1 \text{ ms}^{-1}$ ) z=50 m	% ( $V > 1 \text{ ms}^{-1}$ ) z>100 m
PM (2003-2009)	6	93%	89%
PME (2006-2010)	4	28%	25%
CZE (2003-2006)	3	32%	28%
COZ (00-01/09-10)	2	58%	47%
TU (2003-2007)	5	11%	8%
TUE (2004-2007)	3	2%	1%
CH (04-07/08-10)	5	7%	6%
CHE (2003-2010)	6	1%	<1%

**Figura 2.** Rosas de corrientes para el periodo de observaciones en el Caribe (Tabla 1). En Puerto Morelos y el Canal de Cozumel la dirección de la corriente se encuentra entre  $30-45^\circ$  (con respecto al N), el 95% y el 88% del tiempo, respectivamente.



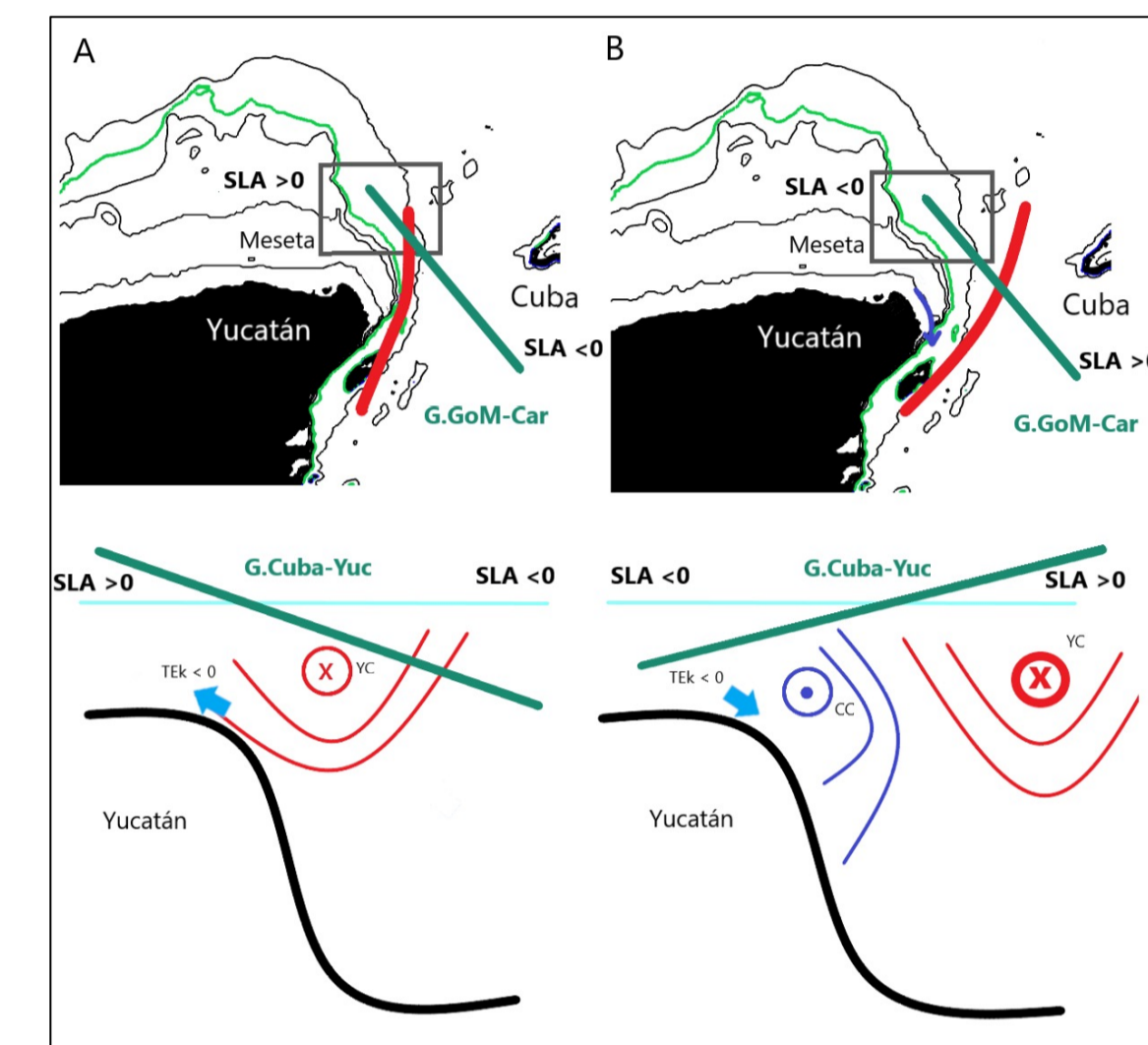
**Figura 3.** (a) Componente principal de la corriente en Chinchorro. (b) Snapshots de MADT y velocidades geostroficas asociadas con las aceleraciones/desaceleraciones de la corriente en CH. (c) Espectro de potencia de la corriente en los anclajes del Caribe.

La intensidad de la Corriente de Yucatán en esta zona está dominada por variabilidad con periodos a 50-100 días, asociada al paso de remolinos ciclónicos que llegan a la zona de chinchorro y anticiclónicos al sur del Canal de Yucatán; estos remolinos generan desaceleración y aceleración de la corriente, respectivamente.

## Surgencia de Yucatán

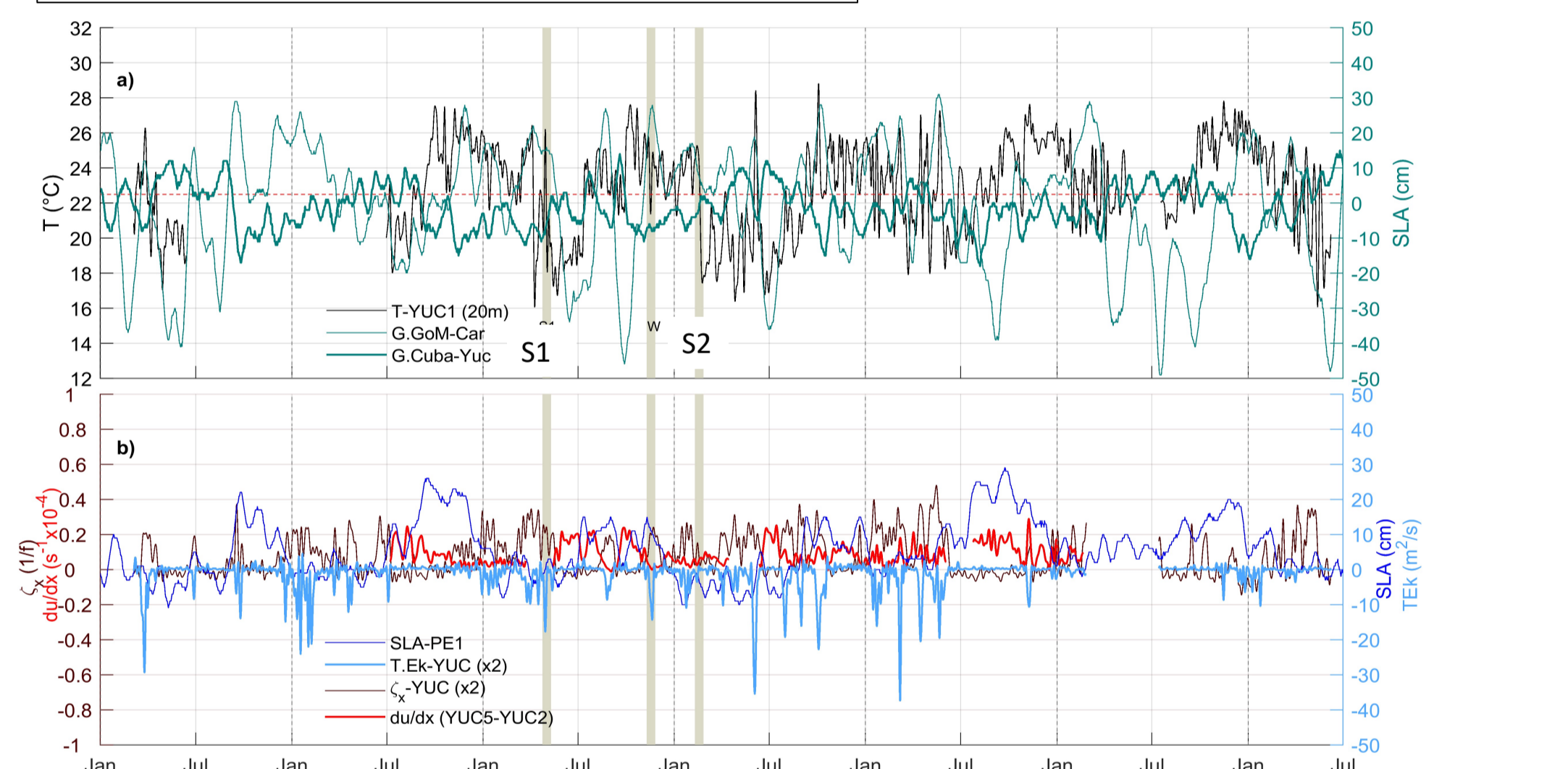
Se observaron descensos de temperatura en el quiebre de la plataforma de Yucatán (YUC1, YUC2 y YUC3) a lo largo del año, con un comportamiento estacional durante los 6 años analizados. En primavera-verano, la temperatura disminuyó  $\sim 2^\circ\text{C}$  y los eventos de surgencia se observaron sobre la plataforma de Yucatán (YUC1). Sin embargo en otoño-invierno los descensos de temperatura presentaron una intensidad de  $\sim 7^\circ\text{C}$ , con una duración entre 1 y 5 días y en pocas ocasiones llegaron a la zona somera de la plataforma (20 m). La surgencia de Yucatán solamente ha sido observada al norte de la plataforma de Yucatán durante primavera-verano (Reyes-Mendoza et al., 2015); sin embargo, la Corriente de Yucatán no presenta una estacionalidad significativa, ni en su posición, ni en su intensidad, que expliquen esta diferencia estacional (Athie et al., 2020).

## Eventos en Primavera – Verano



**Figura 4.** Mecanismo observado durante la surgencia de Yucatán en primavera-verano de 2008 a 2014.

(A) El gradiente meridional negativo de SLA (GoM-Caribe), por geostrofia, implica un movimiento del núcleo de la corriente hacia la costa, lo que produce Transporte de Ekman ( $T_{EK}$ ) negativo; esto inicia el descenso de temperatura en el quiebre de la plataforma (YUC1, YUC2, YUC3).  
(B) Una vez que la temperatura en el fondo sobre la plataforma desciende, el gradiente meridional cambia de signo a positivo y el núcleo de la corriente se aleja de la plataforma; mientras el núcleo se encuentra alejado de la costa, se observa una contracorriente sobre la plataforma y divergencia en el lado oeste de la corriente. Al mismo tiempo, el gradiente zonal de SLA (Cuba-Yucatán) se vuelve positivo y por geostrofia, la corriente se acelera. Esta condición se observa, mientras se mantiene el agua fría del fondo sobre la plataforma (12-20 días).

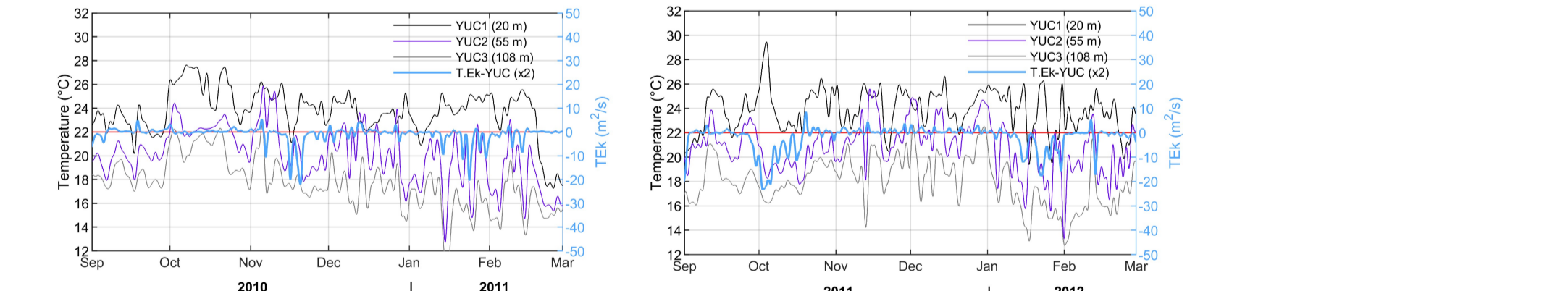


**Figura 5.** Series de tiempo de las diferentes variables que participan en el mecanismo explicado en la Figura 4, en particular para dos eventos de surgencia en primavera (S1 y S2).

- $T\text{-YUC1}$  (negro) es la temperatura en el fondo (20m) sobre la plataforma de Yucatán (YUC1) que desciende por debajo de  $22.5^\circ\text{C}$ ;  $G\text{-GoM-Car}$  (verde claro) es el gradiente meridional de SLA que cambia de positivo a negativo una vez iniciada la surgencia (el núcleo se acerca y después se aleja de la plataforma).
- $G\text{-Cuba-Yuc}$  (verde oscuro) es el gradiente zonal de SLA, cambia de negativo a positivo durante la surgencia (la corriente se acelera).
- $SLA\text{-PE1}$  (azul oscuro) es la SLA en la zona de la meseta al norte del Canal de Yucatán (sobre PE1), es negativa durante la surgencia.
- $T\text{-Ek-YUC}$  (azul claro) es el transporte de Ekman (YUC3–YUC2;  $z=50\text{m}$ ), con pulsos negativos intensos durante los eventos de surgencia, cuando la Corriente de Yucatán se acerca a la plataforma.
- $\zeta\text{-YUC}$  (rojo vino), corte horizontal de la corriente (YUC3–YUC2;  $z=50\text{m}$ ), con pulsos positivos durante el inicio de la surgencia.
- $du/dx$  (rojo) divergencia de la corriente (YUC3–YUC2;  $z=50\text{m}$ ) positiva durante la surgencia, cuando el núcleo se aleja de la plataforma.

## Eventos en Otoño – Invierno

Se observan descensos de la temperatura en el fondo asociados a pulsos en la intensidad de la Corriente de Yucatán (mas no en su posición), lo que produce Transporte de Ekman en el fondo. Las oscilaciones sólo se observan en otoño-invierno con un periodo de 5-10 días y sólo en el 40% de los casos el agua fría llega a la zona somera de la plataforma (20 m).



**Figura 7.** Eventos de descenso de la temperatura durante otoño-invierno.

(a) Series de tiempo de la temperatura en el fondo en el quiebre de la plataforma de Yucatán (YUC1, YUC2 y YUC3) y Transporte de Ekman en el fondo entre YUC3 y YUC2.  
(b) Wavelets de la temperatura a 55 m de profundidad (YUC2).

## Conclusiones

De los puntos analizados en el Caribe Mexicano, el Canal de Cozumel y Puerto Morelos presentan velocidades mayores a  $1 \text{ ms}^{-1}$  el 93% y 58% del tiempo, respectivamente. Los remolinos ciclónicos y anticiclónicos dominan la intensidad de la Corriente de Yucatán en todo el Caribe Mexicano con un periodo de 2 a 5 meses. La intensidad de la corriente solamente disminuye  $\sim 25\%$  por arriba de los 100 m.

La Corriente de Yucatán presenta condiciones para generar surgencia topográfica por Transporte de Ekman durante todo el año. Sin embargo en primavera-verano tanto la posición longitudinal de la corriente como el gradiente del nivel del mar entre el Caribe y el Golfo de México, así como el gradiente entre Cuba y Yucatán, son determinantes para mantener la surgencia sobre la plataforma entre 12-20 días.

## Referencias

- Alcérrecua-Huerta, J. C. et al. (2019). Energy yield assessment from ocean currents in the insular shelf of Cozumel Island. *J. Mar. Sci. Eng.*, 7, 147.
- Athié, G. et al. (2020). Seasonal Variability of the Transport through the Yucatan Channel from Observations. *J. Phys. Ocean.*, 50, 343-360.
- Hernández-Fontes, J. V. et al. (2019). On the Marine Energy Resources of Mexico. *J. Mar. Sci. & Eng.*, 7, 191.
- Reyes-Mendoza, O. et al. (2016). The effects of wind on upwelling off Cabo Catoche. *J. Coast. Res.*, 32(3).
- Sheinbaum et al. (2016) Structure and variability of the Yucatan and L. C. along the slope and shelf break of the Yuc. Chan. & Camp. B. *Dyn. Atm. Oc.*, 76: 217-239.