



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Región Poza Rica-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Dispersión de la Pluma de los Ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México

Tesis para obtener el grado de Maestra en
Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Presenta:
María de los Ángeles Rojas Terán

Director:
Dr. José de Jesús Salas-Pérez
Codirector:
Dr. David Alberto Salas de León
Asesor:
Dr. David Salas Monreal
Mayo de 2024

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Región Poza Rica-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Dispersión de la pluma de los ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México

Protocolo de Maestría en
Manejo de Ecosistema Marinos y Costeros

Presenta:
María de los Ángeles Rojas Terán

Director:
Dr.: José de Jesús Salas Pérez
Codirector:
Dr.: David Alberto Salas de León
Asesor:
Dr.: David Salas Monreal

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz. 26 enero del 2024

Dr. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz
Coordinador de la Maestría
Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad Veracruzana

PRESENTE

Por medio de la presente, damos la autorización para que sea revisado el escrito final de la alumna *María de los Ángeles Rojas Terán* que lleva por título: Dispersión de la Pluma de los Ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México.

Sin más por el momento nos despedimos de usted, agradeciendo la atención prestada.



Director
Dr. José de Jesús Salas Pérez



Codirector
Dr. David Alberto Salas de León



Asesor
Dr. David Salas Monreal

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., a 22 de abril de 2024

A quien corresponda

Ref: Aprobación de informe final de tesis "DISPERSIÓN DE LA PLUMA DE LOS RÍOS DEL NORTE DEL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO"

Certifico que leí y apruebo el informe final de tesis de maestría de la estudiante María de los Ángeles Rojas Terán titulado: "DISPERSIÓN DE LA PLUMA DE LOS RÍOS DEL NORTE DEL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO"

Cordialmente,

Adela Monreal
DRA. MARÍA ADELA MONREAL GÓMEZ
Investigadora Titular

A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio de su conocimiento que he revisado y apruebo la Tesis que para obtener el grado de Maestra en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros presenta María de los Ángeles Rojas Terán con el título **Dispersión de la Pluma de los Ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México.**

Sin otro particular, agradezco sus atenciones.

ATENTAMENTE

TUXPAN, VERACRUZ 2 DE MAYO 2024



FRANCISCO JAVIER MARTOS FERNÁNDEZ

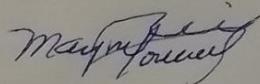
UNIVERSIDAD VERACRUZANA

A quien corresponda

Ref: Aprobación de informe final de tesis “Dispersión de la Pluma de los Ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México”

Certifico que leí y apruebo el informe final de tesis de maestría de la estudiante María de los Ángeles Rojas Terán titulado: “Dispersión de la Pluma de los Ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México”

Cordialmente,



Mayra Lorena Riverón Enzástiga, M. en C.

Agradecimientos

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT con no. de CVU 568122) por la beca otorgada durante los dos años de estudios, sin este apoyo estudiar más allá de una licenciatura sería imposible, gracias.

Al Servicio Nacional de Información y Datos Satelitales Ambientales de la NOAA por la disponibilidad de datos: ERDDAP, NCEP/NCAR Reanalysis at PSL y COPERNICUS.

Al Dr. Basáñez Muñoz Agustín de Jesús, coordinador de la maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros, por todo el apoyo, asesoría, paciencia y su valioso tiempo que nos brindó durante estos dos años.

Al Dr. José de Jesús Salas Pérez, Dr. David Alberto Salas de León, Dr. David Salas Montreal por la asesoría y paciencia dado durante el inicio, el proceso y hasta finalizar esta investigación y estudios de posgrado.

Al Dr. Jordán Garza por su asesoría y oportunos consejos durante mi estancia en el posgrado
A los revisores para mejorar el tema del manuscrito Dra. Mayra Riverón, Dra. Ma. Adela
Montreal Gómez y al Mtro. Francisco Javier Martos Fernández.

Al final, pero no al último, quiero agradecerme a mí por creer en mí, por hacer todo este trabajo duro, por nunca haberme rendido.

Dedicatoria

A Dios, por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme con su fuerza para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida.

A mi madre por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, la comprensión, el apoyo incondicional y la confianza cada momento de su vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT con no. de CVU 568122) que, gracias a su apoyo, cursar un posgrado es una realidad.

Índice

I. Introducción	1
II. Antecedentes	4
III. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo general.....	6
3.2. Objetivos particulares	6
IV. Área de estudio	7
V. Materiales y métodos	9
VI. Resultados	10
6.1 Precipitación y Vientos.....	10
6.2 Temperatura superficial del mar y velocidad geostrófica durante el evento de surada	11
6.3 Clorofila- <i>a</i> (Cl- <i>a</i>) durante el evento de vientos del sur (surada) y velocidades geostróficas..	15
6.4 Temperatura superficial del mar durante el evento de vientos del norte y velocidades geostróficas	17
6.5 Clorofila- <i>a</i> durante un evento de viento del norte y velocidades geostróficas.....	21
VII. Discusión.....	24
7.1 La estructura de las plumas de los ríos a partir de imágenes TSM	24
7.2 La Variación de las plumas de los ríos.....	25
7.3 El efecto de las corrientes marinas sobre la distribución de las plumas de los ríos	26
VIII. Conclusiones	28
IX. Aplicación práctica.....	29
X. Recomendaciones.....	30
XI. Referencias.....	31

Índice de figuras

Figura 1. Temperatura superficial del mar (°C) en eventos de vientos del sur	8
Figura 2. Correlaciones entre la TSM de los ríos, los arrecifes de SALT y puntos de control durante la época de suradas	10
Figura 3. Clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) superficial del mar en evento de viento del sur.....	11
Figura 4. Correlaciones entre cl- <i>a</i> de los ríos. Los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de surada.....	12
Figura 5. TSM (°C) en eventos de vientos del norte	13
Figura 6. Correlaciones entre la TSM de los ríos, los arrecifes del SALT y los puntos de control durante los vientos del norte	15
Figura 7. Clorofila- <i>a</i> (mg/m ³) superficial del mar en eventos de vientos de norte	¡Error!

Marcador no definido.

Figura 8. Correlaciones entre la Cl- <i>a</i> de los ríos, los arrecifes del SALT y los puntos de control durante los vientos del norte.	18
---	----

Índice de Tablas

Tabla 1. Temperatura superficial del mar (°C) en evento de vientos del sur.....	11
Tabla 2.. Correlaciones entre la TSM de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de suradas.....	14
Tabla 3. Productividad primaria (mg/m ³) superficial del mar en evento de vientos del sur	15
Tabla 4. Correlaciones entre la P.p. de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de suradas.....	17
Tabla 5. Temperatura superficial del mar (°C) en evento de vientos del norte.....	18
Tabla 6. Correlaciones entre la TSM de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de norte.....	20
Tabla 7. Productividad primaria (mg/m ³) superficial del mar en evento de vientos del norte	21
Tabla 8. Correlaciones entre la P.p. de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de norte.....	23

Resumen

Los ríos son una fuente directa de nutrientes, sedimentos, contaminantes en las zonas costeras, la dispersión y su área de influencia dependen de la dirección de las corrientes locales, la dirección del viento y la precipitación. En el presente estudio se aporta información sobre la dispersión de la Pluma de los Ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla durante dos eventos atmosféricos de viento con dirección norte y del sur, respectivamente. Se obtuvieron datos satelitales con los cuales se generaron imágenes donde se combinaron la temperatura superficial del mar y la productividad primaria con datos de corrientes geostróficas, también se realizó una correlación entre la pluma de los ríos con los Arrecifes del Sistema arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), para conocer si la pluma de los ríos afecta durante estos eventos atmosféricos a los arrecifes del SALT. Se observó un giro frente a Tamiahua, con una corriente que colisiona frente a la zona costera donde se localizan los tres ríos afectando a la pluma de los ríos y trayendo consigo aguas del norte con temperaturas bajas y altos niveles de productividad primaria que van desde 29.8 mg/m^3 hasta 41.1 mg/m^3 , $\sim 20.4\text{--}21.1^\circ\text{N}$. La masa de agua frente a los ríos presentó un intervalo de temperatura superficial que va de 25.9 a 26.5°C y para el Sistema Arrecifal Tuxpan (SAT) de 26.0 a 26.8°C , mientras que para el Sistema Arrecifal Lobos (SAL) de 25.9 a 26.2°C durante la temporada de surada. En la temporada de vientos del norte las temperaturas superficiales fueron de 24.9 a 26.4°C frente a los ríos, en los arrecifes del SAT de 24.7 a 26.4°C , para el SAL de 24.8 a 26.4°C , con la temperatura más baja al final de la temporada. En conclusión, durante la temporada de otoño en noviembre del 2008, las plumas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla no llegaron al Sistema Arrecifal Tuxpan, sin embargo, las masas de agua provenientes del norte con temperaturas bajas, presentaron un descenso de 1.5°C y niveles altos de productividad primaria sí estuvieron presentes en la zona de estudio.

Palabras clave: Productividad primaria, Vientos, Corrientes geostróficas.

I. Introducción

Los ríos han sido elementos fundamentales para el florecimiento de la civilización, alrededor del mundo existe un gran número de ríos que son reconocidos desde la antigüedad hasta el presente ya sea por su importancia histórica o cultural (Pineda, 2013). El río Nilo, el río Yangtsé, el río Amazonas son los ríos más importantes a nivel mundial por su caudal, longitud y los múltiples beneficios que proporcionan a las sociedades que se localizan en su área de influencia (Suárez-Gaitán, 2013). Unas de las razones de la prosperidad de las civilizaciones cercanas a los ríos, eran las inundaciones en grandes áreas a lo largo de sus orillas, por lo que se volvían extremadamente fértiles debido a los sedimentos llenos de nutrientes que depositaban (Espinosa *et al.*, 2011; Quiroga y Silvela, 2008; Suárez-Gaitán, 2013).

Hoy en día, las aguas altamente productivas resultado de las descargas de los ríos, a las zonas de la plataforma continental del mar, pueden incrementar la vida marina y por lo tanto la actividad pesquera, principalmente en temporada de lluvias ya que las plumas de los ríos se extienden aún más hacia el océano en esta temporada (Bianchi *et al.*, 2010). En algunas regiones costeras durante el verano, en temporada de lluvia, esas aguas contribuyen al aumento de sustancias inorgánicas, como la materia en suspensión, puede limitar la penetración de la luz en la columna de agua, la cual es indispensable para que los productores primarios produzcan el oxígeno necesario para el desarrollo del ecosistema marino (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2018).

El efecto de Coriolis se observa en un sistema de referencia en rotación (no inercial) cuando un cuerpo se encuentra en movimiento con respecto a dicho sistema de referencia. Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa de la partícula o del cuerpo en el sistema en rotación y experimenta una deflexión a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur (Persson, 2005). Sin embargo, en el hemisferio norte las plumas de los ríos en algunos casos, debido a la presencia de vientos y corrientes marinas del sur, pueden cambiar la dirección de la pluma de los ríos hacia la izquierda (Wiseman y Garvine, 1995). Esto puede causar advección del agua de las plumas de los ríos del norte de la zona costera de Veracruz hacia el SALT (Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan) principalmente en la temporada de verano. En cambio, en otoño, invierno y primavera, en general la

circulación marina es hacia el sur (Salas-Pérez *et al.*, 2012; Salas-Pérez *et al.*, 2018). Por lo tanto, las plumas de los ríos deberán de fluir hacia el sur por el efecto de Coriolis.

En el Corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México (CASGM) se localizan tres grandes sistemas arrecifales: Arrecifes Los Tuxtlas (ALT) ubicado en el extremo sur, en el centro el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y al norte el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Estos arrecifes interactúan con la pluma de los ríos Coatzacoalcos, Jamapa, la Antigua, Tecolutla, Cazones y Tuxpan que están presentes en este corredor arrecifal que, dependiendo de la dinámica de la corriente costera, los vientos, la precipitación o la estación del año, su variación e influencia de sus aguas es mayor o menor (Salas-Pérez, *et al.*, 2015; Salas-Monreal *et al.*, 2018; Salas-Monreal *et al.*, 2020; Rodríguez-Lehovec *et al.*, 2021).

Debido a que en los días de máximas precipitación que corresponden a la estación de verano y con la influencia de los vientos locales, la Pluma del Río Tuxpan baña con sus aguas al SALT (Rodríguez-Lehovec *et al.*, 2021; Salas-Pérez *et al.*, 2023) y favorece el incremento de la productividad primaria en $5-6 \text{ mg/m}^3$. Por otra parte, la turbidez tiene mayor influencia sobre el conglomerado arrecifal Tuxpan ($r > 0.5$). Esta interacción físico-biológica es mayor cuando la pluma de los ríos tiene forma cóncava o en forma de campana sobre la plataforma continental (Rodríguez-Lehovec *et al.*, 2021).

Sin embargo, el norte del CASGM cuenta con tres principales cuencas que son los ríos Tecolutla, Cazones y Tuxpan, este último ha sido estudiado en la temporada de verano, que corresponde a la época de lluvias y por lo cual, la estación del año con mayores descargas de agua hacia la zona costera del SALT (Rodríguez-Lehovec *et al.*, 2021). Por lo tanto, los estudios de la pluma de los ríos del norte del corredor arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) requiere ser estudiado con relación a los cambios locales atmosféricos para determinar su influencia sobre los arrecifes del SALT, o exclusivamente en la estación de verano, que corresponde a la estación de lluvias del área de estudio (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

Con el propósito de dar continuidad a estudios previos se estudiará el mes de noviembre en la temporada de otoño del 2008, con el fin de observar cuales son las direcciones predominantes del flujo de las plumas de los ríos y la asociación con la generación de eventos de vientos del sur, localmente conocidos como suradas, o eventos de

viento provenientes del norte, localmente conocidos como norte. Lo esperado es que se presenten dos direcciones de dispersión: una hacia el norte y otra hacia el sur, y esto dependerá principalmente de la corriente inducida por el viento, los remolinos de mesoescala y la precipitación, que influyen en la descarga de los ríos, así como en la dirección y extensión de la pluma de los ríos en la zona costera norte de CASGM.

II. Antecedentes

Estudios en ríos como en la zona costera de China (Zhao, 2017), han demostrado que los forzamientos del viento influyen significativamente en la dinámica de la pluma del río ubicado en Hainan, donde los vientos del noreste (favorables a la bajante) impulsan el agua dulce al sur; sin embargo, los vientos del sureste impulsaron el agua río arriba. En la costa suroeste de la India en el este del Mar Arábigo en la plataforma de Kochi que se encuentra en el hemisferio norte, se esperaba que el flujo de la pluma del río se desviara hacia el norte debido a la rotación de la tierra. Sin embargo, en los estudios de ese río la pluma giró hacia el sur/norte (monzón de verano/monzón de invierno) en dirección de acuerdo con los vientos estacionales inversos (Seena *et al.*, 2019).

Se han realizado estudios en el Golfo de México donde se observa la entrada de la Corriente de Lazo con dirección hacia Florida, esta corriente desprende giros que se desplazan hacia el oeste y chocan cerca del este de Tamiahua que pertenece a la plataforma de Tampico y Veracruz conocido como TAVE, los remolinos anticiclónicos que se desprenden de la Corriente de Lazo, en el este de Tamiahua presenta valores de divergencia horizontal que delimitan la zona de transición entre flujo convergente hacia el norte y flujo divergente hacia el sur. Esta distribución de divergencia horizontal revela la colisión de un remolino anticiclónico cuya traslación es hacia el norte, moviéndose paralelo a la ruptura de la plataforma continental. La zona de transición, al este de Tamiahua, revela la región y estado inicial de la colisión del remolino. Dentro de la zona de colisión del remolino anticiclónico (~21.5 a ~23° N) el flujo baroclínico no muestra un flujo convergente ni divergente (Vidal *et al.*, 1992; 1994).

Se ha observado que en la plataforma continental TAVE la circulación marina, generada por el efecto del viento es hacia el sur dirigida y acelerada por los eventos atmosféricos de viento del norte, de septiembre a marzo en las temporadas de otoño e invierno llegando hasta el Banco de Campeche, mientras que en primavera y verano se presentan eventos de viento del sur, con la dirección de la corriente hacia el norte siendo abril el mes de transición (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 1992; Gutiérrez-de-Velasco y Winant, 1996; 1993; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Salas-Pérez *et al.*, 2012; Salas-Pérez *et al.*, 2018).

La dinámica marina presenta variaciones durante estas temporadas (Salas-Monreal *et al.*, 2015), los vientos del norte generan mezcla en la columna de agua en la plataforma

continental de Veracruz (Salas-Pérez y Arenas-Fuentes, 2011; Athié *et al.*, 2019), a su vez se modifica la posición de la termoclina y la circulación marina (Salas-Pérez *et al.*, 2012; Salas-Pérez y Sánchez-Díaz, 2012).

En cambio, en la temporada de verano, se presentan cambios de la temperatura superficial del mar (TSM), aumentando el número de eventos de surgencias proporcionando nutrientes del fondo a la columna de agua (Salas-Monreal *et al.*, 2015; Salas-Monreal *et al.*, 2018). Otra variable importante es la precipitación que incrementa el transporte de sedimentos hacia el océano por escorrimiento de los ríos. Esto podría disminuir la temperatura de la columna de agua de la zona costera, y aportar nutrientes requeridos para el crecimiento de microalgas que son productores primarios. Se ha demostrado que la pluma de los ríos pertenecientes a los ríos Coatzacoalcos al sur y Jamapa en el centro, presentan una correlación con la temperatura y Clorofila-*a*, ya que estos parámetros se incrementan (Salas-Pérez *et al.*, 2015; Salas-Monreal *et al.*, 2019). También se han descrito las trayectorias de las larvas de coral, donde la mayoría de las partículas se concentran en área de mayor clorofila-*a*, en frentes térmicos generados por la pluma de los ríos, evitando que migren más hacia el sur y se dirigen al área entre la Mancha y Chachalacas (Salas-Monreal *et al.* 2019).

Los estudios realizados a la pluma de los ríos del norte del CASGM han sido escasos, se enfocan principalmente en ciertas temporadas como lluvias (verano) debido a que presentan mayor afluencia afectan directamente a los arrecifes Tuxpan, Tanhuijo y En medio (Rodríguez-Lehovec *et al.*, 2021; Salas-Pérez *et al.*, 2023), en esta temporada es la única investigación realizada, por lo que es preciso investigar la dinámica de las plumas de los ríos cercanos al SALT, como son el río Tecolutla, el río Cazones, Tuxpan y conocer si tienen influencia en esta área de estudio del corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México.

III. Objetivos

3.1. Objetivo general

Determinar la dispersión de las plumas de los ríos del norte del corredor arrecifal, durante eventos atmosféricos de viento provenientes del sur (suradas) y del norte (nortes).

3.2. Objetivos particulares

Determinar la estructura de las plumas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla a partir de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar.

Determinar la variación de las plumas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla a partir de imágenes satelitales de Clorofila- α .

Determinar el efecto de las corrientes marinas sobre la distribución de las plumas de los ríos, inducidos por las corrientes marinas fluyendo del sur y del norte.

IV. Área de estudio

El corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México (CASGM) se encuentra en la plataforma continental de Veracruz, la cual es estrecha (~ 6–33 km), con una profundidad menor a 70 m y de forma sinuosa (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008). Donde se localizan el sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y una serie de formaciones coralinas conocidos como Arrecifes de los Tuxtlas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013) (Figura 1). Estos presentan una conectividad debido a los arrecifes sumergidos que se ubican entre cada sistema arrecifal, dando lugar al CASGM (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018). El CASGM se ve influenciado por remolinos, uno anticiclónico que impacta en la plataforma continental de Tampico y Veracruz (TAVE), y otro ciclónico en la Bahía de Campeche al sur del Golfo de México (Vidal *et al.*, 1992; Salas-de-León *et al.*, 1998).

Las corrientes costeras en esta zona son generadas por el viento, con una estacionalidad constante. La circulación que presenta es en sentido ciclónico, con una corriente hacia el sur en la plataforma continental, debido a la influencia de los frentes fríos, caracterizados por fuertes vientos del norte, localmente conocidos como “nortes” durante el otoño e invierno. Mientras que de mayo a agosto el viento predominante presenta una dirección del suroeste, por lo que la circulación se invierte en sentido anticiclónico con una corriente costera hacia el norte sobre la plataforma continental (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Salas-Pérez *et al.*, 2012; Salas-Pérez y Jordán-Garza, 2018).

La temperatura superficial del mar (TSM) tiene una variabilidad estacional. En primavera la TSM es relativamente alta 27 °C, mientras que en verano se observa máxima temperatura (30 °C), en otoño las temperaturas decrecen ligeramente a los 26 °C, mientras que en invierno se registran los valores mínimos de temperatura con 24 °C. Las aguas de los arrecifes del norte del estado de Veracruz son relativamente más frías comparadas con las del PNSAV y las del ALT. Los arrecifes del norte (SALT) tienen temperaturas de ~26 °C y las del río Tuxpan de ~26 °C las cuales mantienen una fluctuación de la TSM estacional. El PNSAV, por su parte, presenta temperaturas homogéneas de ~27 °C al igual que el río Jamapa con ~27 °C, considerándose una zona cálida comparada con las localidades del norte, mientras que los arrecifes del SAT son los más cálidos de la zona de estudio presentando los máximos valores de TSM de ~28 °C. Esta variable cambia sus valores y una de las principales razones son las descargas de ríos, que están fuertemente influenciadas por las precipitaciones,

las cuales, al aumentar, son directamente proporcionales a los gastos de los ríos los cuales son fertilizantes directos para el mar (Salas-Pérez *et al.*, 2015).

Esta región norte del CASGM cuenta con registros de precipitación con un periodo de 40 años, en los que registra un promedio anual total de 1509.26 mm, en secas un promedio de 1056.9 mm y en temporada de lluvias 2085.56 mm, durante los años 1960–2002 (INEGI, 2009).

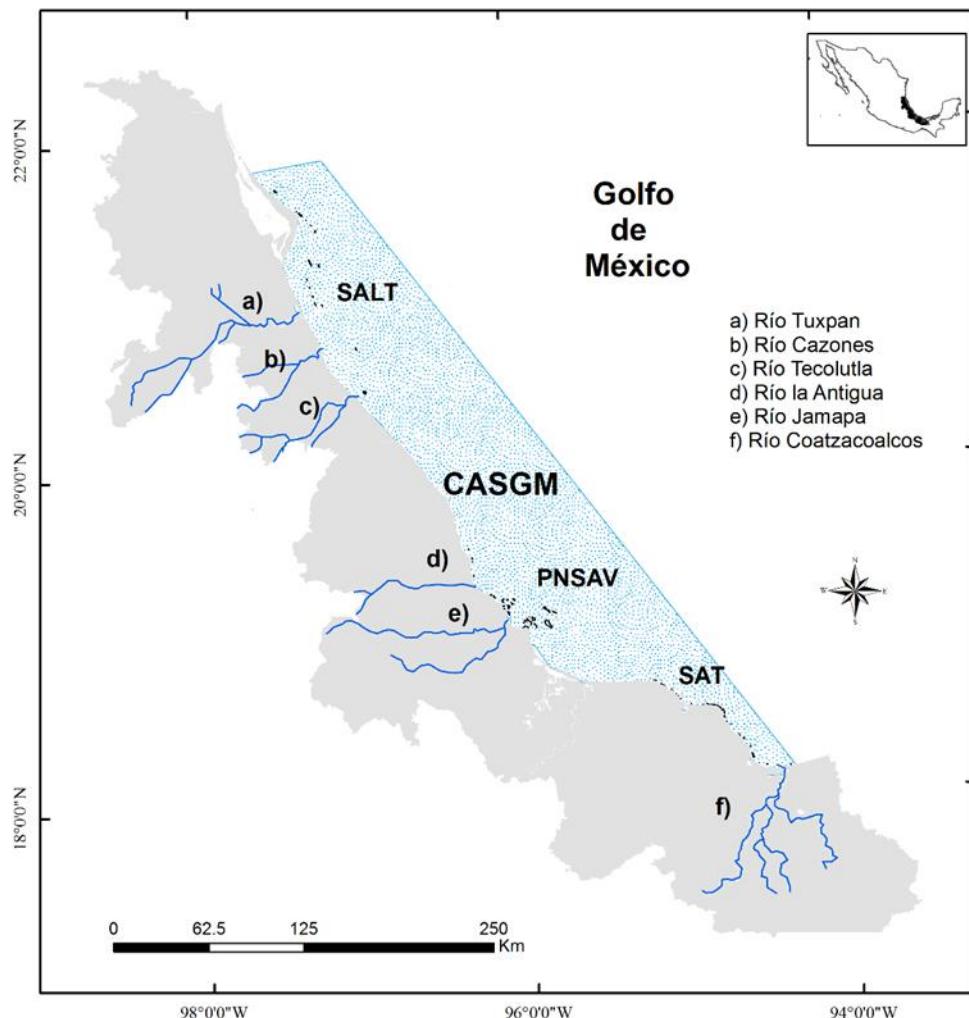


Figura 1. Polígono del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (en azul claro). Al norte el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (I), en el centro el PNSAV (II), en el sur los Arrecifes los Tuxtlas (SAT) (III). Principales afluentes del CASGM, los ríos Tuxpan (a), Cazones (b), Tecolutla (c), la Antigua (d), Jamapa (e) y Coatzacoalcos (f).

V. Materiales y métodos

Este estudio se realizó con información de la estación de otoño, específicamente del mes de noviembre del 2008. Utilizando variables ambientales como la temperatura superficial del mar (TSM), la concentración de Clorofila-*a* (Cl-*a* mg/m³), vientos (m/s), precipitación (mm) y velocidades geostróficas (m/s). Los conjuntos de datos de TSM y Cl-*a*, que se utilizaron en esta investigación se obtuvieron de Easier access to scientific data (ERDDAP: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>), la precipitación y los vientos de NCEP/NCAR Reanalysis at PSL (<https://psl.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>) y las velocidades geostróficas de las corrientes marinas de mesoscala, para la plataforma continental TAVE (donde el efecto de fricción no nulifica su veracidad) para determinar su influencia sobre la posición de las plumas de los ríos de la costa norte del Golfo de México occidental es proporcionada por el servicio de monitoreo ambiental marino de la comisión europea COPERNICUS (<https://www.copernicus.eu/es>). Finalmente se utilizaron datos de vientos y precipitación para determinar el efecto que tienen estas variables meteorológicas sobre el caudal de los ríos y la posición de la pluma.

Para este estudio la resolución de las imágenes de satélite es adecuada para caracterizar la pluma de los ríos y su influencia en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Los datos se analizaron con el programa de análisis y visualización de datos Matlab (2018). Se obtuvieron los promedios de las imágenes y datos meteorológicos de satélite por cada evento (suradas y nortes), con ese promedio se generaron imágenes, donde se combinaron la temperatura superficial del mar y la productividad primaria, con datos de corrientes geostróficas para posteriormente analizar la estructura, posición y variación espacio-temporal de las plumas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla, con respecto de sus desembocaduras y determinar su influencia sobre el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Para determinar si la pluma de los ríos llegaba a los arrecifes, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson utilizando el programa Past.

VI. Resultados

6.1 Precipitación y Vientos

En noviembre del 2008 se presentaron dos eventos importantes que influyeron en la dinámica de las plumas de los ríos, del 10 al 14 de noviembre se presentó un evento atmosférico de vientos de sur (surada) y del 15 al 20 de noviembre un evento atmosférico de viento del norte (norte). Durante el evento de surada el área lluviosa observada en el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México fue menor respecto a el evento de norte. Los valores promedio de precipitación fueron de 2–3 mm en la zona de la pluma de los ríos, con viento provenientes del norte (Figura 2). Mientras que, en el evento de norte, el promedio de precipitación fue de 3–4 mm, con vientos de norte a sur (Figura 3). El análisis de precipitación mostró la existencia de días mínimos de descarga fluvial de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla en el área de estudio y menor influencia de las aguas de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT).

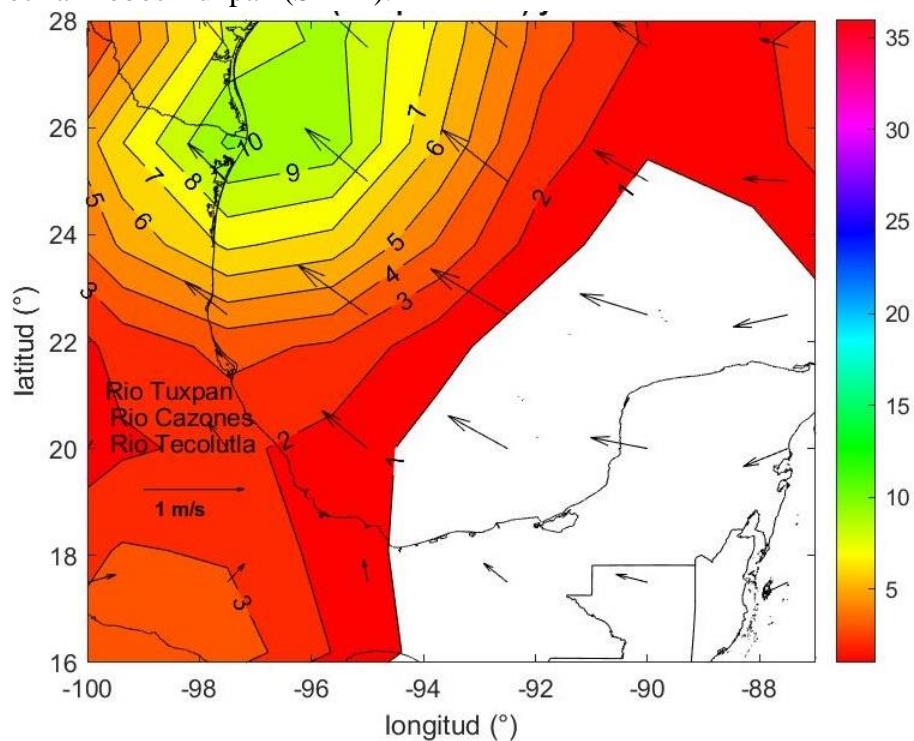


Figura 2. Precipitación (mm) durante el evento de surada del 10 al 14 de noviembre, otoño del 2008. Las flechas representan la velocidad de los vientos (m/s).

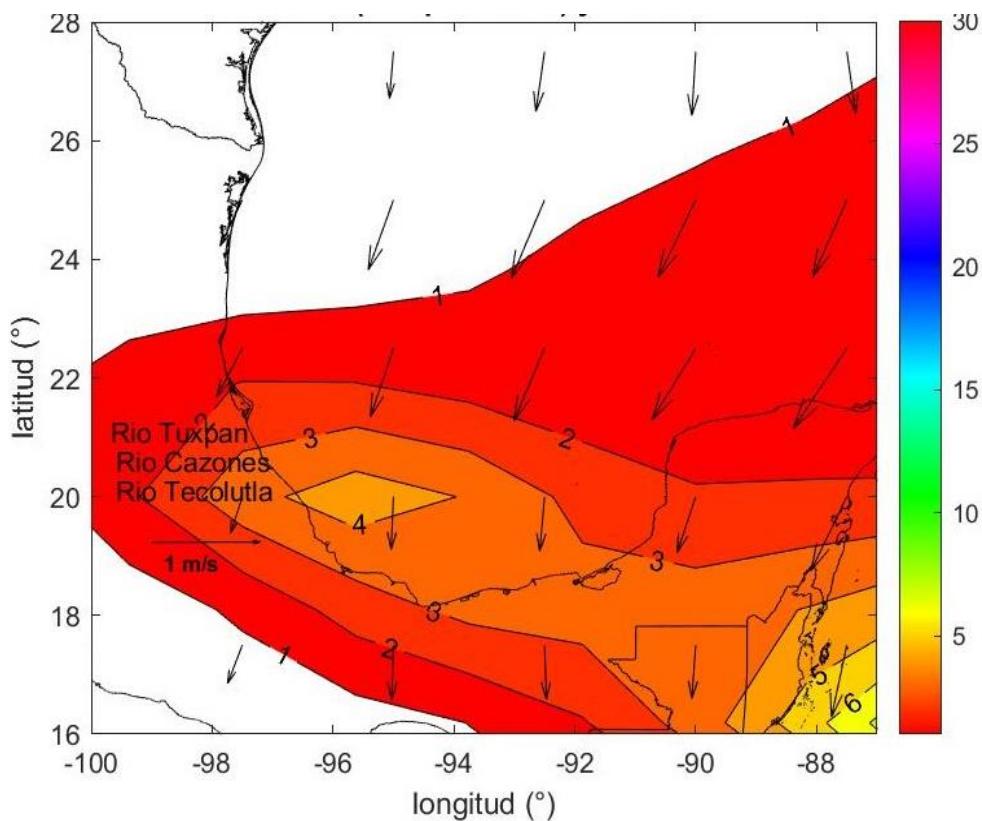


Figura 3. Precipitación (mm) durante el evento de norte del 15 al 20 de noviembre, otoño del 2008. Las flechas representan la velocidad de los vientos (m/s).

6.2 Temperatura superficial del mar y velocidad geostrófica durante el evento de surada

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) para el otoño de 2008 durante el evento de surada varió entre 25.9 a 26.8 °C, desde el río Tecolutla hasta el arrecife blanquilla. La temperatura del agua frente al río Tuxpan presentó rangos de 26.1 °C a 26.3 °C, el río Cazones de 26.1 °C a 26.5 °C y en el río Tecolutla fue de 25.9 °C a 26.4 °C. Las aguas presentes en los sitios estudiados y los puntos de control presentan valores de temperatura similares (Tabla 1).

Tabla I. Temperatura superficial del mar (°C) en evento de vientos del sur

Día	Río Tuxpan	Río Cazones	Río Tecolutla	Arrecife Tuxpan	Arrecife Enmedio	Arrecife Tanhuijo	Arrecife Lobos	Arrecife Medio	Arrecife Blanquilla	Control norte	Control sur	Control Océano
10	26.3	26.2	26.4	26.4	26.3	26.8	26.0	25.9	25.9	26.2	26.4	26.7
11	26.3	26.4	26.3	26.3	26.3	26.3	26.2	26.2	26.2	26.4	26.4	26.6
12	26.3	26.5	26.3	26.3	26.2	26.2	26.1	26.1	26.1	26.4	26.4	26.6
13	26.1	26.2	26.1	26.1	26.0	26.0	25.9	26.0	26.0	26.2	26.3	26.5
14	26.2	26.1	25.9	26.3	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.3	26.3	26.4

Las corrientes geostróficas superficiales de noviembre mostraron que se presentó un remolino frente a Tamiahua de donde se desprendieron tres corrientes una con dirección hacia el norte, otra al sur y una que se dirigió hacia la costa norte de Veracruz donde se encuentran los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, facilitando el transporte de masas de agua del norte a esta zona obstaculizando la visualización de las plumas de estos ríos. Mientras tanto se puede apreciar las aguas provenientes del norte con temperatura de 26.4 °C que está limitada en ~20.6 latitud norte en el primer día de la temporada, mientras que para el día 11 se observa más allá de la latitud ~20.4° N, los días 12 y 13 de este evento atmosférico, las masas de agua proveniente del norte se limitan en la latitud 20.9° N debido a la intromisión de una corriente que se desprende del remolino presente frente a Tamiahua (Figuras 4, 5).

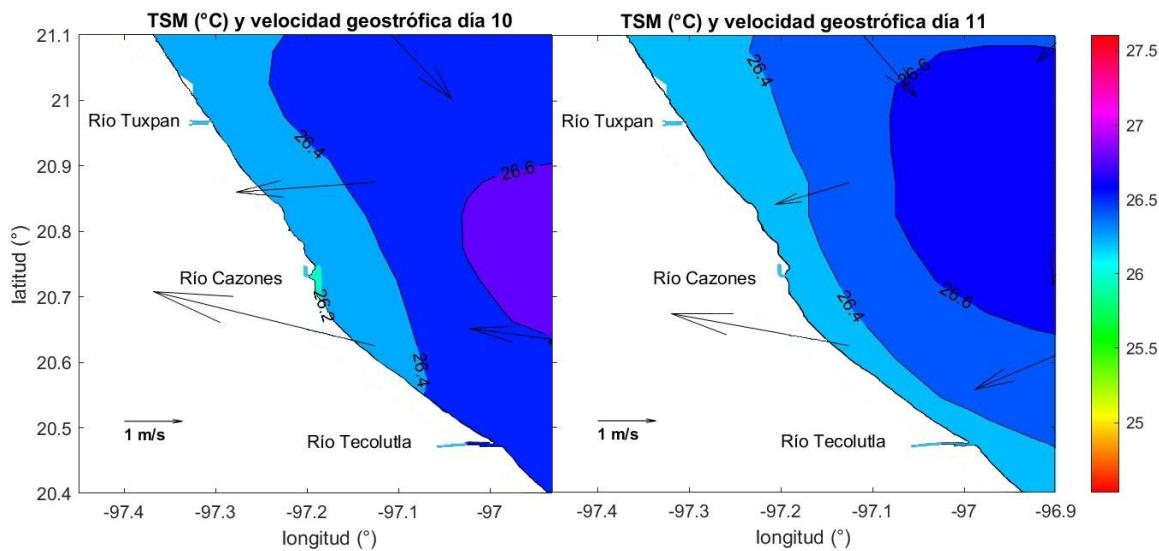


Figura 4. Variación de la temperatura superficial del mar (°C) y patrón de corrientes superficiales (m/s), durante el evento de surada del 10 al 11 de noviembre.

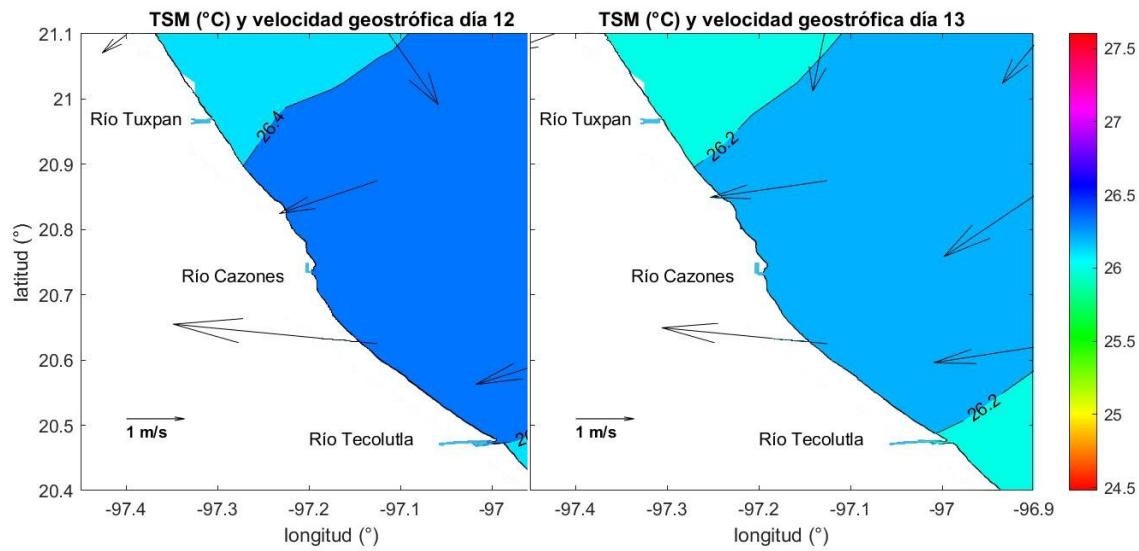


Figura 5. Variación de la temperatura superficial del mar (°C) y patrón de corrientes superficiales (m/s), durante el evento de surada del 12 al 13 de noviembre.

En la temporada de surada la relación positiva y significativa se encontró entre el río Tuxpan con el arrecife Tuxpan, por lo que nos da a conocer que las aguas del río Tuxpan están presentes en el arrecife Tuxpan, la pluma del río Cazones mostró mayor correlación con el punto de control del norte, mientras que entre el río Tecolutla presenta una relación positiva y significativa con el punto de control tomado océano adentro (cono) (Tabla 2). Los puntos de control tomados en este estudio son tres uno hacia el norte del arrecife Blanquilla (conn), uno hacia el sur del río Tecolutla (cons), mientras que el tercero hacia el océano justo frente a los tres ríos (cono).

Tabla 2. Correlaciones entre la TSM de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de suradas.

Variable	Temporada	Ríos	Arrecifes	r-Pearson	p-valor
Temperatura superficial del mar	Surada	Río Tuxpan	Tuxpan	0.92	0.0258
			Enmedio	0.82	0.0862
			Tanhuijo	0.62	0.263
			Lobos	0.41	0.4878
			Medio	0.19	0.7654
			Blanquilla	0.12	0.852
			Conn	0.37	0.5436
			Cons	0.66	0.2291
			Cono	0.63	0.25
		Río Cazones	Tuxpan	0.14	0.8219
			Enmedio	0.04	0.9526
			Tanhuijo	-0.26	0.6673
			Lobos	0.22	0.7186
			Medio	0.29	0.6328
			Blanquilla	0.34	0.5772
			Conn	0.83	0.0787
			Cons	0.76	0.138
			Cono	0.62	0.2695
		Río Tecolutla	Tuxpan	0.48	0.4152
			Enmedio	0.35	0.5612
			Tanhuijo	0.55	0.3318
			Lobos	-0.18	0.7776
			Medio	-0.37	0.5355
			Blanquilla	-0.38	0.5306
			Conn	0.17	0.788
			Cons	0.82	0.0877
			Cono	0.99	0.0017

Nota: Puntos de control al norte (Conn), al sur (Cons), hacia el océano (cono).

6.3 Clorofila-a (Cl-a) durante el evento de vientos del sur (surada) y velocidades geostróficas

En otoño durante el evento atmosférico del sur en el golfo de México, los valores de Cl-a para el río Tuxpan fueron de 39.9 a 41 mg/m³, en el caso del río Cazones fueron de 37.4 a 40.6 mg/m³, el nivel más bajo se presentó al final de la temporada, el más alto al inicio de ésta. El río Tecolutla presentó rangos de 35.0 a 41.3 mg/m³, mostrando el valor más bajo el día 12 y el más alto al inicio de la temporada. Las aguas presentes en la pluma del río Tuxpan y el arrecife Tuxpan coinciden con las presentes en el punto de control al sur, en el día 10 (Tabla 3).

En general, las desembocaduras de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla tuvieron valores más altos que sus aguas adyacentes. Durante todos los días (10 a 14 de noviembre 2008), se observó un incremento considerable de los valores en todo el sistema, esto se atribuyó a la dispersión de las aguas del norte y sur debido a los patrones de corrientes geostróficas (Figura 6).

Tabla 3. Clorofila-a (mg/m³) superficial del mar en evento de vientos del sur

Día	Río Tuxpan	Río Cazones	Río Tecolutla	Arrecife Tuxpan	Arrecife Enmedio	Arrecife Tanhuijo	Arrecife Lobos	Arrecife Medio	Arrecife Blanquilla	Control norte	Control sur	Control Océano
10	41.0	40.6	41.3	41.1	41.0	40.8	40.8	40.9	40.8	40.5	41.2	41.9
12	39.5	37.4	35.0	39.5	38.3	39.2	35.0	38.7	39.2	39.1	34.7	39.3
13	38.4	38.9	38.9	38.8	38.4	38.3	36.8	37.7	37.7	37.0	38.8	13.6
14	39.9	39.4	39.4	40.1	39.8	40.1	39.7	39.5	39.7	39.8	39.3	36.5

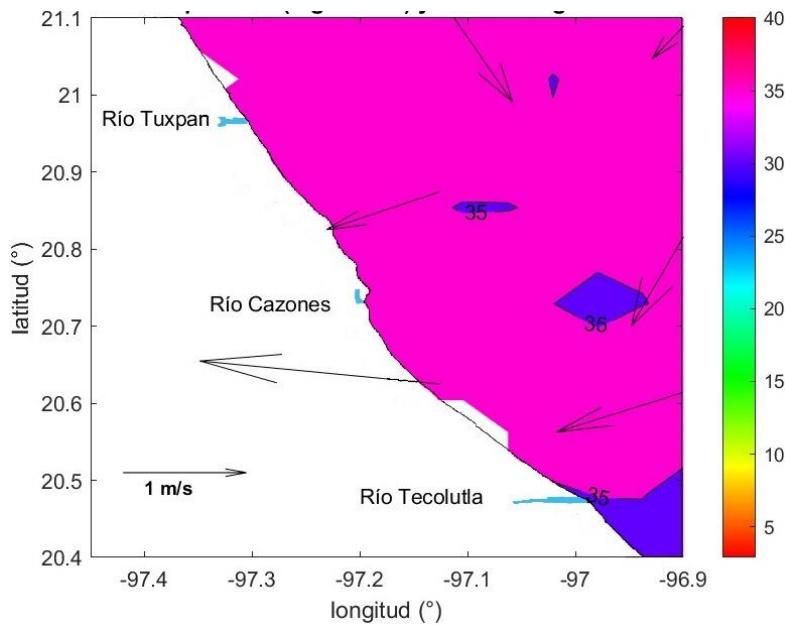


Figura 6. Valores de la Clorofila- α (mg/m^3) y velocidad geostrófica (m/s), durante el 12 de noviembre 2008.

En general se obtuvieron correlaciones significativas y positivas entre el río Tuxpan y el arrecife Lobos ($r=0.95$ y $p=0.04$), mientras que para el río Cazones se obtuvieron con el punto de control al sur (cons), en el caso del río Tecolutla la mayor correlación se muestra con el punto de control al sur (Tabla 4). Durante este evento atmosférico las aguas en los ríos Tecolutla y cazones tuvieron mayor correlación con aguas provenientes del sur, debido a la corriente del sur, mientras que para el río Tuxpan que es el más cercano al norte, está más asociado a las aguas del arrecife Lobos, debido a la corriente que se desprende del remolino que está frente a Tamiahua.

Tabla 4. Correlaciones entre la Cl-a. de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de suradas.

Variable	Temporada	Ríos	Arrecifes	r-Pearson	p-valor
Temperatura superficial del mar	Surada	Río Tuxpan	Tuxpan	0.99	0.01
			Enmedio	0.88	0.1163
			Tanhuijo	0.98	0.024
			Lobos	0.72	0.2832
			Medio	0.99	0.0107
			Blanquilla	1	0.0035
			Conn	0.96	0.041
			Cons	0.45	0.5453
			Cono	0.87	0.1338
		Río Cazones	Tuxpan	0.71	0.2856
			Enmedio	0.91	0.0913
			Tanhuijo	0.68	0.3186
			Lobos	0.95	0.0459
			Medio	0.72	0.2797
			Blanquilla	0.57	0.4341
			Conn	0.45	0.5473
			Cons	0.98	0.0186
			Cono	0.16	0.8443
		Río Tecolutla	Tuxpan	0.57	0.4318
			Enmedio	0.81	0.1862
			Tanhuijo	0.54	0.4624
			Lobos	0.91	0.09
			Medio	0.57	0.4256
			Blanquilla	0.4	0.601
			Conn	0.28	0.716
			Cons	1	0.0002
			Cono	-0.03	0.9692

Nota: Puntos de control al norte (Conn), al sur (Cons), hacia el océano (Cono).

6.4 Temperatura superficial del mar durante el evento de vientos del norte y velocidades geostróficas

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) para el otoño de 2008 durante el evento atmosférico de viento del norte presentó una variación entre 24.7 y 26.4 °C, la pluma del río Tuxpan presenta los mismos valores que los que se observaron en el arrecife Tuxpan. (Tabla 5). Durante este evento de viento proveniente del norte, la temperatura del mar frente al río Tuxpan bajó 1.4 °C. Frente al río Cazones la temperatura superficial decreció en 1.5 °C, en el río Tecolutla se presentó una disminución de 1.2 °C. Mientras que para los arrecifes Enmedio y Tanhuijo la disminución de la temperatura fue de 1.6 °C (Tabla 1, 5).

Durante el día 15 se aprecia una masa de agua fría (26.2°C). provenientes del norte, y una corriente cálida (26.4°C) que se dirige hacia la zona costera de los ríos Tuxpan, Cazones (Figura 7). El día 19 y 20 masas de agua fría (24.8 a 25.2°C) provenientes del norte se establecen hasta 20.5° N latitud norte y masas de aguas cálidas provenientes del sur (25.4 a 25.8°C), se desplazan las masas de agua fría (Figura 8).

Tabla 5. Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) en evento de vientos del norte

Día	Río Tuxpan	Río Cazones	Río Tecolutla	Arrecife Tuxpan	Arrecife Enmedio	Arrecife Tanhuijo	Arrecife Lobos	Arrecife Medio	Arrecife Blanquilla	Control norte	Control sur	Control Océano
15	26.4	26.3	25.9	26.4	26.4	26.3	26.4	26.4	26.4	26.5	26.7	26.6
16	25.9	25.5	25.6	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	26.1	26.4	26.3
17	25.4	25.6	25.5	25.4	25.2	25.2	25.3	25.4	25.5	25.8	26.2	26.1
18	25.0	25.2	25.3	25.0	24.8	24.8	24.9	25.0	25.0	25.3	25.7	25.7
19	24.9	25.1	25.2	24.9	24.7	24.7	24.9	24.9	25.0	25.4	25.5	25.6
20	24.9	25.0	25.2	24.9	24.8	24.8	24.8	24.9	24.9	25.2	25.5	25.6

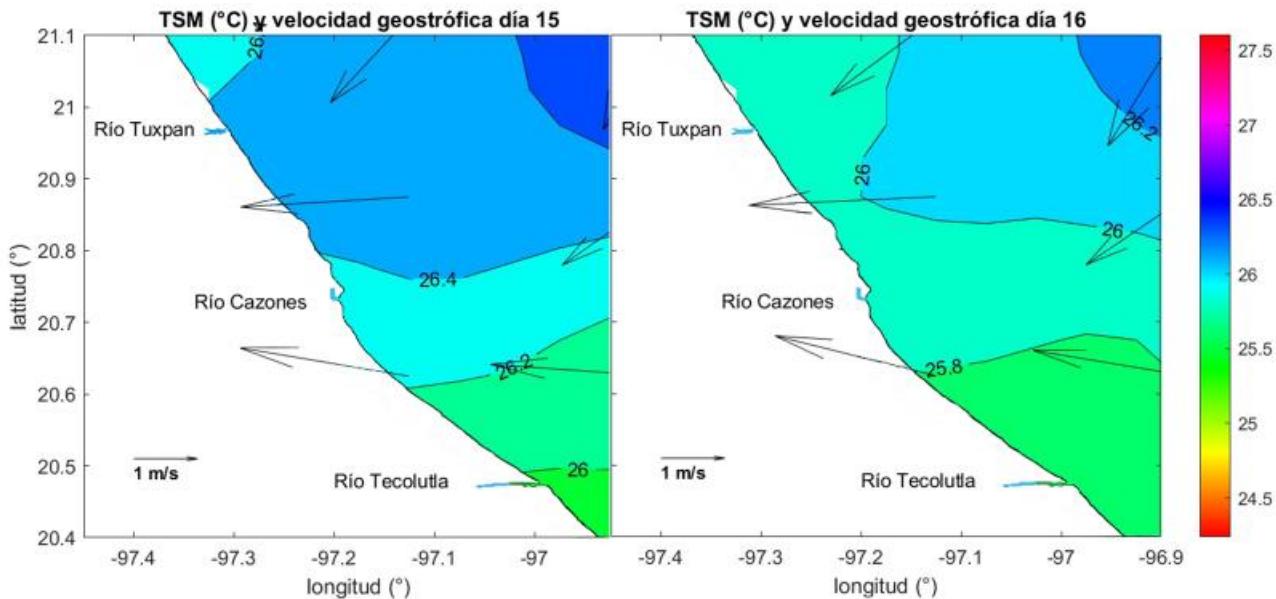


Figura 7. Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) y velocidades geostróficas (m/s) durante un evento de norte, ocurrido para los días 15 y, 16 de noviembre del 2008

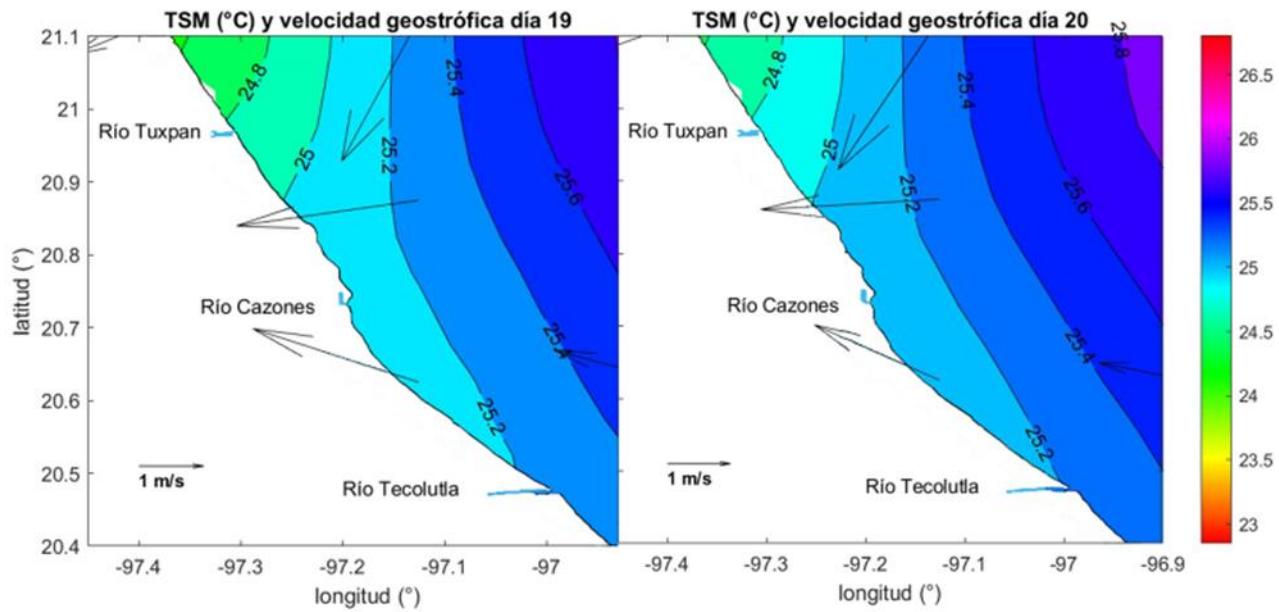


Figura 8. Temperatura superficial del mar ($^{\circ}$ C) y velocidades geostróficas (m/s) durante un evento de norte, ocurrido los días 19 y 20 de noviembre del 2008

De manera general se encontró una asociación positiva y significativa entre la TSM de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla con la presente en los arrecifes del SALT durante la temporada de norte (Tabla 6). Las asociaciones más significativas entre la TSM durante la temporada de norte se presentaron entre todos los arrecifes del SALT con el río Tuxpan.

Tabla 6. Correlaciones entre la TSM de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de norte

Variable	Temporada	Ríos	Arrecifes	r-Pearson	p-valor
Temperatura superficial del mar	Norte	Río Tuxpan	Tuxpan	1	<0.0001
			Enmedio	1	<0.0001
			Tanhuijo	1	<0.0001
			Lobos	1	<0.0001
			Medio	1	<0.0001
			Blanquilla	1	<0.0001
			Conn	0.99	<0.0001
			Cons	0.98	<0.0005
			Cono	0.99	<0.0001
		Río Cazones	Tuxpan	0.98	0.0004
			Enmedio	0.98	0.0006
			Tanhuijo	0.98	0.0008
			Lobos	0.98	0.0004
			Medio	0.99	0.0002
			Blanquilla	0.99	0.0001
			Conn	0.99	0.0002
			Cons	1	<0.0001
			Cono	1	<0.0001
		Río Tecolutla	Tuxpan	0.98	0.0005
			Enmedio	0.98	0.0007
			Tanhuijo	0.97	0.0011
			Lobos	0.98	0.0007
			Medio	0.98	0.0004
			Blanquilla	0.99	0.0003
			Conn	0.98	0.0008
			Cons	0.98	0.0008
			Cono	0.99	0.0002

Nota: Puntos de control al norte (Conn), al sur (Cons), hacia el océano (Cono).

6.5 Clorofila-*a* durante un evento de viento del norte y velocidades geostróficas

Durante los días del evento de norte ocurrido los días 17 y 18 de noviembre, los valores de la Cl-*a* en el río Tuxpan se obtuvo en un rango de 35.7 a 40.0 mg/m³, en el río de Cazones 36.6 a 39.8 mg/m³, y el río Tecolutla de 28.3 a 39.1 mg/m³, durante los días 16 a 18, que fue cuando el evento atmosférico tuvo su mayor intensidad. El río Tecolutla desde el día 18 presenta el valor más bajo, debido a su ubicación más al sur que los otros dos ríos. Los arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos (SAL: lobos, medio y Blanquilla) presentaron valores de 3.4 a 4.0 mg/m³, en el Sistema Arrecifal Tuxpan de 3.4 a 7.9 mg/m³, mientras que para el río de Tuxpan 3.1 mg/m³, el río Cazones presentó valores de 8.1 mg/m³ y el río Tecolutla de 5.3 mg/m³, estos datos se obtuvieron el primer día del evento de viento provenientes del norte. (Tabla 7).

Tabla 7. Clorofila-*a* (mg/m³) superficial del mar en evento de vientos del norte

Día	Río Tuxpan	Río Cazones	Río Tecolutla	Arrecife Tuxpan	Arrecife Enmedio	Arrecife Tanhuijo	Arrecife Lobos	Arrecife Medio	Arrecife Blanquilla	Control norte	Control sur	Control Océano
15	3.1	8.1	5.3	7.9	11.1	3.4	3.4	3.9	4.0	5.1	5.3	16.4
16	38.9	37.8	38.6	38.7	38.5	38.6	38.3	38.6	38.3	39.3	38.6	8.8
17	40.0	39.8	39.1	36.3	39.9	39.9	39.6	39.4	39.2	36.0	20.9	36.5
18	35.7	36.6	28.3	40.1	37.6	35.7	14.7	29.8	34.3	37.6	26.7	34.0
19	9.6	19.1	26.4	7.4	11.5	10.0	16.0	23.5	24.5	18.5	20.5	6.2

La pluma de los ríos Cazones y Tecolutla se logra apreciar debido a la convergencia de las aguas trasportadas por el desprendimiento de una corriente del remolino ubicado frente a Tamiahua, presentando una forma de “cresta”, ambas con dirección hacia el sur, representadas con valores de Cl-*a* de 5 mg/m³ que están representados en color amarillo oscuro (Figura 9). Las plumas de los ríos solo se pueden apreciar durante el día 15; mientras que mar adentro convergen las masas provenientes del norte con valores altos de Cl-*a* de 40 mg/m³ representados en color rojo. También se puede apreciar la circulación de mesoescala que converge frente a la zona costera de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla, esta masa de agua proviene del remolino que está frente a Tamiahua que presenta corriente costera con dirección al norte, con dirección sur y una hacia la costa. El el día 19 se puede apreciar una mezcla de masas de agua provenientes del sur, norte y del mar adentro, esta mezcla es debida a los remolinos en la zona (Figura 10).

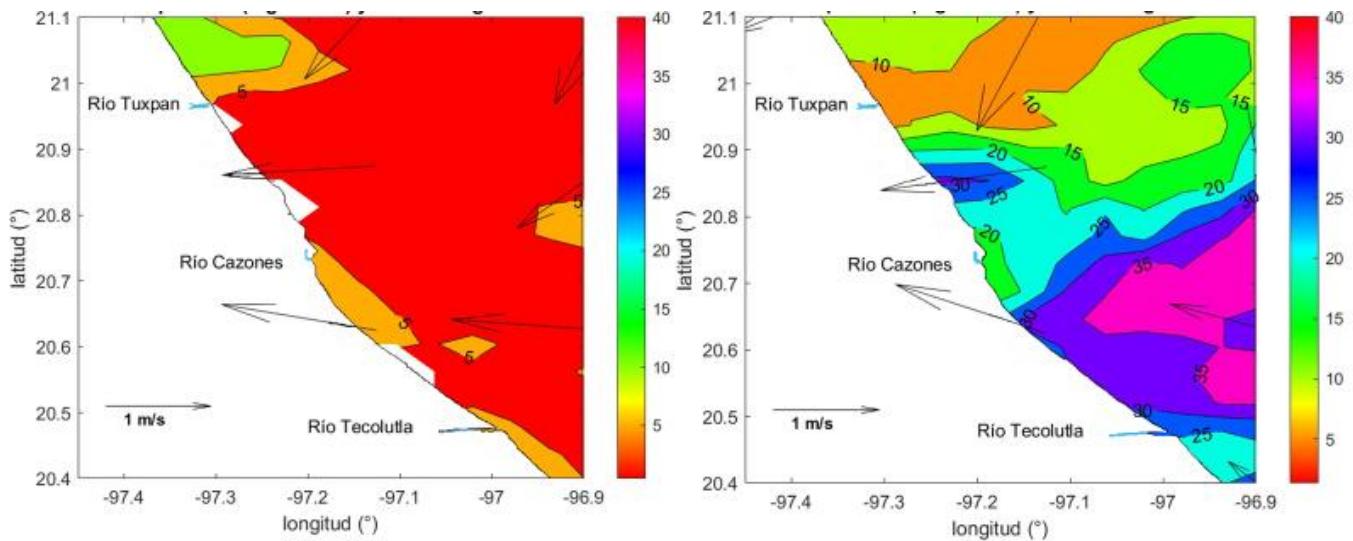


Figura 9. Clorofila- α (mg/m³) y Velocidades geostróficas durante un evento de norte, para los días 15, 19 de noviembre del 2008.

Durante el evento atmosférico de norte, los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla presentaron una correlación positiva y significativa entre la productividad primaria, con la presente en los arrecifes Enmedio y Tanhuijo, Medio y Blanquilla, (Tabla 8). Esto puede ser ocasionado por el arrastre de las aguas del norte hacia los ríos por la corriente superficial del remolino frente a Tamiahua.

Tabla 8. Correlaciones entre la Cl- α de distintos ríos con los arrecifes del SALT y puntos de control durante la época de norte.

Variable	Temporada	Ríos	Arrecifes	r-Spearman	p-valor
Temperatura superficial del mar	Surada	Río Tuxpan	Tuxpan	0.9	0.0719
			Enmedio	1	0.0455
			Tanhuijo	1	0.0455
			Lobos	0.9	0.0719
			Medio	1	0.0455
			Blanquilla	1	0.0455
			Conn	0.07	0.1615
			Cons	0.07	0.1615
			Cono	0.5	0.3173
		Río Cazones	Tuxpan	0.9	0.0719
			Enmedio	1	0.0455
			Tanhuijo	1	0.0455
			Lobos	0.9	0.0719
			Medio	1	0.0455
			Blanquilla	1	0.0455
			Conn	0.7	0.1615
			Cons	0.7	0.1615
			Cono	0.5	0.3173
		Río Tecolutla	Tuxpan	0.9	0.0719
			Enmedio	1	0.0455
			Tanhuijo	1	0.0455
			Lobos	0.9	0.0719
			Medio	1	0.0455
			Blanquilla	1	0.0455
			Conn	0.7	0.1615
			Cons	0.7	0.1615
			Cono	0.5	0.3173

Nota: puntos de control al norte (Conn), al sur (Cons), hacia el océano (cono).

VII. Discusión

7.1 La estructura de las plumas de los ríos a partir de imágenes TSM

En el presente estudio se demostró que, durante el evento atmosférico con vientos provenientes del norte, durante la temporada de otoño en el mes de noviembre, el gradiente superficial de las masas de agua en la zona norte del corredor arrecifal Veracruzano presentaron valores de 24.7 a 26.4 °C. Lo cual es similar a lo reportado para la región occidental del Golfo de México. Müller-Karger y Walsh (1991) reportan temperatura del agua menor a 27 °C durante la temporada de otoño entre los meses de agosto a septiembre. Esto es resultado de la interacción con vientos que transportan aire frío proveniente del norte mayormente durante el invierno, que ponen resistencia a las aguas cálidas procedentes del sureste, en su trayectoria hacia el noroeste (Vidal *et al.*, 1994; Expósito-Díaz *et al.*, 2009; Avendaño-Álvarez, 2013).

Salas-Pérez *et al.* (2018) muestran que las masas de agua en los arrecifes del SALT tienen un gradiente superficial con temperaturas que fluctúan entre 24.9 y 26.4 °C. Cabe mencionar que los resultados obtenidos por Salas-Pérez *et al.* (2018) muestran rangos más altos que los presentados en este estudio, esto es debido a que ambos estudios se realizaron en diferentes temporadas.

La temperatura de la superficie del mar de las masas de agua frente al río Tuxpan, presentaron valores de 26.1 a 26.3 °C durante el evento de vientos del sur, mientras que en la temporada de vientos del norte fue de 24.9 a 26.4 °C. Estos valores de temperatura superficial del mar son más bajos que los reportados por Rodríguez Lehovec *et al.* (2021) para el 15 de junio en verano del 2005, con valores entre 28.5 °C y 28.6 °C, temperaturas más altas que las encontradas en este estudio. Los resultados reportados por Rodríguez Lehovec *et al.* (2021) son de verano, mientras que los obtenidos en este estudio fueron de otoño, por esa razón se muestran diferentes temperaturas.

La pluma del río Tecolutla y Cazones presenta forma de “cresta” empezando a formarse al inicio de la temporada (día 10) hasta estar en plena forma al final del evento (día 14). Esto concuerda con lo mostrado por Salas-Pérez *et al.* (2021) durante la temporada de máximas lluvias, aunque ambos estudios fueron realizados en diferentes temporadas muestran la misma estructura.

7.2 La Variación de las plumas de los ríos

Durante el evento de norte correspondiente al día 15, las masas de agua frente a los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla presentaron valores de Cla-a de 3.1, 5.3, 8.1 mg/m³, respectivamente. La pluma de los ríos Cazones y Tecolutla presentaron una deflexión hacia la derecha, con dirección al sur. Esto concuerda con los estudios realizados en la plataforma TAVE (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 1992; Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996; 1993; Zavala Hidalgo *et al.*, 2003; Salas Pérez *et al.*, 2012; Salas Pérez *et al.*, 2018), donde los eventos atmosféricos de viento del norte, de septiembre a marzo en las temporadas de otoño e invierno, desvían las masas de agua hacia el Banco de Campeche incrementando el efecto de Coriolis que en el hemisferio norte desvía las plumas de los ríos hacia la derecha de su desembocadura.

Durante estos dos eventos de vientos del norte y sur la precipitación que se presentó fue de 2 a 3 mm en promedio para vientos provenientes del sur y de 3 a 4 mm en promedio durante los vientos del norte, que son valores bajos y que no influenciaron la pluma de los ríos. Esto contrasta con el estudio realizado en el año 2005 durante los días de máximas lluvias presentando valores de 30 mm/día, alargado hacia el norte la pluma del río Tuxpan, llegando a los arrecifes de coral de Tanhuijo y Enmedio, (Rodriguez Lehovec *et al.*, 2021). Esto es similar a lo observado por Seena *et al.* (2019) al este del Mar Arábigo donde se esperaba que el flujo de la pluma del río se desviara hacia el norte debido a la rotación de la tierra; sin embargo, la dirección de la pluma fue condicionada por los vientos estacionales inversos.

Los valores de Clorofila-*a* para los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla durante ambas temporadas varían de 3.1-40.1 mg/m³, los valores más altos de clorofila-*a* se observaron durante toda la temporada de vientos provenientes del sur y los días 16, 17 y 18 de la temporada de vientos provenientes del norte con valores de 29.8 a 40.9 mg/m³, mostrando los valores más bajos (3.1, 5.3, y 8.1 mg/m³) durante la transición entre ambos eventos de vientos, lo cual es similar con lo mostrado por Salas-Pérez *et al.* (2023) que presentó valores de 5-6 mg/m³ durante junio y agosto del 2005 al 2011 con la corriente geostrófica moviéndose principalmente hacia el norte; sin embargo, ambos estudios muestran valores >1 mg/m³ de concentración de clorofila-*a*, por lo cual en ambos casos se crea un área eutrófica (>1 mg/m³), en diferentes temporadas lo que coincide con lo reportado para el PNSAV y

SAT, ambas áreas arrecifales tienen exposiciones directas a sus ríos adyacentes, creando un área eutrófica ($>1 \text{ mg/m}^3$ de concentración de clorofila-*a*) durante la temporada verano-otoño, bajo la influencia de aguas cálidas (27-29 °C) (Carricart-Ganivet y Merino 2001; Horta-Puga *et al.*, 2013; Salas-Pérez *et al.*, 2015; Carreón-Palau *et al.*, 2017, 2021; Avendaño *et al.*, 2019).

7.3 El efecto de las corrientes marinas sobre la distribución de las plumas de los ríos

Se presentó un remolino anticiclónico ubicado frente a la laguna de Tamiahua en la zona norte del suroeste del Golfo de México, que es consistente con estudios anteriores que indica un remolino anticiclónico que se desprenden de la corriente de Lazo, (Vidal *et al.*, 1992; 1994).

El remolino de mesoscala que se presentó desprende una corriente que se dirige a la zona costera de Tuxpan y Cazones que trae consigo masas de agua proveniente del norte que son más frías (0.2 °C), que nulificaron la observación de la pluma de estos dos ríos en ambos eventos de viento (norte y sur). Esto difiere con lo mostrado por Salas-Monreal *et al.* (2019) realizado entre agosto del 2015 a mayo del 2016 que muestra que la dirección del remolino se encuentra paralelo a la costa y fuera de la plataforma continental entre el SALT y SAV, mientras que, comparado con el presente estudio, el remolino se presentó frente a las costas de Tamiahua, esta diferencia puede presentarse por que ambos estudios fueron realizados en diferentes temporadas y años de estudio.

En noviembre del 2008, durante la temporada de otoño, la corriente presenta una dirección principal hacia el sur que concuerda con lo reportado anteriormente, donde indican que la circulación marina, generada por el efecto del viento es hacia el sur dirigida y acelerada por los eventos atmosféricos de viento del norte, de septiembre a marzo en las temporadas de otoño e invierno (Gutiérrez de Velasco *et al.*, 1992; Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996; 1993; Zavala Hidalgo *et al.*, 2003; Salas Pérez *et al.*, 2012; Salas Pérez *et al.*, 2018). Sin embargo, en esas investigaciones mencionan la llegada de la corriente hasta el Banco de Campeche mientras que en esta investigación solo a 20.2 latitud norte, hacia el sur del río Tecolutla. Esto puede deberse a la presencia de una corriente costera dominada principalmente por el esfuerzo del viento provenientes del sur (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003),

que generó una variación en la dirección del penacho del río Cazones y Tecolutla, durante el evento de vientos provenientes del norte (días 15-16).

Se presenta convergencia de corrientes costeras inducidas por vientos locales con dirección norte y sur, a 20 latitud norte. Que acierta con lo reportado por Zavala-Hidalgo *et al.* (2003) en otoño e invierno, en el suroeste de la plataforma LATEX (Luisiana y Texas).

VIII. Conclusiones

La dispersión de la Pluma de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla se dispersó hacia el sur durante el evento atmosférico de vientos del norte.

La presencia de los remolinos en el golfo de México nos mostró que las masas de agua del norte son las que presentan valores altos en producción primaria (40 mg/m^3), mientras que las masas de agua provenientes del sur presentaron valores de $10\text{--}29 \text{ mg/m}^3$, sin embargo, ambos son valores muy altos, en comparación con los obtenidos en las masas de agua frente a la pluma de los ríos y los arrecifes de SALT ($3 \text{ a } 4 \text{ mg/m}^3$), con estos valores se cumplió con el objetivo de determinar la dispersión de las plumas de los ríos del norte del corredor arrecifal del suroeste del golfo de México.

Durante la temporada de otoño en noviembre del 2008, las plumas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla no afectaron al Sistema Arrecifal Tuxpan, sin embargo, las masas de agua provenientes del norte con temperaturas bajas (las temperaturas descendieron $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y niveles altos de productividad primaria sí estuvieron presentes en la zona de estudio.

En la temporada de eventos atmosféricos con vientos del norte en los arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), tendremos la presencia de masas de agua provenientes del norte, que provocan que baje la temperatura superficial del mar en aproximadamente $1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Se complicó obtener la estructura de los ríos Tuxpan y Cazones por la presencia de una corriente geostrófica de mesoescala que converge frente las costas de Cazones y Tuxpan entorpeciendo la determinación de la estructura de estos ríos ya que esta corriente arrastró aguas del norte a esta zona.

Este estudio se demostró que las masas de agua presentes en los arrecifes y en la zona costera de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla son provenientes del norte cuando los valores de temperatura superficial del mar son bajos.

El río Tecolutla es el más grande de los tres ríos estudiados y se encuentra más al sur, por lo cual no se vio afectado por el remolino de mesoescala.

IX. Aplicación práctica

Desde el punto de vista práctico, el presente estudio brinda conocimiento sobre la dispersión de la Pluma de los Ríos que se encuentran en el norte de Veracruz como son el río Tuxpan, Cazones, Tecolutla ya que la descarga de estos ríos por medio del escurrimiento aporta a los sistemas oceánicos nutrientes, contaminantes, sedimentos y cambios de temperatura del mar. Los nutrientes que se aportan al océano son muy importantes para la productividad primaria que es necesaria para sustentar las zonas de pesca, mientras que los sedimentos trasportados nos permite tener playas en las zonas costeras cercanas a los ríos. Cerca de la descarga de estos ríos se encuentra el Sistema arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), en el que habita una gran biodiversidad marina, en particular las especies de corales *Acropora cervicornis* y *A. palmata* que son muy sensibles a los cambios en el ambiente y se encuentran bajo una categoría de protección. El presente estudio nos brinda información de la dispersión de la pluma de los ríos en dos eventos atmosféricos con vientos del norte y vientos del sur para dilucidar si se ven afectados los arrecifes del SALT.

Este proyecto contribuye como un antecedente a estudiantes, investigadores para realizar futuros estudios biológicos, oceanográficos, arrecifales o de pesquerías ya que dependiendo de la temporada como es el caso de la temporada de secas, la pluma de los ríos presentes en esta zona, no afectaron directamente a los arrecifes del SALT, sin embargo las masas de agua provenientes del norte con temperatura bajas y niveles altos de productividad primaria, si afectan al Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan, por lo que se recomienda hacer estudios más precisos, durante esta temporada en los arrecifes de los sistemas arrecifales.

X. Recomendaciones

- Para la realización de este tipo de investigación que requiere datos satelitales se sugiere primero revisar los datos de las plataformas que proporcionan la información, y en base a los datos disponibles, establecer fecha, temporada y áreas de estudios.
- Para lograr estudiar las estructuras de las plumas de los ríos se debe considerar realizar los estudios en los períodos de transición de los remolinos de mesoescala o cuando las corrientes de estos remolinos se presenten paralelos a la costa.
- La precipitación es una variable importante para tomar en cuenta en este tipo de estudios, por lo tanto, si se realizan estudios de la pluma de los ríos tiene que realizarse durante la época de lluvias y en temporada de secas para realizar una comparación de la variación de las plumas de los ríos.

XI. Referencias

- Athié, G., Salas-Monreal, D. y Marín-Hernández, M. (2019). Circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su efecto en los sistemas arrecifales. p.37-54. En: Granados-Barba, A., Ortiz-Lozano, L., González-Gándara, C. y Salas-Monreal, D. (Eds.). Estudios científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376p.
- Avendaño-Álvarez, J. O. (2013). Variación hidrológica intermensual del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Maestría en Ecología y Ciencias Marinas. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz. 107 p.
- Avendaño-Álvarez, O., Salas-Monreal, D., Marín-Hernández, M., Salas-De-León, D. A. & Monreal-Gómez, M. A. (2018). Annual hydrological variation and hypoxic zone in tropical coral reef system. *Regional studies in Marine science*. 9, 145-155.
- Avendaño O., Salas-Monreal D., Anis A, Salas-de-Leon D.A, Monreal-Gomez M.A (2019) Monthly surface hydrographical variability in a coral reef system under the influence of river discharges. *Estuar Coast Shelf Sci* 222:53-65.
- Bianchi, T., S., DiMarco, S. F., Cowan, J. H. Jr., Hetland, R. D., Chapman, P., Day, J. W. & Alison, M. A. (2010). The science of hypoxia in the northern Gulf of Mexico: A review. *Science of the total Environment*. 408(7), 1471-1484.
- Carreón-Palau L, Parrish CC, Perez-España H (2017) Urban sewage lipids in the suspended particulate matter of a coral reef under river influence in the Southwest Gulf of Mexico. *Water Res* 123:192–205.
- Carreón-Palau L, Parrish C. C, Del Angel-Rodriguez J.A, Perez-España H. (2021) Seasonal shifts in fatty acids and sterols in Sponges, Corals, and Bivalves, in a southern Gulf of Mexico coral reef under river influence. *Coral Reefs* 40(2):571–593.
- Carricart-Ganivet JP, Merino M (2001) Growth responses of the reef-building coral *Montastraea annularis* along a gradient of
- Coles, V.J., Books M.T., Hopkins J., Stukel M. R., Yager P. L. & Hod R. R. (2013). The pathways and properties of the Amazon River. Plume in tropical of the North Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Ocean*. 118, 6894-6913.
- Duxbury, A. C., MORSE, B. A. & N. McGARy. (1966). The Columbia River Effluent and its Distribution at Sea, 1961-1963. Technical Report No. 156, Department of Oceanography, University of Washington, Seattle, Washington.
- Espinosa, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L. y Santini, W. (2011). La variabilidad hidrológica y climática reciente en la cuenca del río Amazonas: un enfoque particular sobre los eventos hidrológicos extremos. *researchGate*. 9p.
- Expósito-Díaz, G., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Salas-Monreal, D., & Vázquez Gutiérrez, F. (2009). Inertial currents in the southern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 35(3): 287- 296 pp
- Geyer, W. R., R. C. Beardsley, J., Candela, B. M., CASTRO, R. V., Legecris, S. J. Lentz, R. Limeburner, L. B. Miranda, & J. H. Trowbridge. (1991). The Physical Oceanography of the Amazon Outflow. *Oceanography* 4:8-14.
- Goes, J. L., Helgado, R. G., Chekayuk A. M., Carpenter E. J., Montoya J. P., Coles V. J., Yager P. L, Berelson W. M., Capone D. G., Foster R. A., Steinberg D.K., subramaniam A. E. & Hafez M. A., (2014). Influence of Amazon River discharge on the biogeography of phytoplankton communities in the western tropical north Atlantic. *Progressin Oceanography* 120, 24-40.
- Gutiérrez de Velasco, G., S. Shull, P. J. Harvey, & N. A. Bray. (1992). Gulf of Mexico experiment: Meteorological, moored instrument, and sea level observations, in Data Report 1: August 1990 to July 1991, SIO Ref. 92-26, 44 pp., Scripps Inst. of Oceanogr., Univ. of Calif., San Diego.
- Gutiérrez de Velasco, G., S. Shull. P. J. Harvey, & N. A. Bray. (1993). Gulf of Mexico experiment: Meteorological, moored instrument, and sea level observations, in Data Report 2: August 1991 to July 1992, SIO Ref. 93-31, 36 pp., Scripps Inst. of Oceanogr., Univ. of Calif., San Diego, 1993.

- Gutiérrez-de-Velasco G. & C. Winant. (1996). Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*.
- Horta-Puga G, Cházaro-Olvera S, Winfeld I, Avila-Romero M, Moreno-Ramírez M. (2013) Cadmium, copper and lead in macroalgae from the Veracruz Reef System, Gulf of Mexico: Spatial distribution and rainy season variability. *Mar Pollut Bull* 68(1–2):127–133.
- INEGI. (2009). Anuario estadístico de Veracruz de Ignacio de la llave. México. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la llave. 33p.
- Jáuregui-Ostos E. (2003). Algunos conceptos modernos sobre la circulación general de la atmósfera *Investigaciones Geográficas. Investigaciones Geográficas (Mx)*.50:121-143.
- Kang, Y., Pan, D., Bai Y., He X., Chen X., Chen C. T. A. & Wang D. (2013). Areas of the global major river plumes. *Acta Oceanol Sin*. 32(1), 79-88.
- Lou H., Bracco A., Cardona Y. & McWilliams J. C. (2016). Submesoscale circulation in the northern Gulf of the freshwather river input. *Ocean Modelling*. 101, 68-82.
- MATLAB. (2018). 9.7.0.1190202 (R2019b). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Müller-Karger, F. E. & Walsh, J. J. (1991). On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research, Oceans* 96 (C7):12645-12665.
- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., Gonzales-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A. & Martos J. (2013). The reef corridor of the southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean and costal Management*. 86:22-32.
- Ortiz-Lozano, L., Colmenares-Campos C. y Gutiérrez-Velázquez A. (2018). Submerged coral reef in the Veracruz reef system, Mexico, and its implication for marine protected area management. *Ocean and coastal Management*. 158, 11-23.
- Pineda, R. C., (2013). El río Amazonas: un gigante indomado, una mirada hacia su historia contemporánea (1500-2010). *Boletín cultural y bibliografico*.47(89), 65p.
- Persson, A.O., (2005). The Coriolis Effect: Four centuries of conflict between common sense and mathematics, Part I: A history to 1885. *History of Meteorology* 2.
- Quiroga, G. C. y Silvela I. S. (2008). El agua en China: las dos caras de la moneda. *Anuario jurídico y económico escurialence*.42, 609-622.
- Rodríguez-Lehovec, F. R., Salas-Pérez, J. J., Jordán-Garza, G., & Salas-Monreal, D. (2021). ¿Could the plume of Tuxpan river influence the norther reef of the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *Journal of Oceanography and Fisheries*, 13(3), 1-5.
- Rudzin, J. E., Shay L. K. & Jaime de la Cruz B. (2019). The impacto of the Amazon-Orinoco River plume on Enthalpy flux and air-sea Interaction within caribbean sea Tropical cyclones.
- Salas-de-León, D. A., Monreal-Gomez M. A., Sanvicente -Anorve L. & Flores-Coto C. (1998). Long-term influence of currents on Zooplanktonic organisms distribution in the bay of Campeche, México. *Oceanologica Acta*.1784(98)80052-2.
- Salas-Monreal, D., Athié G., y Marín-Hernández M. (2019). circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su efecto en los sistemas arrecifales. p.55-74. En: Granados-Barba A., Ortiz-Lozano L., González-Gándara, C. y Salas-Monreal D. (Eds.). *Estudios científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 376p.
- Salas-Monreal, D., Diaz-Hernández A., Aké-Castillo J. A., Granados-Barba A. y Riverón-Ensástiga M. L. (2020). Variación anual de los parámetros hidrográficos en la influencia del río Jamapa y arroyo Moreno México. *Intropica*. 15(1), 1-7.
- Salas-Monreal, D., Jasso-Montoya J., Salas-Pérez J. J., Salas-De-León D. A., Monreal-Gómez M. & Marín-Hernández M. (2018). Oceanographic parameter variation of a coral larvae reef provider in the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *REEF CORRIDOR OF THE SOUTHWESTERN GULF OF MEXICO*, 107.

- Salas-Monreal, D., Marín-Hernández M., Salas-Pérez J. J., Salas-de-León D. A., Monreal-Gómez M. A. & Pérez-España H. (2017). Coral reef connectivity within the Western Gulf of México. *Journal of Marine Systems*. 1-12p.
- Salas-Monreal. D., Salas-Pérez J. J., Marín-Hernández M., Chacón-Gómez I. C. y Avendaño-Álvarez J. O. (2015). Dinámica marina del Sistema Arrecifal Veracruzano, En: Granados-Barba A., Ortiz-Lozano L. D., Salas-Monreal D. y González-Gádara C. (Eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México. Universidad Veracruzana. p. 19-33.
- Salas-Pérez, J. J. & Arenas-Fuentes V. (2011). Winter water mass of the Veracruz Reef System. *Atmósfera*, 24(2): 221-231.
- Salas-Pérez J. J. & Sánchez-Díaz D. (2012). "Circulación Estacional (2008-2011) en la plataforma continental del norte del Estado de Veracruz (Golfo de México Occidental) mediante percepción remota." 19th Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Tuxpan-Veracruz, México. ["Seasonal circulation (2008-2011) on the continental shelf of the northern state of Veracruz (Gulf of western Mexico) by remote sensing." 19th National Congress of Science and Technology of the sea.
- Salas-Pérez, J. J. & Granados-Barba A. (2008). Oceanografic characterizacion of the Veracruz reefs system. *Atmósfera* 21(3), 281-301.
- Salas-Pérez, J. J., Jordán-Garza, A. G., Salas-Monreal, D., González-Gádara, C. & Domínguez-Barradas C. (2018). Features and circulation of water masses in the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. En Salas-Pérez J.J., y Jordán-Garza G. (Eds), Oceanography of the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *REEF CORRIDOR OF THE SOUTHWESTERN GULF OF MEXICO*, 107.
- Salas-Pérez, J. J., Llasat-Botija M. C. & González-Gádara C. (2018). A statistical analysis of cold surge events and their relationship with enso years. En Salas-Pérez J.J., y Jordán-Garza G. (Eds), Oceanography of the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *REEF CORRIDOR OF THE SOUTHWESTERN GULF OF MEXICO*, 107.
- Salas-Pérez, J. J., Ocaña-Valencia A. N. y González-Gádara C. (2015). Temperatura superficial del mar y concentraciones de clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el Golfo de México occidental, 315-332p. En: A. Granados-Barba, Ortiz-Lozano L., Salas-Monreal D. y González-Gádara C. (Eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 366 p.
- Salas-Pérez, J. J., Salas-Monreal D. Monreal-Gómez A. Riverón-Enzástiga M. & Llasat C. (2012). Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 100(1), 102-112.
- Salas-Pérez, J. J., Salas-Monreal, D., Lehovec, F. R., & Jordán-Garza, G. (2021). Influence of rivers plumes over a tropical coral reef system. In review.
- Santinsky, B. M., Crump B. C., Smith C. B., Sharma S., Zielinski B. L., Doherty M., Meng J., Sun S., Madeiros P. M., Paul J. H., Coles V. J., Yanger P. L. & Moran M. A. (2014). Microspatial gene expression patterns in the Amazon River plume. .11, 11085-11090.
- Seena, G., K. R. Muraleedharan , C. Revichandran, S. AbdulAzeez & Sebin John. (2019). Seasonal spreading and transport of buoyant plumes in the shelf of Kochi, South west coast of India- A modeling approach. *Scientific Reports*. 9:19956.
- Silva, C. E. & Castelao R. M. (2018). Mississippi river plume variability in the Gulf of Mexico from SMAP and MODIS/Aqua observation. *Journal of Geophysical Research: Ocean*. 123, 6620-6638.
- Suárez-Gaitán, S. K. (2013). Análisis del papel geoestratégico del río Nilo azul en la estructuración de las relaciones entre egipto sudán y etiopía entre 1990-2002. Estudio de Caso. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá D.C. 62p.

- Vidal, V. M. V., Vidal F. V., & Pérez-Molero J. M. (1992). Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *J Geophys Res: Oceans*. 97(C2), 2155–2172.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, A. F. Hernández, E. Meza & J. M. Pérez-Molero (1994): Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 99(C4), 7571-7597.
- Vidal, V. M. V., Vidal, F. V., Hernández, A. F., Meza, E. & Zambrano, L. (1994). Winter Water Mass Distributions in the Western Gulf of Mexico Affected by a Colliding Anticyclonic Ring. *Journal of Oceanography* 50: 559-588 p.
- Wiseman, W. J. & Garvine R. W. (1995) Plumes and Coastal Currents Near Large River Mouths. *Estuaries*. 18(3):509-517.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey & 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* 108 (C12)
- Zhao, J., Gong, W. & Shen, J. (2017). The effect of wind on the dispersal of a tropical small river plume. *Front. Earth Sci. Frontiers of Earth Science* volume 12:170–190.

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”

www.uv.mx

