

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ecología Marina.**

**Variabilidad estacional e interanual de la concentración de
clorofila y de la productividad primaria frente al estado de
Campeche.**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Santiago Jonathan Quetz Que

Ensenada, Baja California, México
2019

Tesis defendida por
Santiago Jonathan Quetz Que

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. José Rubén Lara Lara
Director de tesis

Dra. Ma. Elena Solana Arellano

Dr. Alejandro Francisco Parés Sierra



Dr. Jorge Adrián Rosales Casián
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta Santiago Jonathan Quetz Que como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila y de la productividad primaria frente al estado de Campeche.

Resumen aprobado por:

Dr. José Rubén Lara Lara.
Director de tesis

La región del banco de Campeche localizada frente al estado de Campeche es una zona de importancia comercial debido a su gran biodiversidad, recursos económicos e importancia petrolera. Esta zona está altamente influenciada por factores ambientales como las corrientes, tormentas tropicales, frentes fríos, escurrimientos de agua dulce producto de las lluvias, ríos y afloramientos subterráneos entre otros; estos factores conceden características muy variables dentro del banco de Campeche a pesar de ser una sola región. Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la variabilidad espacio-temporal de clorofila satelital (Chl_{sat}), productividad primaria (PP), temperatura de la superficie del mar (SST) y altura de la superficie del mar (SSH) en un periodo comprendido de julio de 2002 hasta diciembre de 2018. Para ello, se compararon cinco transectos, cuatro perpendiculares a la costa y uno paralelo a la misma (T5). Los transectos perpendiculares a la costa se ubicaron frente al municipio de Calkiní (T1), Campeche (T2), Champotón (T3) y Cd del Carmen (T4). Se descargaron composiciones mensuales de Chl_{sat} y SST derivados del sensor Aqua-MODIS desde la página “Ocean Color” de la NASA y de SSH desde la página COPERNICUS de la unión europea. La composiciones de PP se descargaron de la página de internet de Oregon State University (“Ocean Productivity”). Las composiciones mensuales se procesaron mediante la programática “SeaDAS v. 7.4” de la NASA y se realizaron series temporales y diagramas Hovmöller para observar las variaciones espaciales y temporales. Los valores de Chl_{sat} en los diagramas Hovmöller de los transectos T1-T4 mostraron una separación clara entre una porción interior (0-60 km) y una porción exterior (60-200 km) mientras que para el transecto 5 se detectaron tres zonas: norte (200-300 km), centro (40-200 km) y sur (0-40 km). La zona nerítica interior y el transecto 5 tuvieron los máximos valores de Chl_{sat} ($>2.5 \text{ mg m}^{-3}$) y PP ($>2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en lluvias y los mínimos en secas ($<2 \text{ mg m}^{-3}$ y $<2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). La zona nerítica exterior tuvo los máximos valores de Chl_{sat} ($>0.6 \text{ mg m}^{-3}$) y PP ($>0.7 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) durante los frentes fríos y los mínimos en secas ($<0.3 \text{ mg m}^{-3}$ y $<0.4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). La SST presento sus máximos valores ($>30^{\circ}\text{C}$) en lluvias y los mínimos ($<22^{\circ}\text{C}$) durante los frentes fríos, por su parte la SSH tuvo sus máximos ($>0.40 \text{ m}$) durante los frentes fríos y sus mínimos ($<0.25 \text{ m}$) en secas. En la zona nerítica exterior los frentes fríos juegan un papel importante en la Chl_{sat} y PP debido a que generan una mezcla de la columna de agua y traen hacia la zona eufótica nutrientes de por debajo de la termoclina. En la zona nerítica interior, las lluvias exportan nutrientes hacia la zona costera mediante los aportes de ríos, afloramientos subterráneos y lagunas costeras, lo que da lugar a los altos valores de Chl_{sat} y PP en comparación con la zona exterior. Estos resultados corroboran la importancia que tienen las tormentas tropicales y los frentes fríos en la región y que gran parte de la variabilidad en Chl_{sat} y PP están muy relacionadas con los cambios ambientales (SST, SSH, vientos, precipitaciones, etc.) que ahí se presentan.

Palabras clave: Chl_{sat} , Productividad primaria, SSH, SST, Variabilidad.

Abstract of the thesis presented by Santiago Jonathan Quetz Que as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Seasonal and interannual variability of chlorophyll concentration and primary productivity off Campeche, Gulf of Mexico.

Abstract approved by:

Dr. José Rubén Lara Lara
Thesis Director

The Campeche bank region located off Campeche state is an important commercial zone due to its high biodiversity, economic resources and oil extraction. This area is highly influenced by environmental factors such as currents, tropical storms, cold fronts, freshwater runoff from rains, rivers and submarine groundwater discharges among others; these factors make the Campeche bank very variable despite being a single region. Due to this, the objective of this work was to characterize the spatial-temporal variability of satellite chlorophyll (Chl_{sat}), primary productivity (PP), sea surface temperature (SST) and sea surface height (SSH) in a period from July 2002 to December 2018. To do this, five transects were compared, four perpendicular and one parallel to the coast. The perpendicular transects were located in front of the municipalities of Calkiní (T1), Campeche (T2), Champotón (T3) and Ciudad del Carmen (T4). Monthly composition of Chl_{sat} and SST derived from Aqua-Modis sensor were downloaded from NASA's "Ocean Color" web page and SSH from the European Union's COPERNICUS web page. The PP compositions were downloaded from Oregon State University ("Ocean Productivity") web page. The monthly compositions were processed using the NASA's "SeaDAS v. 7.4" software; time series and Hovmöller diagrams were performed to observe spatial and temporal variations. The Chl_{sat} values in the Hovmöller diagrams showed a clear separation between an inner portion (0-60 km) and an outer portion (60-200 km) while for the transect 5 three zones were detected: northern (200-300 km), central (40-200 km) and southern (0-40 km). The inner neritic zone and the transect 5 had the maximum values of Chl_{sat} ($> 2.5 \text{ mg m}^{-3}$) and PP ($> 2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in the rainy season and the minimums in the dry season ($< 2 \text{ mg m}^{-3}$ and $< 2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). The outer neritic zone had the highest values of Chl_{sat} ($> 0.6 \text{ mg m}^{-3}$) and PP ($> 0.7 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) during cold fronts and minimums in the dry season ($< 0.3 \text{ mg m}^{-3}$ and $< 0.4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). The SST presented its maximum values ($> 30^\circ \text{C}$) in the rainy season and the minimum ($< 22^\circ \text{C}$) during the cold fronts, meanwhile, the SSH had its maximum ($> 0.40 \text{ m}$) during the cold fronts and its minimum ($< 0.25 \text{ m}$) in the dry season. In the outer neritic zone, cold fronts play an important role in Chl_{sat} and PP because they generate a mixture in the water column and bring nutrients from below the thermocline into the euphotic zone. In the inner neritic zone, the rains export nutrients to the coastal zone through the rivers runoff, submarine groundwater discharges and coastal lagoons, resulting in the high values of Chl_{sat} and PP compared to the outer zone. These results corroborate the importance of tropical storms and cold fronts in this region and that the variability in Chl_{sat} and PP are closely related to the environmental changes (SST, SSH, winds, rainfall, etc.) that are presented there.

Keywords: Chl_{sat} , Primary productivity, SSH, SST, Variability.

Dedicatoria

*A mis padres,
por cuidarme, educarme, enseñarme que con responsabilidad y perseverancia
todo es posible y también por estar ahí cuando lo necesitaba.*

*A mis hermanos,
por darme ánimos y enseñarme que la amabilidad y humildad son virtudes que
muy pocos conservan.*

*A mi hija y sobrinos, porque al final la mejor forma de decir las cosas es con el
ejemplo.*

Agradecimientos

Al Programa Nacional de Posgrado del CONACYT por el apoyo económico con el N° de beca 634357 para realizar mi posgrado y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., por darme la oportunidad de ser estudiante en el Programa de Ecología Marina para continuar con mi crecimiento académico.

A mi director de tesis, **Dr. Rubén** por el tiempo y facilidades que me otorgó, así como por las correcciones y comentarios hechos a mi escrito. Además de que se hizo cargo de mi cuando ciertos acontecimientos me dejaron sin director de tesis, yo sé que no es fácil hacerse cargo cuando algo así ocurre y por eso se lo agradezco enormemente.

A la **Dra. Elena** por aceptar ser parte de mi comité y por el apoyo que me brindó siempre que lo necesité cuando las cosas se pusieron difíciles. También agradezco sus comentarios y enseñanzas en estadística que me ayudaron a mejorar esta tesis y más por la forma alegre y sencilla que tiene de enseñar.

Al **Dr. Alejandro** por ser parte de mi comité de tesis, así como por el apoyo, correcciones y comentarios hechos durante el tiempo que me asesoró.

Y en especial, quiero agradecer al **Dr. Saul Álvarez** por su confianza que depositó en mí, además de sus consejos, comentarios y oportunidades que me brindo durante el tiempo que fue mi director de tesis. Pero sobre todo por el tiempo y apoyo que me dedico aun cuando dejo de fungir como mi director. Gracias por los comentarios, correcciones y enseñanzas que me brindó.

A mis compañeros de generación y en especial a **Mary, Meli y Ale** por todas las risas y momentos que pasamos dentro y fuera de clases. Y de manera especial por no decir menos a **Dani**, por todos los consejos que me dio, por escuchar mis penas, mis dudas existenciales y además por darme ánimos cada vez que me quedaba estancado con su peculiar y característica forma de decirte las cosas: de frente y sin adornos.

A los poderosos **Cuervos Negros** de **Nuevo Toledo** en **Ensenada (CNNTE)** por dejarme ser parte de sus filas y además por los fervientes ánimos que no dejaban de repetir cada vez que podían durante los partidos (la porra más elogiada).

Al **Pau y David** alias “Don Caimán” (con su clásico “en el infinito”) por los apoyos y los favores que me hicieron, el primero con sus ocurrencias y pláticas existenciales y el segundo por las cuestiones matemáticas y estadísticas.

Y por último a los “paisanos”, la **mily** y **Alberto** por las pláticas y el apoyo mutuo que tenemos desde que pusimos el primer pie en ensenada.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.	ii
Resumen en inglés.	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas.....	xi

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	6
1.1.1. Circulación en el Banco de Campeche.	6
1.1.2. Mediciones <i>in situ</i> de SST y Chl en el banco de Campeche.....	7
1.1.3. Uso de sensores remotos para la SST, SSH y Chl _{sat} en el banco de Campeche.	8
1.2 Justificación	10
1.3 Hipótesis.....	11
1.4 Objetivos	12
1.4.1 Objetivo general.....	12
1.4.2. Objetivos específicos.....	12

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio.	13
2.2. Diseño experimental.	13
2.3. Productos satelitales.	14
2.3.1. Características de los sensores remotos.	14
2.3.2. Estimación de SST, Chl _{sat} , PP y SSH por sensores remotos.....	15
2.3.3. Descarga de las imágenes satelitales, visualización y programática para el procesamiento y obtención de datos de los productos satelitales.	16
2.4. Visualización de datos y generación de series temporales.....	17
2.5. Análisis estadístico.	18

Capítulo 3. Resultados

3.1. Variación espacial y temporal.	20
3.1.1. Diagramas Hovmöller para la SST, SSH, Chl_{sat} , y PP.....	20
3.1.2. Análisis espectrales.	25
3.1.3. Series temporales.....	26
3.1.3.1. Temperatura de la superficie del mar (SST).....	26
3.1.3.2. Altura de la superficie del mar (SSH).....	30
3.1.3.3. Clorofila satelital (Chl_{sat}) y productividad primaria (PP).....	32
3.2. Análisis estadísticos.....	34
3.2.1. Análisis de correlación cruzada.	34
3.2.3. Análisis bayesiano.	37
3.2.3.1. Diferencias entre las series temporales.	37
3.2.3.2. Diferencias interanuales e intraanuales.....	41
3.2.4. Análisis MDS (Multidimensional Scaling).	43
3.3. Aproximación a la climatología.	45
 Capítulo 4. Discusión	48
 Capítulo 5. Conclusiones	57
 Literatura citada	58
 Anexos	66

Lista de figuras

Figura		Página
1	Espectros de absorción de tres diferentes tipos de pigmentos fotosintéticos	3
2	Esquema con los elementos para la obtención de la altura de la superficie del mar (R y H) y sus respectivas correcciones para cada una de las mediciones (Tomado de Chelton <i>et al</i> , 2001).....	5
3	Ubicación de los transectos y de la zona de estudio localizada en la porción del banco de Campeche frente al estado de Campeche.....	14
4	Diagrama Hovmöller de la altura de la superficie del mar (SSH) para el transecto 5 paralelo a la costa.....	21
5	Diagrama Hovmöller de la temperatura de la superficie del mar (SST) para el transecto 5 paralelo a la costa.	22
6	Diagramas Hovmöller de clorofila satelital (Chl_{sat}) para cada transecto (1-5).	22
7	Diagramas Hovmöller de la productividad primaria (PP) para cada transecto (1-5).....	24
8	Análisis espectral de las variables SST (a), Chl_{sat} (b), PP (c) y SSH (d) para la serie T1ZI..	26
9	Series temporales de las temperaturas medias de la superficie del mar para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI) mientras que las líneas azules punteadas representan la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).....	27
10	Series temporales de la temperatura de la superficie del mar para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS).....	28
11	Series temporales de la altura de la superficie del mar (SSH) para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI) mientras que las líneas azules punteadas representan la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).	31
12	Series temporales de la altura de la superficie del mar para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS). Las marcas en el eje horizontal indican el inicio de cada año.....	31
13	Series temporales de clorofila satelital para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona interior (T1ZI-T4ZI) y corresponden al eje vertical izquierdo, mientras que las líneas azules punteadas representan la zona exterior (T1ZE-T4ZE) y corresponden al eje vertical derecho.....	33

14	Series temporales de clorofila satelital para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS).....	34
15	Correlogramas para SST-Chl _{sat} de cada serie temporal. Las líneas azules punteadas representan el intervalo de confianza al 95% ($\alpha = 0.05$).	35
16	Valores medios de SSH para las series (A, B) y estaciones (C, D). Los puntos rojos representan valores extremos.	39
17	Valores medios de Chl _{sat} para las series (A, B) y estaciones (E, F). Valores medios de SST para las series (C, D) y estaciones (G, H). Los puntos rojos representan valores extremos.	40
18	Valores de Chl _{sat} para las series temporales de cada transecto durante las estaciones de frentes fríos (FF), lluvias y secas. A-D corresponden a las series T1ZI-T4ZI y E-H a las series T1ZE-T4ZE respectivamente. Los puntos rojos representan valores extremos. Los años abarcan desde 2002 hasta 2018 (02-18).....	42
19	Mapas MDS para las series T1ZI (A), T1ZE (B), T2ZI (C), T2ZE (D), T3ZI (E), T3ZE (F), T4ZI (G) y T4ZE (H). Las distancias usadas fueron de “Jaccard”	44
20	Aproximación a la climatología para la Chl _{sat} (A), PP(B), SST (C) y SSH (D) para el transecto 5 paralelo a la costa.	46
21	Aproximación a la climatología para la Chl _{sat} (A, B), PP (C, D), SST (E, F) y SSH (G, H). Los paneles A, C, E y G corresponden a la zona nerítica interior y los paneles B, D, F y H a la zona nerítica exterior.....	47
22	Comparación del comportamiento entre las variables: Chlsat vs SSH de la serie T1ZI (A), Chlsat vs SSH de la serie T1ZE (B), Chlsat vs SST de la serie T1ZI (C), Chlsat vs SST de la serie T1ZE, SST vs SSH de la serie T1ZI (E) y SST vs SSH de la serie T1ZE (E).	53

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Nomenclatura usada para cada serie temporal derivada de la zonación a partir de los diagramas Howmöller.	18
2	Interpretación del Factor de Bayes (modificado de Jeffreys 1967).	19
3	Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales de la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI).	28
4	Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales de la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).....	29
5	Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales del transecto paralelo a la costa (T5ZN, T5ZC y T5ZS). ...	29
6	Resultados del ANOVA bayesiano entre transectos, estaciones y su interacción.	37
7	Resultados (Factor de Bayes) del análisis a posteriori de la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI), exterior (T1ZE-T4ZE) y zona norte, centro y sur del transecto 5.....	38
8	Resultados (Factor de Bayes) de los análisis a posteriori entre las zonas neríticas.	38

Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción.

Las microalgas o fitoplancton, son organismos unicelulares cuyo tamaño oscila de 1 μm hasta alrededor de 100 μm , poseen un movimiento activo producto de la locomoción por flagelos o pasivo donde flotan libremente transportados por las corrientes (Pal y Choudhury, 2014). También son organismos autótrofos fotosintéticos ya que usan la energía proveniente del sol para producir materia orgánica usada en el crecimiento, reproducción y mantenimiento a partir de materia inorgánica como el amonio, nitratos, nitritos, fosfatos y otros nutrientes (Reynolds, 2006). Se han descrito alrededor de 5000 especies en el mundo representados en su mayor parte por cyanobacterias, clorofitas, dinofitas, euglenofitas, haptofitas, crysofitas, criptofitas y bacilariofitas (Blondeau-Patissier et al., 2014).

El número de células del fitoplancton (abundancia) y su distribución están controladas por las condiciones ambientales y dinámicas de cada región. Dentro de las variables que afectan al fitoplancton en estas regiones se encuentran la disponibilidad de luz, niveles de nutrientes, temperatura, estratificación de la columna del agua, pastoreo por micro y macro zooplancton y enfermedades (Blondeau-Patissier, 2014; Durán-Campos et al. 2017).

La disponibilidad y concentración de nutrientes es una de las variables de mayor importancia para el fitoplancton, sin embargo, esta disponibilidad y concentración también es afectada por procesos físicos por lo que dependiendo de las condiciones y dinámicas de cada región es posible que exista una limitación por nutrientes y por lo tanto un efecto en la biomasa fitoplanctónica (Cloern, 1987; Hecky, 1988; Xue et al., 2013). Algunos de los procesos físicos que afectan la disponibilidad de nutrientes son las lengüetas de los ríos y estuarios, la mezcla vertical de la columna de agua, surgencias costeras, surgencias debidas al estrés del viento y la advección de aguas ricas en nutrientes (Martínez y Zavala, 2009).

La biomasa y la productividad primaria (PP) son variables fitoplanctónicas claves para conocer la fertilidad, salud y fijación de carbono de los océanos. La PP se define como la tasa de conversión de carbono inorgánico a carbono orgánico durante el proceso de fotosíntesis expresado en $\text{mg C m}^{-3} \text{ hr}^{-1}$ o su integral con la profundidad en la zona eufótica, expresada en $\text{gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Behrenfeld et al., 2001; Behrenfeld et al., 2005).

Para llevar a cabo la fotosíntesis, el fitoplancton posee pigmentos localizados en los cloroplastos los cuales son capaces de captar energía de una parte de la radiación solar comprendida en las longitudes de onda entre los 400-700 nm conocida como radiación fotosintéticamente activa (PAR), para posteriormente transferirlo a los fotosistemas donde se transforma en energía química (ATP, NADPH) que luego es usada en el metabolismo de las células (McCree, 1981; Behrenfeld *et al.*, 2009).

La clorofila *a* es uno de los pigmentos más abundantes y usados por los organismos fotosintéticos, por lo que está presente en casi todas las algas autótrofas con unas pocas excepciones (algas heterotróficas). Por esta razón es considerada como un aproximado de la biomasa fitoplanctónica (Cullen, 1982; Cullen, 2015). En sentido estricto la biomasa se define como la cantidad de carbono orgánico encontrado en una muestra de fitoplancton, pero se acepta universalmente a la concentración de clorofila *a* (Chl) como su *proxi* expresada en mg m^{-3} (Cullen, 1982).

Durante el proceso de fotosíntesis la clorofila *a* absorbe longitudes de onda localizados en la región de los 430-663 y 600-700 nm mientras que refleja en las longitudes 440–550 nm (Figura 1) (Gordon et al., 1980; Blondeau-Patissier, 2014; Pal y Choudhury, 2014). Esta característica permite a los sensores remotos la medición de Chl en los océanos debido a que causan cambios o disturbios en las propiedades ópticas del agua. Estas propiedades definen la forma en que el agua absorbe y esparce la luz proveniente del sol (luz incidente) (Gordon et al., 1980; McKee y Cunningham, 2006).

Las propiedades ópticas del agua se dividen en dos: inherentes y aparentes. Las propiedades inherentes como por ejemplo los coeficientes de absorción, esparcimiento y atenuación de haz tienen únicamente una dependencia con los componentes ópticos y las características del agua. Por otra parte, las propiedades aparentes son aquellas que dependen de la geometría del campo de luz (ángulos de incidencia y radiancia) que interactúa con el agua, algunos ejemplos de estas propiedades son la reflectancia de la radiancia y el coeficiente de atenuación difusa (Kirk, 1984; Kirk, 1994; Lee, Carder y Arnone, 2002).

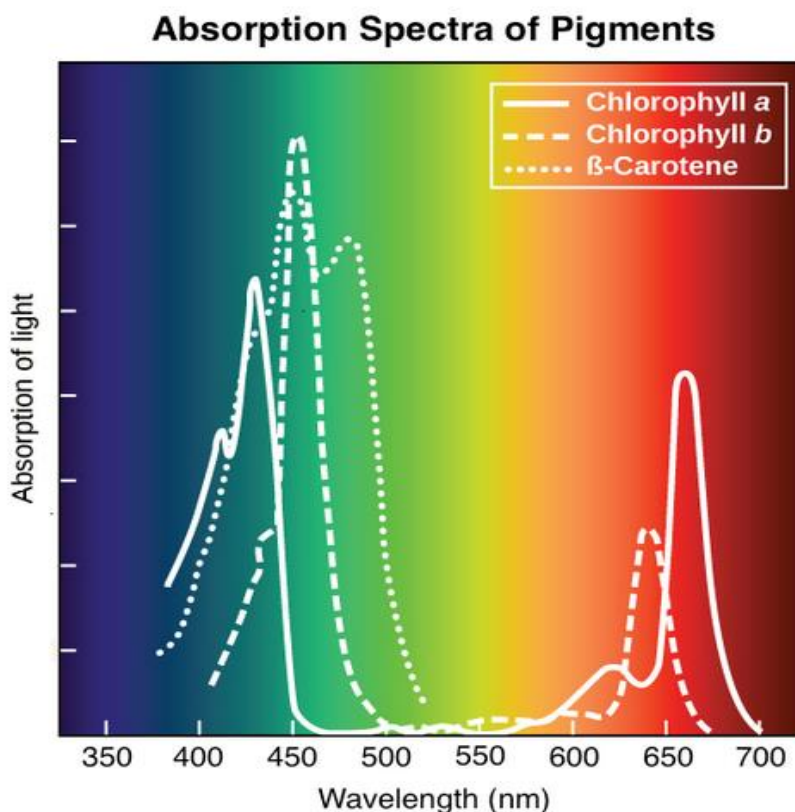


Figura 1. Espectros de absorción de tres diferentes tipos de pigmentos fotosintéticos (Tomado de <https://cnx.org/contents/-CmzvUct@13/The-Light-Dependent-Reactions-of-Photosynthesis>)

Dentro de las propiedades ópticas aparentes, la reflectancia es la propiedad que mide el sensor remoto para estimar Chl a partir de algoritmos previamente calibrados. La estimación resultante es comúnmente representada como clorofila satelital (Chl_{sat}) (Kirk, 1994; Gaxiola-Castro et al., 2010). A partir de la Chl_{sat} es posible estimar la PP mediante el uso de modelos generales donde se toma en cuenta, además de la clorofila, la disponibilidad de luz y la eficiencia fotosintética, un ejemplo de estos modelos es el modelo de producción vertical generalizado (VGMP por sus siglas en inglés) propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997) (Behrenfeld et al., 2006; Manzano-Sarabia et al., 2008).

El uso de sensores remotos satelitales es una técnica de investigación ampliamente utilizada en los estudios de los ecosistemas oceánicos y costeros dada su capacidad de proveer información a grandes escalas espaciales (decenas a cientos de kilómetros) y temporales (días, meses, años, décadas) a diferencia de los cruceros oceanográficos donde solo se genera información *in situ*, esto implica que la escala espacial se reduce a puntos específicos geográficamente y la escala temporal a momentos (son mediciones instantáneas y puntuales) (Uitz et al., 2015).

Las series de tiempo generadas por los sensores remotos permiten entender cómo es el comportamiento de Chl a partir de forzamientos físicos con escalas temporales diversas como lo son El Niño, La Niña, surgencias costeras, advección y fenómenos meteorológicos (Gaxiola-Castro et al., 2010; Manzano y Salinas, 2008).

La temperatura superficial del mar y la altura superficial del mar (SST y SSH, respectivamente, por sus siglas en inglés) son dos mediciones del océano que nos ayudan a inferir los fenómenos físicos que producen sus manifestaciones (por ejemplo, bajas SSTs y SSHs pueden indicar el efecto de surgencias costeras o remolinos ciclónicos) en las regiones del océano, lo cual a su vez permite relacionar estos fenómenos físicos con los cambios en las distribuciones espacio-temporales de la clorofila (Wilson y Adamec, 2001; NASA, 2018)

La SST se estima con la información obtenida por los sensores a partir de las longitudes de onda del infrarrojo medio localizado alrededor de los 4 μm y del infrarrojo térmico localizado entre los 10 y 12 μm . La SSH se calcula mediante la diferencia entre la distancia de la órbita del satélite con respecto al elipsoide de referencia de la tierra (H) y la distancia del satélite con respecto a la superficie del mar (R). Para el cálculo de R, el satélite cuenta con un altímetro el cual transmite pulsos de microondas (entre los 2 a 18 GHz) hacia la tierra registrando el tiempo (en nanosegundos) que le toma interactuar con la superficie del océano y regresar de nueva cuenta al sensor. A los cálculos de R se le aplican factores de corrección debido a que los gases y partículas en la atmósfera interfieren y modifican los pulsos de microondas emitidos por el altímetro (Figura 2) (Chelton et al., 2001).

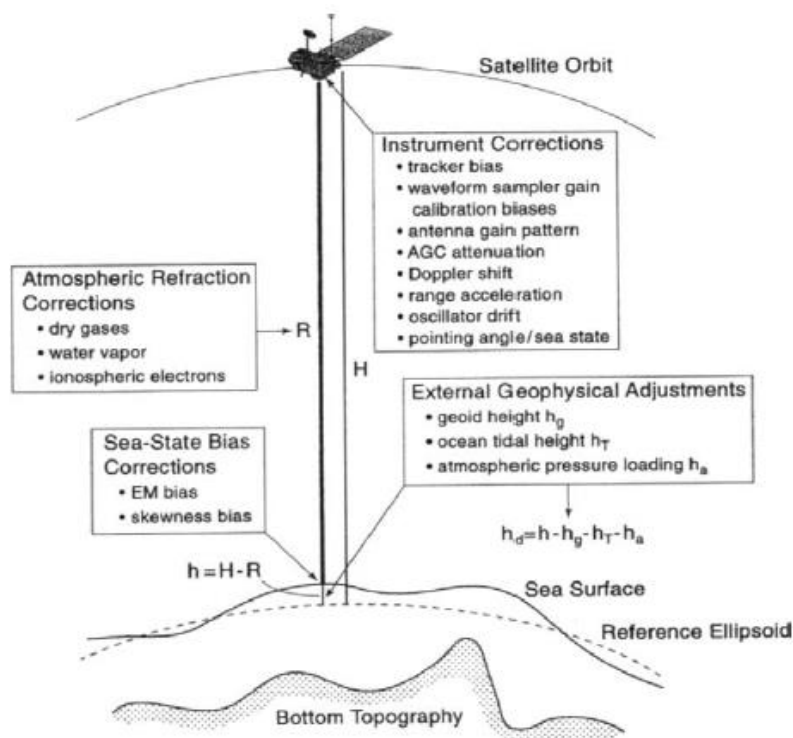


Figura 2. Esquema con los elementos para la obtención de la altura de la superficie del mar (R y H) y sus respectivas correcciones para cada una de las mediciones (Tomado de Chelton et al., 2001).

El fitoplancton juega un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos marinos y de agua dulce como productores primarios. Son la base de las cadenas tróficas y sostienen los niveles tróficos superiores como el zooplancton, y a través de este a los peces y otros organismos acuáticos que dependen de ellos. Así, al haber cambios en la productividad primaria y biomasa fitoplanctónica, los niveles superiores también se ven afectados (Reynolds, 2006; Pal y Choudhury, 2014).

El área de estudio de este trabajo se encuentra localizado en el sureste del golfo de México, en la porción del banco de Campeche situado frente al estado de Campeche. Esta zona está influenciada por las corrientes causadas por el estrés del viento frente al norte de Yucatán, con dirección este-oeste, y del transporte de agua de surgencia proveniente de la corriente de Yucatán localizada frente al noroeste de la península (Merino, 1997; Reyes-Mendoza, 2015).

Por otra parte, los monzones, frentes fríos y tormentas tropicales tienen efectos estacionales muy marcados debido al gran aporte de agua de las intensas lluvias, transportada al mar por medio de ríos (rio Champotón, laguna de términos, etc.). También existen afloramientos costeros de agua en el fondo

marino, los cuales contienen concentraciones elevadas de nitratos y silicatos, y bajas salinidades (Álvarez y Herrera, 2006; Herrera y Morales, 2009; Valle-Levinson *et. al.* 2011).

A pesar de esta gran variabilidad, son pocos los estudios realizados sobre biomasa fitoplanctónica y PP en la zona por lo que el objetivo de este trabajo es caracterizar la variabilidad de la biomasa y productividad primaria y relacionarla con los procesos físicos que la controlan en una relativamente gran escala espacial y temporal.

1.1. Antecedentes.

1.1.1. Circulación en el Banco de Campeche.

Existen una gran cantidad de trabajos que describen el patrón de circulación del golfo de México (GM) y la influencia que tiene la Corriente de Lazo en este patrón. De manera general, la Corriente de Lazo es alimentada por la corriente proveniente del mar Caribe comúnmente denominada como Corriente de Yucatán (Badán *et. al.* 2005; Oey *et. al.* 2005). En la parte noreste de la plataforma de Yucatán se localiza la surgencia de Yucatán; la cual es producto del choque entre las intensas corrientes profundas provenientes del Caribe y la plataforma continental. Este proceso transporta aguas más frías y ricas en nutrientes hacia la superficie bañando la plataforma con dirección hacia el oeste hasta llegar al golfo de México, durante este trayecto las aguas de surgencia tienen un efecto sobre la parte norte y central del banco de Campeche alterando su salinidad y temperatura (Merino, 1997; Walker *et. al.* 2003; Badán, 2005).

Aun cuando existe un efecto de las aguas de surgencias sobre el banco de Campeche, pocos trabajos han sido enfocados a comprender la circulación del área de interés de este trabajo y la mayoría se han limitado a describir el comportamiento de las corrientes dentro del golfo de México, la Corriente de Lazo y la Corriente de Yucatán.

Monreal y Salas (1990) utilizaron un modelo hidrodinámico no lineal de gravedad reducida para describir la presencia de un giro ciclónico semipermanente en el banco de Campeche el cual es afectado por la Corriente de Lazo y el estrés del viento. Ellos mencionan que la presencia de este giro provoca cambios en las corrientes y su dirección de manera estacional.

Por su parte, Benjamín-Martínez y Parés-Sierra (1998) utilizaron un modelo numérico barotrópico tridimensional para estudiar la circulación del golfo de México. Estos últimos autores describieron una corriente dirigida hacia el oeste con velocidades entre 5 y 17 cm s^{-1} frente a las costas de Yucatán para posteriormente bifurcarse predominando la corriente hacia al sur frente a Campeche con magnitudes aproximadas de 3 cm s^{-1} . Zavala-Hidalgo *et al.* (2003), Morey *et al.* (2005), Zavala-Hidalgo *et al.* (2006) y Zavala-Hidalgo *et al.* (2014) describieron un patrón de circulación similar, con corrientes hacia el suroeste en el banco de Campeche durante casi todo el año y una zona de convergencia localizado en el sureste del banco (entre los estados de Campeche y Tabasco) generando un transporte de nutrientes y por lo tanto de clorofila hacia el noroeste de manera estacional, el cual es potenciando por la presencia de un giro ciclónico semipermanente.

Dubranna *et al.* (2011) describieron la circulación de la plataforma continental en 7 puntos localizados alrededor del golfo de México. En lo correspondiente al banco de Campeche el punto que ellos evaluaron estuvo localizado en la parte suroeste del mismo, para el cual describieron un movimiento hacia el norte durante todo el año, excepto en los meses de septiembre y octubre, con una velocidad media de entre 4 y 13 cm s^{-1} coincidiendo con estudios anteriores.

Sanvicente-Añorve *et al.* (2014) evaluaron el transporte de partículas entre arrecifes localizados en el banco de Campeche con el fin de evaluar la conectividad entre ellos. Esto lo hicieron describiendo el transporte por corrientes mediante el uso de un módulo de seguimiento de partículas y encontraron que en la región norte del banco de Campeche la circulación es diferente entre la zona interna costera y la externa oceánica. En la región interna la corriente tiene una dirección hacia el oeste mientras que en la parte externa fluye hacia el suroeste. Por otra parte, en la región cercana al talud continental las corrientes siguen la dirección hacia el norte causada por un giro anticiclónico semipermanente localizado en el mismo talud.

1.1.2. Mediciones *in situ* de SST y Chl en el banco de Campeche.

Licea y Luna (1999) describieron la temperatura, salinidad, abundancia de células y biomasa fitoplanctónica para el suroeste del banco de Campeche para los períodos febrero-marzo, julio-agosto y noviembre-diciembre de 1987 con datos tomados en cruceros oceanográficos. Encontraron dos condiciones: una estratificada y la otra homogénea. Para la condición estratificada la temperatura

superficial alcanzó su máximo valor en verano (28.9 °C) con la termoclina entre los 15 y 45 m. Por otra parte, la condición homogénea ocurrió en otoño con la termoclina por debajo de los 60 m. En cuanto a la clorofila encontraron que las mayores concentraciones se encontraron cerca de la costa durante julio y agosto dada la influencia de los ríos y lagunas costeras, mientras que los valores mínimos se encontraron en la costa oriental durante febrero y marzo.

Álvarez-Góngora y Herrera-Silveira (2006) estudiaron la estructura de la comunidad fitoplanctónica en áreas costeras de la península de Yucatán con muestreos *in situ* durante un año. Encontraron que la temperatura del agua tuvo una estacionalidad con temperaturas mínimas de 23.5 °C en la temporada de nortes (noviembre-febrero) y un máximo de 29.7 °C en la temporada de lluvias (junio-octubre). La clorofila tuvo valores bajos (2.7 mg m⁻³) durante la temporada seca (marzo-mayo) y altos (5.8 and 7.1 mg m⁻³) durante la temporada de lluvias y nortes.

Durán-Campos *et al.* (2017) estudiaron la distribución de la clorofila en el cañón de Campeche y el banco de Campeche y su relación con la estructura hidrográfica. Los datos fueron obtenidos en el crucero PROMEBIO-VI en junio de 2002. Estos autores describieron que la presencia de giros ciclónicos y su convergencia con los giros anticiclónicos tienen efectos sobre el banco de Campeche debido a que generan un bombeo de nutrientes provenientes de profundidades por debajo de la termoclina hacia la superficie. También reportan perfiles diferentes de clorofila entre ambas regiones, en el banco de Campeche el máximo de clorofila estuvo asociado al fondo marino y a la termoclina mientras que los nutrientes estuvieron influenciados por la presencia del talud continental.

Poot-Delgado (2016) hizo una revisión del conocimiento actual sobre el fitoplancton en las aguas frente a Campeche, con especial énfasis en las especies productoras de florecimientos algales nocivos. Sin embargo, no se enfocó en la descripción espacio-temporal a grandes escalas.

1.1.3. Uso de sensores remotos para la SST, SSH y Chl_{sat} en el banco de Campeche.

Hidalgo-González *et al.* (2005) calcularon la producción integrada total y la producción nueva mediante el uso de datos de clorofila a partir de composiciones mensuales del sensor SeaWiFS (1997-2004). Para poder llevar a cabo las estimaciones, dividieron el golfo de México en tres regiones, La región frente a la península

de Yucatán y parte de Veracruz obtuvo valores de $1.18 - 1.22 \text{ gC m d}^{-1}$ para la producción integrada total y $0.97 - 1.05 \text{ gC m d}^{-1}$ para la producción nueva, sin embargo, no reportaron variaciones estacionales.

Zavala-Hidalgo *et. al.* (2003) usaron una base de datos de 8 años para la SST, imágenes del color del océano del sensor SeaWiFS (7 años), campos de viento y resultados de modelos numéricos para identificar zonas de surgencia costera en la parte occidental y sur de la plataforma continental del golfo de México. Ellos encontraron que durante la mayor parte del año hay vientos favorables para las surgencias, sin embargo, en la zona frente a Campeche la fisiografía no es apropiada para este tipo de eventos, por lo que la parte interior del banco de Campeche es más caliente que la exterior. En cuanto a la clorofila, ellos encontraron que existen anomalías positivas durante invierno en la parte exterior del banco mientras que la parte interior ocurría todo lo contrario. Ellos relacionan este comportamiento a la dinámica de los frentes fríos y al transporte de agua cercana al fondo proveniente de la surgencia de Yucatán.

Manzano-Sarabia y Salinas-Zavala (2008) realizaron una descripción de Chl_{sat} y SST en el sureste del golfo de México y un análisis de su variación interanual frente a los estados de Tabasco y Campeche a partir de imágenes de satélite derivadas de los sensores OCTS y SeaWiFS (años 1996-2007) y AVHRR (años 1996-2006). Con respecto a la zona frente a Campeche, identificaron un aumento paulatino a partir de marzo de cada año hasta alcanzar su máximo en octubre ($\sim 2.61 \text{ mg m}^{-3}$) y posteriormente disminuir en enero ($\sim 1.4 \text{ mg m}^{-3}$). Por otra parte, los máximos valores de SST se encontraron en septiembre de cada año (29.51°C). En el análisis interanual describieron una oscilación de Chl_{sat} y SST. La Chl_{sat} cambió de anomalías negativas ($\sim 30\%$ de la media para los años 1997-2000) a anomalías positivas ($\sim 70\%$ de la media para los años 2000-2003) para posteriormente volver a anomalías negativas ($\sim 30\%$ en el año 2006). La SST cambió de condiciones cálidas (anomalías de 0.8°C para los años 1997-1999) a condiciones frías (-06°C para los años 2000-2001) para posteriormente volver a condiciones cálidas (0.7°C para los años 2002-2003). Desafortunadamente estos autores presentaron solo los datos de las anomalías de SST y Chl_{sat} .

Martínez y Zavala (2009) estudiaron la variabilidad estacional e interanual del transporte de aguas ricas en clorofila en la plataforma continental del golfo de México usando datos mensuales del sensor SeaWiFS de 1997 a 2007. Ellos mencionaron que el transporte hacia fuera de la plataforma tiene un comportamiento estacional principalmente modulado por el campo del viento a lo largo de la costa. Dichos patrones generan una convergencia durante los meses de otoño-invierno situada en la parte más sureña de la plataforma entre los estados de Campeche y Tabasco, frente a la Laguna de Términos. En esta zona existe un efecto por los aportes de aguas provenientes de los ríos de la región traducándose en altas Chl.

Salmerón-García *et al.* (2011) hicieron una regionalización del golfo de México con base en el comportamiento anual de Chl_{sat} derivadas del SeaWiFS. Para el caso del banco de Campeche, describieron dos regiones: la primera región localizada frente a los estados de Campeche y Tabasco con Chl_{sat} altas principalmente en los meses de septiembre a diciembre, y bajas de febrero a junio. Por otra parte, la segunda región se localizó en la parte exterior de la plataforma con diferencias muy claras con respecto a la zona interior; en esta zona se presentaron Chl_{sat} altas durante diciembre-enero y bajas durante agosto-septiembre cuando la estratificación alcanza su máximo nivel. Salmerón-García *et al.* (2011) mencionaron que Chl_{sat} responde a los frentes fríos los cuales provocan una mezcla de la columna de agua trayendo nutrientes hacia la superficie.

Zhao y He (2012) usaron datos de SST y Chl_{sat} del GM para producir imágenes diarias sin interferencia de nubes y a su vez usaron datos de SSH para desarrollar modelos de regresión lineal. En lo que respecta a la zona frente a Campeche, encontraron una relación negativa ($r \sim -0.60$) entre los datos de clorofila y temperatura en la zona oceánica mientras que en las zonas cercanas a las costas resultó una correlación positiva. Por otra parte, para la relación entre Chl_{sat} y SSH se encontró un patrón similar, pero con valores de correlación bajos con respecto a los obtenidos para la relación $\text{Chl}_{\text{sat}} - \text{SST}$.

1.2. Justificación.

Las zonas costeras son áreas con una muy alta riqueza, producción de biomasa, servicios ecosistémicos y fuentes de empleo, por lo que es común que existan establecimientos humanos muy cercanos a la costa haciendo uso de estos servicios (Constanza *et al.*, 1997; Herrera-Silvera y Morales-Ojeda, 2009). Un ejemplo es el banco de Campeche que al igual que todas las zonas costeras, cuenta con una gran biodiversidad y abundancia de recursos naturales de interés comercial (en especial actividades pesqueras y actividades petroleras) generando un gran interés científico, social y económico sobre esta región (Ayala-Pérez, 2015).

Troccoli *et al.* (2004) mencionaron que la región interior del banco de Campeche adyacente a la Reserva de la Biósfera de los Petenes es una zona muy productiva con valores muy elevados de biomasa fitoplanctónica producto de la disponibilidad de nutrientes. Por otra parte, algunos autores citados anteriormente (v.g.: Álvarez y Herrera, 2006; Martínez y Zavala, 2009) mencionaron que en esta zona hay una marcada variabilidad espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica, la cual responde en gran medida

a factores ambientales como la temperatura, lluvias, tormentas tropicales, escorrentías de agua dulce, afloramientos de aguas subterráneas, frentes fríos y huracanes.

Estos cambios en la abundancia fitoplanctónica son de gran interés debido a que tienen repercusiones muy marcadas sobre los niveles tróficos superiores. Al haber una gran producción y biomasa fitoplanctónica es posible sostener grandes biomásas de consumidores superiores como zooplancton, moluscos, peces, etc. (Reynolds, 2006; Pal y Choudhury, 2014). En la región localizada frente al estado de Campeche se capturan una gran cantidad de peces y mariscos, siendo la pesca una de las actividades primarias importantes del estado, además de la extracción petrolera. La Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA, <https://www.gob.mx/conapesca>) en su anuario estadístico para el año 2017, coloca a Campeche en el octavo lugar en producción pesquera a nivel nacional, con una producción total de 58,764 toneladas y un valor comercial neto de \$ 1,662,790, 000.00 pesos.

Aun cuando es reconocida la importancia de la zona a nivel nacional, son pocos los estudios relacionados con la PP y biomasa fitoplanctónica a grandes escalas temporales y espaciales. Los existentes son descripciones puntuales, instantáneas o de escalas espaciales y temporales limitadas. Otros estudios describen el banco de Campeche como una región homogénea, aun cuando dentro del mismo existe mucha variabilidad (diferencias entre la zona norte y sur, entre las zonas neríticas, y variaciones anuales y estacionales).

Por lo anterior, es de gran importancia generar información sobre el banco de Campeche debido a que los estudios de variabilidad espacial y temporal contribuyen al conocimiento científico y proveen de bases sólidas para la implementación y toma de decisiones en planes de manejo, aprovechamiento de recursos naturales y contingencia para desastres de origen natural y antropogénico.

1.3. Hipótesis.

- Los valores de Chl_{sat} y de PP son mayores en temporada de lluvias (julio-octubre) que en temporada de secas (marzo-junio) en el banco de Campeche debido a que los frentes fríos y tormentas tropicales provocan una mezcla de la columna de agua, escorrentías de agua dulce y transporte de sedimentos causando un aumento en la disponibilidad de nutrientes y por lo tanto en la biomasa y PP del fitoplancton.

- Los valores de Chl_{sat} y PP son mayores en la zona nerítica interior que en la zona nerítica exterior.
- SST y SSH son mayores en estación de secas que en la estación de frentes fríos debido al aumento de la temperatura del aire en el primer período con respecto al segundo, el aumento de la irradiancia y a la mayor estratificación de la columna de agua. Esto debe implicar valores menores de Chl_{sat} y PP en la estación de secas.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la concentración de clorofila y de la productividad primaria frente al estado de Campeche y relacionarla con los forzantes físicos presentes en la zona.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Describir y comparar la variabilidad espacio-temporal de Chl_{sat} y PP en la parte norte, central y sur del banco de Campeche, y relacionar estos cambios con la variación de SST y SSH como indicadores de los agentes forzantes en el área de estudio.
- Describir y comparar la variabilidad espacio-temporal de Chl_{sat} , PP, SST y SSH de las zonas neríticas interior y exterior frente a Campeche.

Capítulo 2. Metodología

2.1. Área de estudio.

El área de estudio se localiza en el sureste del golfo de México abarcando la porción del banco de Campeche frente al municipio de Calkiní hasta el municipio de Palizada, frente al estado de Campeche (Fig. 1). Esta zona se caracteriza por presentar una plataforma continental de ~250 km de ancho con una pendiente suave hasta alcanzar profundidades máximas de ~200 m en la zona exterior. El clima es cálido subhúmedo a cálido húmedo y con una temperatura ambiental media anual entre 26-27 °C, con valores máximos mayores a 30 °C y mínimos de 18 °C. Las lluvias son de abundantes a muy abundantes durante el verano. La precipitación total de las partes sur y centro varía entre 1200 y 2000 mm anuales y en la región norte es ~800 mm anuales (Mendoza-Vega y ku-Quej, 2010; INEGI, 2018). Para esta zona se describen tres estaciones del año: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y una temporada de frentes fríos o "nortes" (noviembre a febrero). Las tormentas tropicales y huracanes son comunes en julio-octubre produciendo una intensificación en los vientos y las corrientes marinas, lo cual genera la re-suspensión de sedimentos aportados por los florecimientos subterráneos de agua dulce, ríos y manglares localizados a lo largo de la costa en el área de estudio (Morales-Ojeda, 2010).

2.2. Diseño experimental.

Para poner a prueba las hipótesis y cumplir con los objetivos, se usaron en total cinco transectos dentro de los cuales se situaron 20 pixeles para los transectos 1-4 y 30 para el transecto 5. Los cuatro primeros transectos tuvieron una longitud de 200 km y estuvieron colocados de manera perpendicular a la costa abarcando toda la plataforma continental frente al estado de Campeche; el primer transecto (T1) se situó frente al municipio de Calkiní, el segundo (T2) frente al municipio de Campeche, el tercero (T3) frente al municipio de Champotón y el cuarto (T4) frente a laguna de Términos (municipio de el Carmen). Por último, el quinto transecto (T5) tuvo una longitud de 300 km y estuvo situado a ~20 km mar adentro paralelo a la costa sobre la isobata de los ~10 m (Fig. 1).

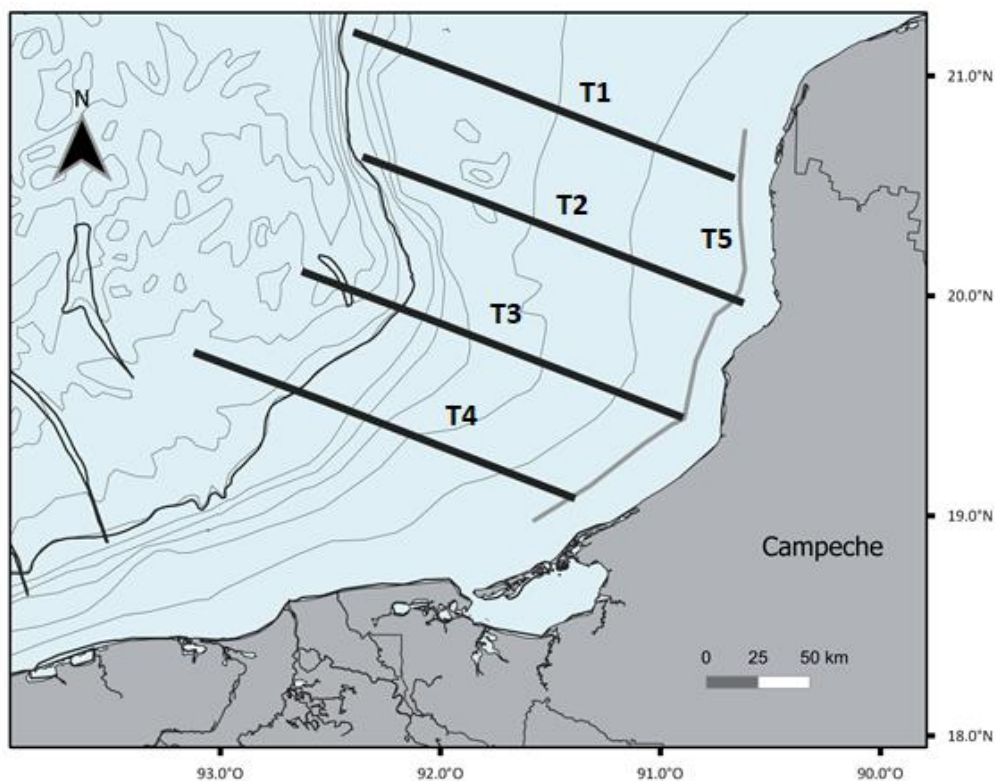


Figura 3. Ubicación de los transectos y zona de estudio en la porción del banco de Campeche frente al estado de Campeche.

2.3. Productos satelitales.

2.3.1. Características de los sensores remotos.

El sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (AquaMODIS) navega en el satélite Aqua puesto en órbita en mayo de 2002. Cuenta con 36 bandas dentro de las longitudes de onda 0.405 a 14.385 μm dentro de los cuales nueve bandas toman datos del color del océano y cinco bandas en el infrarrojo. Este sensor obtiene datos en tres resoluciones espaciales, siendo la resolución de 1000 m en las bandas 8-32 donde se obtienen los productos satelitales de Chl_{sat} y SST. Posteriormente estos datos son transferidos al Sistema de Observación de la Tierra (EOS, por sus siglas en inglés) de la NASA donde el Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica (OBPG, por sus siglas en inglés) procesa los datos y elabora los productos satelitales de color del océano, encargándose además de la recolección, procesamiento, calibración, validación, resguardo y distribución a los diferentes usuarios mediante la página de internet "Ocean Color" (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). En esta página, los productos están organizados de

diversas maneras de acuerdo a su resolución espacial (4x4 km, 9x9 km), temporal (diaria, semanal, mensual, anual) y a su nivel de procesamiento.

El programa COPENICUS de la unión europea cuenta con el satélite/misión “sentinel-3” administrado por la agencia espacial europea (ESA, por sus siglas en inglés). Dentro de los satélites se encuentran montados los sensores Sentinel Radar Altimeter (SRAL, por sus siglas en inglés), Microwave Radiometer (MWR, por sus siglas en inglés) y Precise Orbit Determination (POD, por sus siglas en inglés), cuyas características, funcionamiento, tipo de ondas, mediciones y especificaciones pueden ser encontradas en la página de internet de la ESA (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3/instrument-payload>).

Estas agencias espaciales realizan el cálculo de la altura de la superficie del mar y de otros productos satelitales (temperatura, salinidad, clorofila, densidad, capa de mezcla) a partir de los datos generados por los sensores, ya sea mediante la medición directa o con el uso de modelos validados con datos *in situ* obtenidos mediante instrumentos o sensores localizados a lo largo de los océanos y mares.

Los productos satelitales están puestos a disposición en la página de internet del programa COPENICUS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>), donde están agrupados y puestos en orden de acuerdo a la necesidad e interés del usuario, como por ejemplo tipo de datos (clorofila, SST, salinidad, SSH), el área de elección (agrupados por océanos y mares), resolución temporal (mensual, semanal y diarias) y espacial dependiendo del set de datos elegido.

2.3.2. Estimación de SST, Chl_{sat} , PP y SSH por sensores remotos.

Las aguas donde la concentración del fitoplancton es el constituyente dominante se denominan aguas Caso I ($\text{Chl}_{\text{sat}} < 1.5 \text{ mg m}^{-3}$), mientras que cuando las sustancias amarillas y el material suspendido superan al fitoplancton, afectando de mayor manera que este a las propiedades ópticas del agua, se denominan aguas caso II ($\text{Chl}_{\text{sat}} > 1.5 \text{ mg m}^{-3}$) (Morel y Prieur, 1977). En aguas caso I se aplican algoritmos espectrales simples usando la reflectancia en las regiones azul y verde, estos algoritmos funcionan mejor cuando las sustancias que no son fitoplancton tienen concentraciones insignificantes.

Para las aguas caso II se usa un algoritmo que inserta una tercera banda en la región del infrarrojo debido a que dos o más sustancias pueden influir en la señal óptica de una manera similar haciendo difícil la

distinción entre ellas; este tipo de aguas comúnmente son encontrados en las zonas costeras, lagunas estuarinas o desembocaduras de ríos (Dall'Olmo *et al.*, 2005). La NASA reporta un promedio *sui generis* de la Chl_{sat} de la primera profundidad óptica, es decir el $\sim 22\%$ de la zona eufótica donde llega la PAR, y la reporta en mg m^{-3} .

Para PP se utilizaron los datos calculados por el grupo de la Universidad de Oregón (OSU) a partir del Modelo de Producción Vertical Generalizado propuesto por Behrenfeld y Falkowski (1997) expresado en $\text{gC m}^{-2}\text{d}^{-1}$.

Para los datos de SSH se escogieron dos productos o conjuntos de datos de la página COPERNICUS: “MULTIOBS_GLO_PHY_NRT_015_001” y “MULTIOBS_GLO_PHY_NRT_015_002”. Ambos productos tienen métodos similares para la generación de datos y de imágenes satelitales, los cuales están basados en el método de fusión descrito por Guinehut *et al.* (2004). Los datos usados en este método son generados mediante sensores satelitales e *in situ*. Cada producto tiene cuatro subconjuntos de datos divididos de acuerdo a su contenido y a su resolución temporal (mensual y semanal). La altura de la superficie del mar corresponde a la altura geopotencial en metros, el cual es un ajuste de la altitud geométrica usando las variaciones de la gravedad con la latitud. Una explicación más amplia y puntual puede ser encontrada en los manuales de usuario y especificaciones de cada producto localizados en la página de productos de COPERNICUS.

2.3.3. Descarga de las imágenes satelitales, visualización y programación para el procesamiento y obtención de datos de los productos satelitales.

Se utilizaron datos de SST y Chl_{sat} del sensor Aqua-MODIS. Para la SST, se usó la banda de longitud de onda de $11\ \mu\text{m}$ y con datos de día. Para ambas variables se utilizó el nivel 3 de procesamiento, con tamaño de pixel de $9 \times 9\ \text{km}^2$. Se descargaron composiciones mensuales de julio de 2002 a diciembre de 2018 de la página Ocean Color de la NASA. Mientras que, para la PP las imágenes satelitales tuvieron una resolución de $18 \times 18\ \text{km}^2$ y fueron descargadas desde la página de la Universidad de Oregón (<https://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>).

Para la altura de la superficie del mar (SSH) se descargaron imágenes satelitales mensuales de julio de 2002 a diciembre de 2018 con una resolución espacial de 0.25×0.25 grados ($\sim 27 \times 27\ \text{km}^2$). Las descargas

se realizaron desde los productos “MULTIOBS_GLO_PHY_NRT_015_001” y “MULTIOBS_GLO_PHY_NRT_015_002” de la página de internet del programa COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>). Debido a que el primer set de datos solo cubría los años 2002 a 2017, se optó por usar el segundo set de datos para obtener el año faltante (2018) y así complementar la serie temporal deseada, esto debido a la similitud de las metodologías usadas para ambos productos. Como una forma de corroborar que las imágenes obtenidas de ambos sets no diferían significativamente uno con respecto al otro en sus valores para la altura de la superficie del mar, se descargaron tres imágenes de cada set de datos correspondientes al mismo año y se compararon los valores obtenidos dando como resultado que eran muy similares entre sí, con diferencias menores a un centímetro.

Los datos de Chl_{sat} , PP, SSH y SST fueron extraídos para cada pixel del transecto con ayuda del software SeaWiFS Data Analysis System (SeaDAS 7.5.3) de la NASA y posteriormente se creó una base conteniendo los valores de temperatura superficial del mar, clorofila, producción primaria y altura de la superficie del mar.

2.4. Visualización de datos y generación de series temporales.

Se hicieron diagramas Hovmöller usando el programa Ocean Data View (ODV, versión 5.1.5 ©2018 Reiner Schlitzer) para cada variable de cada transecto con el fin de visualizar de manera general la variabilidad temporal y espacial de SST, SSH, Chl_{sat} y PP. Debido a que en los diagramas Hovmöller de cada transecto perpendicular a la costa se observó una clara diferenciación de zonas, se procedió a dividir el área de estudio en dos: una zona nerítica interior y otra exterior. Finalmente se generaron series de tiempo de las medias de cada variable de cada una de las zonas (nerítica interna y externa), de julio de 2002 a diciembre de 2018.

De acuerdo a esto, se tomaron los valores de los pixeles localizados en cada zona nerítica (los pixeles 1-6 para la zona interior y 7-20 para la zona exterior) para cada mes de cada año y se obtuvo la media en cada caso. La nomenclatura para cada transecto se muestra en la tabla 1.

En cuanto al transecto paralelo a la costa (T5) se diferenciaron tres zonas: zona norte (pixeles 1-10), zona centro (pixeles 11-26) y zona sur (pixeles 27-30). Sus nomenclaturas fueron “T5ZN”, “T5ZC” y “T5ZS”

respectivamente. Para este transecto se realizó el mismo procedimiento ya antes descrito. A partir de estas series temporales se observó el comportamiento de las variables con respecto al tiempo en cada zona de los transectos y posteriormente se realizaron las comparaciones y análisis estadísticos.

Tabla 1. Nomenclatura usada para cada serie temporal derivada de la zonación a partir de los diagramas Howmöller.

Transecto	1	2	3	4
Zona interior	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI
Zona exterior	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE

2.5. Análisis estadístico.

Como primer paso, se realizó un análisis espectral para caracterizar los periodos y frecuencias más dominantes de las variables bajo estudio. Para ello se usó el software MATLAB R2018a (Versión 9.4.0.813654© 1984-2012 The MathWorks Inc.).

Para conocer como fue el comportamiento entre las variables abióticas y bióticas con respecto al tiempo se realizó un análisis de correlación cruzada. Para llevar a cabo este análisis fue necesario que las dos series temporales presenten estacionalidad, es decir, que la media anual se mantenga relativamente constante durante todo el periodo de estudio o set de datos. Para cumplir este supuesto se aplicó a las series temporales una estandarización usando el procedimiento de anomalías con media móvil (datos zeta). Este procedimiento consiste en formar subconjuntos de datos y calcular las anomalías estandarizadas (Ecuación 1) por subconjunto hasta cubrir la totalidad de la serie temporal, en este caso los subconjuntos son anuales.

$$Z = \frac{d - \mu}{sd} \quad (1)$$

Donde d es el valor de cada dato del año respectivo, μ la media anual respectiva y sd la desviación estándar correspondiente a ese año.

En cuanto a las diferencias entre transectos y entre zonas, años y estaciones de cada variable, estas no cumplieron con los supuestos para realizar un ANOVA frecuentista por lo que se realizó un ANOVA bayesiano y posteriormente pruebas de t-student bayesianas pareadas (cuando los datos no son independientes) y no pareadas (cuando los datos son independientes). Como resultado se obtuvieron valores correspondientes a un factor de Bayes (BF por sus siglas en inglés), que es una razón de verosimilitud entre las probabilidades de ocurrir para la hipótesis nula y alternativa obtenidas a partir de la distribución posterior de los datos.

$$BF = \frac{P(H_1)}{P(H_0)} \quad (2)$$

Jeffreys (1967) propuso una categorización de acuerdo al resultado obtenido (si probabilidad de la hipótesis nula fungía como numerador o como denominador), interpretándose como cuantas veces es más probable que una hipótesis ocurra en relación con la otra; en este trabajo se colocó siempre como numerador la H_1 y como denominador H_0 , la interpretación usada se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Interpretación del Factor de Bayes (modificado de Jeffreys 1967).

Factor de Bayes (BF)	Interpretación
1-3	Evidencia nula o escasa
3-10	Evidencia débil
10-30	Evidencia sustancial
30-100	Evidencia fuerte
>100	Evidencia decisiva

Por último, se realizó una aproximación a la climatología (pocos años de datos para hacer una climatología *strictu senso*) para cada serie temporal de cada transecto, para ello se calculó la media de cada uno de los meses hasta conformar un año (enero-diciembre) y se aplicó un análisis MDS (Multidimensional Scaling, con distancia de “Jaccard”) para obtener más información sobre la relación entre las variables con respecto a las estaciones y los meses del año. Los análisis anteriormente descritos se hicieron con la programática R-studio (Versión 1.1.463 © 2009-2018 RStudio, Inc.).

Capítulo 3. Resultados

3.1. Variación espacial y temporal.

3.1.1. Diagramas Hovmöller para la SST, SSH, Chl_{sat} , y PP.

La SSH tuvo un comportamiento similar desde los 0 km hasta los 200 km en todos los transectos (1-5), con valores máximos (0.4-0.5 m) y mínimos (<0.1 m) periódicos indicando una estacionalidad muy marcada como se observa en la figura 4 y en el anexo 1A. En todos los transectos los valores máximos (>0.50 m) de SSH se obtuvieron de noviembre a febrero (época de frentes fríos) mientras que los mínimos (<0.15 m) de marzo a junio (época de secas). También se observó el incremento de la altura de la superficie del mar con respecto al tiempo, siendo los valores del año 2002 menores con respecto al año 2018 (diferencias de ~ 0.15 m) (Figura 4 y anexo 1A). Por otra parte, no se observaron diferencias de SSH entre la zona interior y exterior en los transectos 1-4 y tampoco entre zonas norte, centro y sur del transecto 5.

La SST (Figura 5 y anexo 1B) presentó un comportamiento estacional con valores máximos (>30 °C) de julio a octubre (época de lluvias) mientras que los mínimos (< 22.5 °C) fueron de noviembre a febrero. Sin embargo, tampoco fue posible la diferenciación entre zonas como ocurrió con la SSH debido a que la estacionalidad fue homogénea a lo largo (0-200 km) de todos los transectos.

La Chl_{sat} y PP presentaron un comportamiento estacional muy marcado para todos los transectos. Los valores máximos (> 8 mg m⁻³ y > 5 gC m⁻² d⁻¹) se encontraron de julio a octubre (época de lluvias) y los mínimos (< 0.7 mg m⁻³ y < 0.5 gC m⁻² d⁻¹) de marzo a junio (época de secas). Además de las diferencias estacionales, también se encontraron diferencias espaciales muy marcadas diferenciándose dos zonas (neríticas interior de 0-60 km y exterior de 60-200 km) en los transectos 1-4 y tres zonas (norte, centro y sur) en el transecto 5.

La estacionalidad se observó a lo largo de los transecto 1-4 con lengüetas desde los 0 hasta los 200 km mar adentro pero con diferencias entre los valores de cada zona de ~ 3.5 mg m⁻³ a ~ 5 mg m⁻³ y en ocasiones de hasta > 8 mg m⁻³ para la Chl_{sat} y para la PP de ~ 2 gC m⁻² d⁻¹ a 5 gC m⁻² d⁻¹ y hasta > 7 gC m⁻² d⁻¹.

En los transectos 1 a 4 (Figura 6 y 7) se encontraron los máximos valores (> 5 mg m⁻³) cercanos a la costa de 0- ~ 60 km (zona nerítica interior) mientras que los mínimos (>1 mg m⁻³) se localizaron de ~ 60 a 200 km

mar adentro (zona nerítica exterior). En los transectos 1, 2 y 3 (Figura 6 y 7) se observó una ligera inclinación de las lengüetas de PP y Chl_{sat} hacia la derecha lo que podría indicar un fenómeno de transporte mar adentro.

En el transecto 4 (Figura 6 y 7) se observó la presencia de manchones de PP y Chl_{sat} hasta 200 km alejados de la costa con valores ($> 2 \text{ mg m}^{-3}$ y $> 3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) indicando la presencia de un transporte muy marcado hacia mar adentro de manera estacional mientras que en los demás meses el comportamiento es similar a los transecto 1-3 con valores mayores a 6 mg m^{-3} y $5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ cerca de las costa y menores a 1 mg m^{-3} y $0.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mar adentro.

En el transecto 5 (Figura 6 y anexo 1 C) se destacó la presencia de tres zonas, las cuales corresponden a la zona norte (~ 200 a ~ 300 km), zona centro (~ 40 a ~ 200) y zona sur (0 a ~ 40 km). La zona norte presentó valores mayores de PP ($> 4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y Chl_{sat} ($> 5 \text{ mg m}^{-3}$) en comparación con la zona centro ($> 4 \text{ mg m}^{-3}$ y $> 3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y sur ($> 3 \text{ mg m}^{-3}$ y $2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

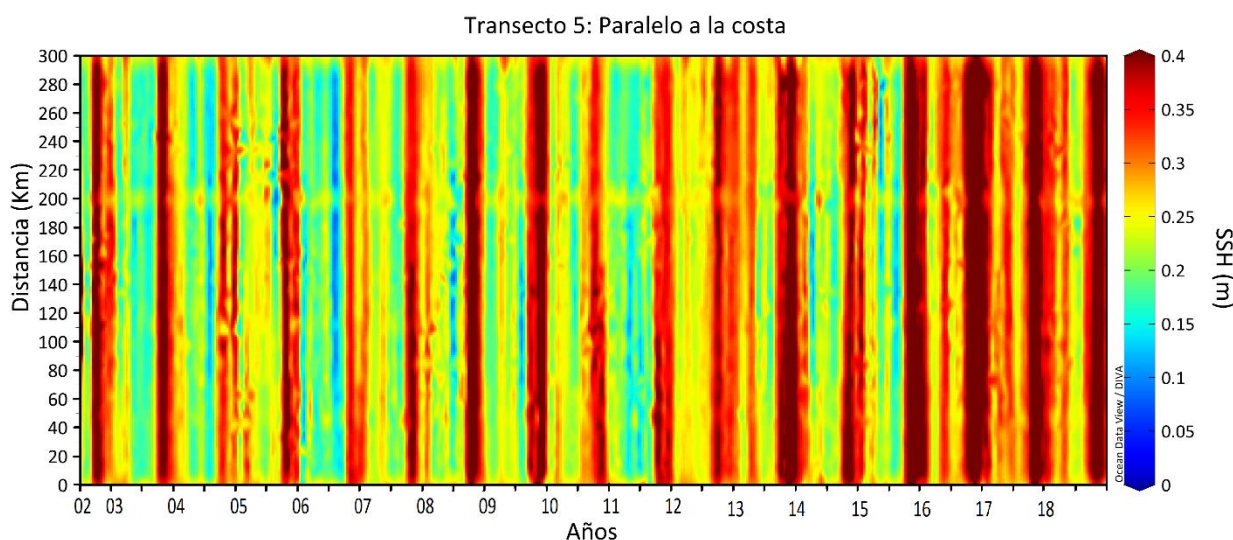


Figura 4. Diagrama Hovmöller de la altura de la superficie del mar (SSH) para el transecto 5 paralelo a la costa.

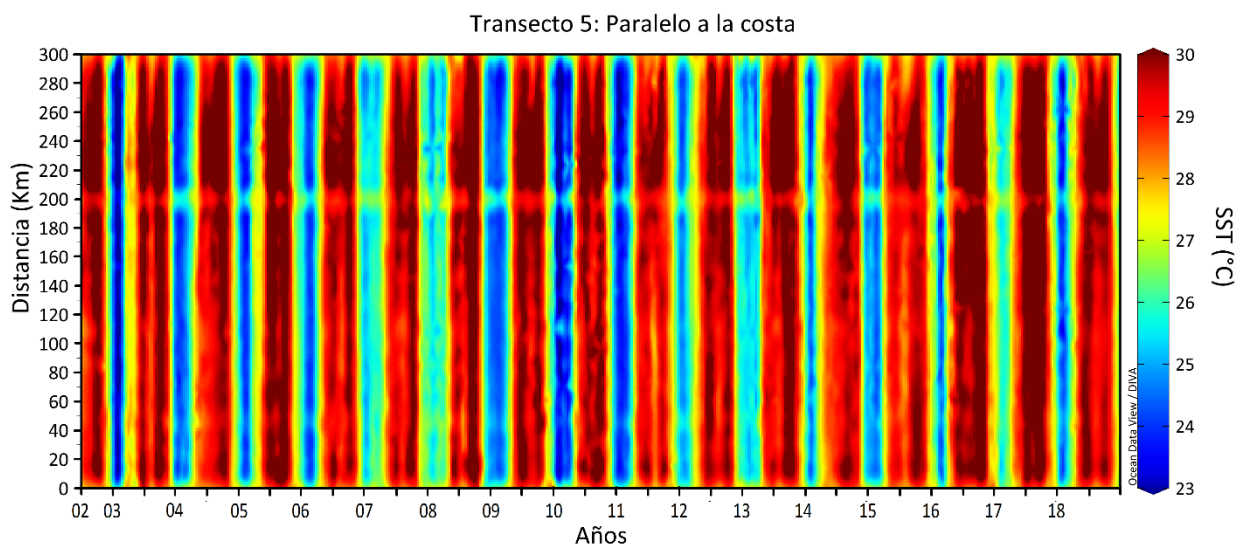


Figura 5. Diagrama Hovmöller de la temperatura de la superficie del mar (SST) para el transecto 5 paralelo a la costa.

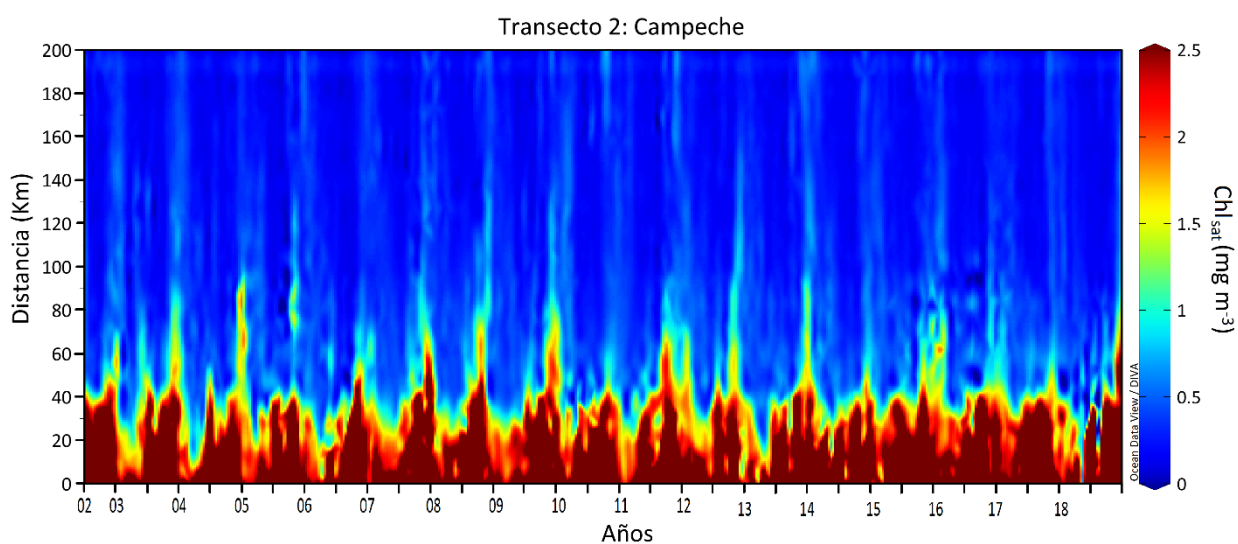
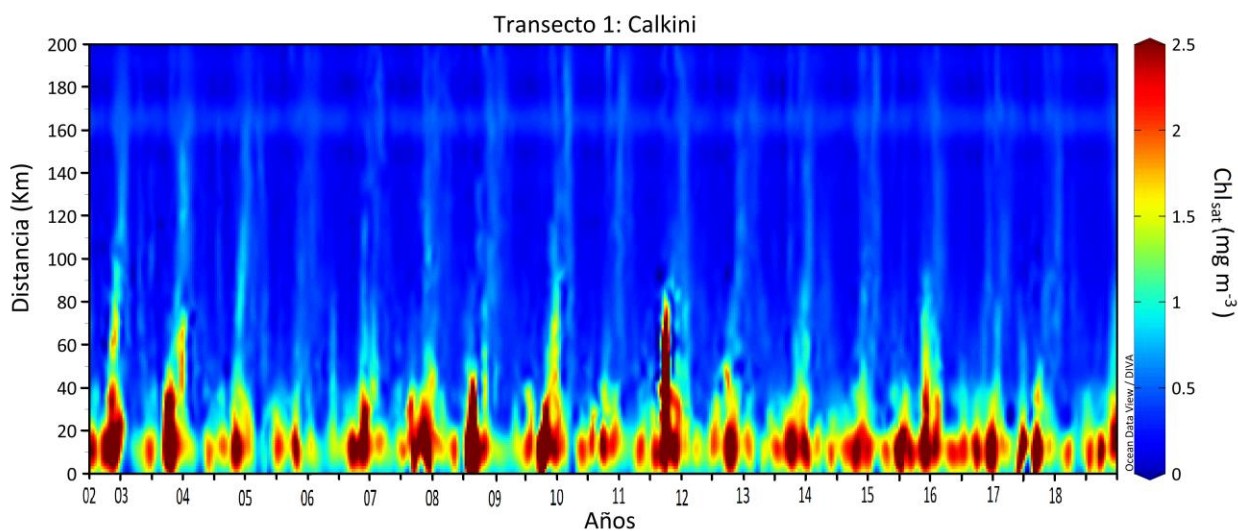


Figura 6. Diagramas Hovmöller de clorofila satelital (Chl_{sat}) para cada transecto (1-5).

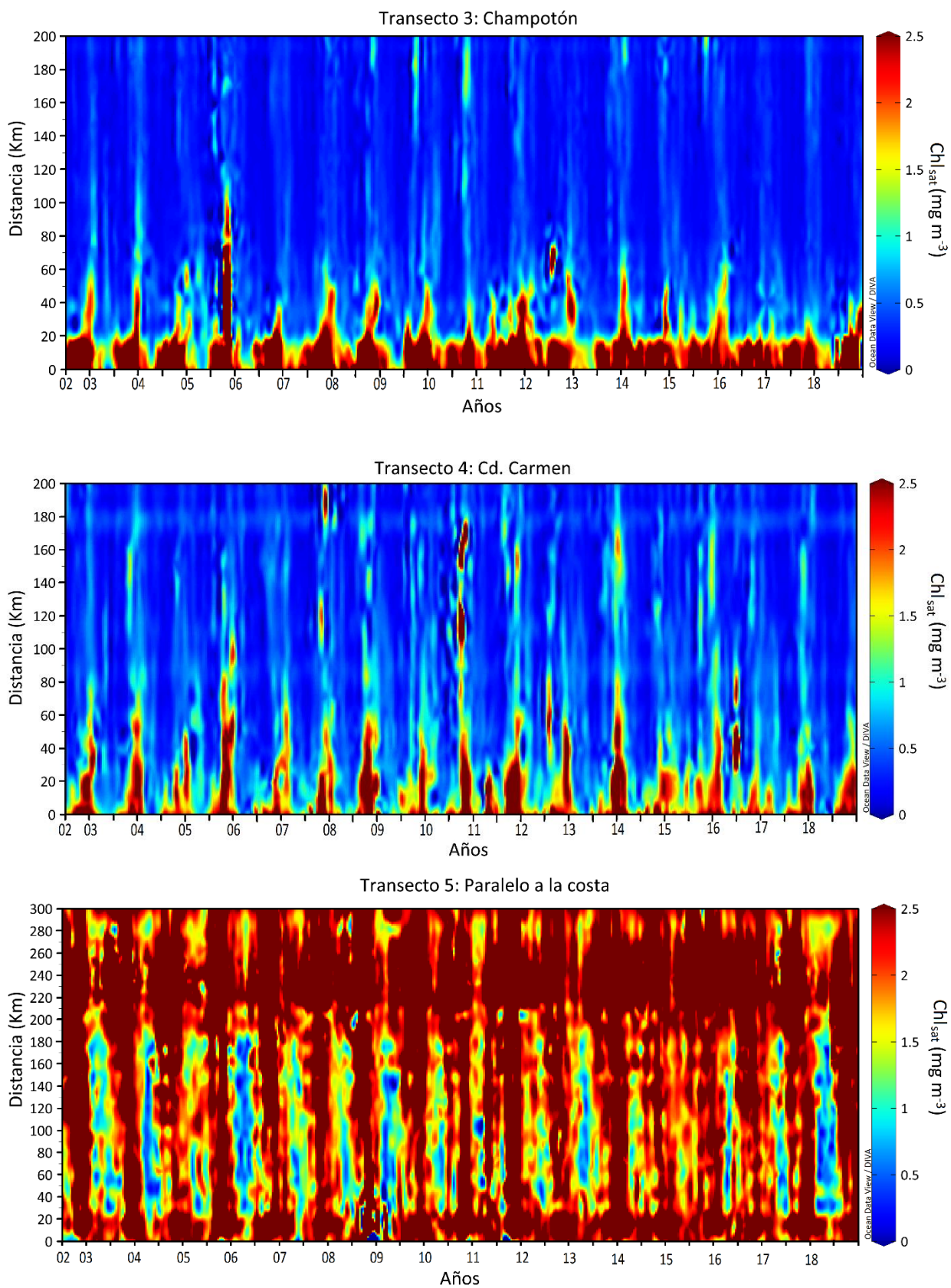


Figura 7. Continuación

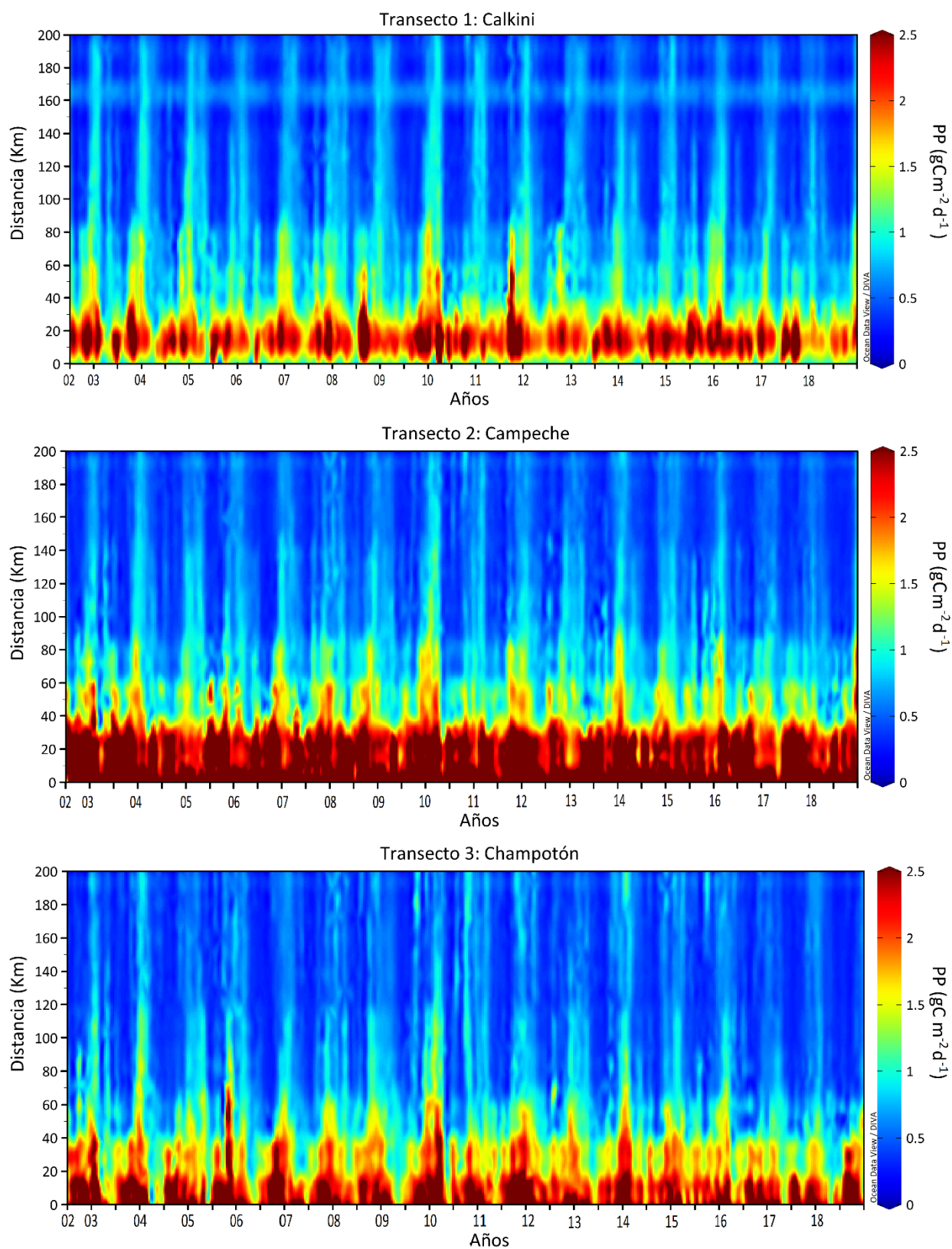


Figura 8. Diagramas Hovmöller de la productividad primaria (PP) para cada transecto (1-5).

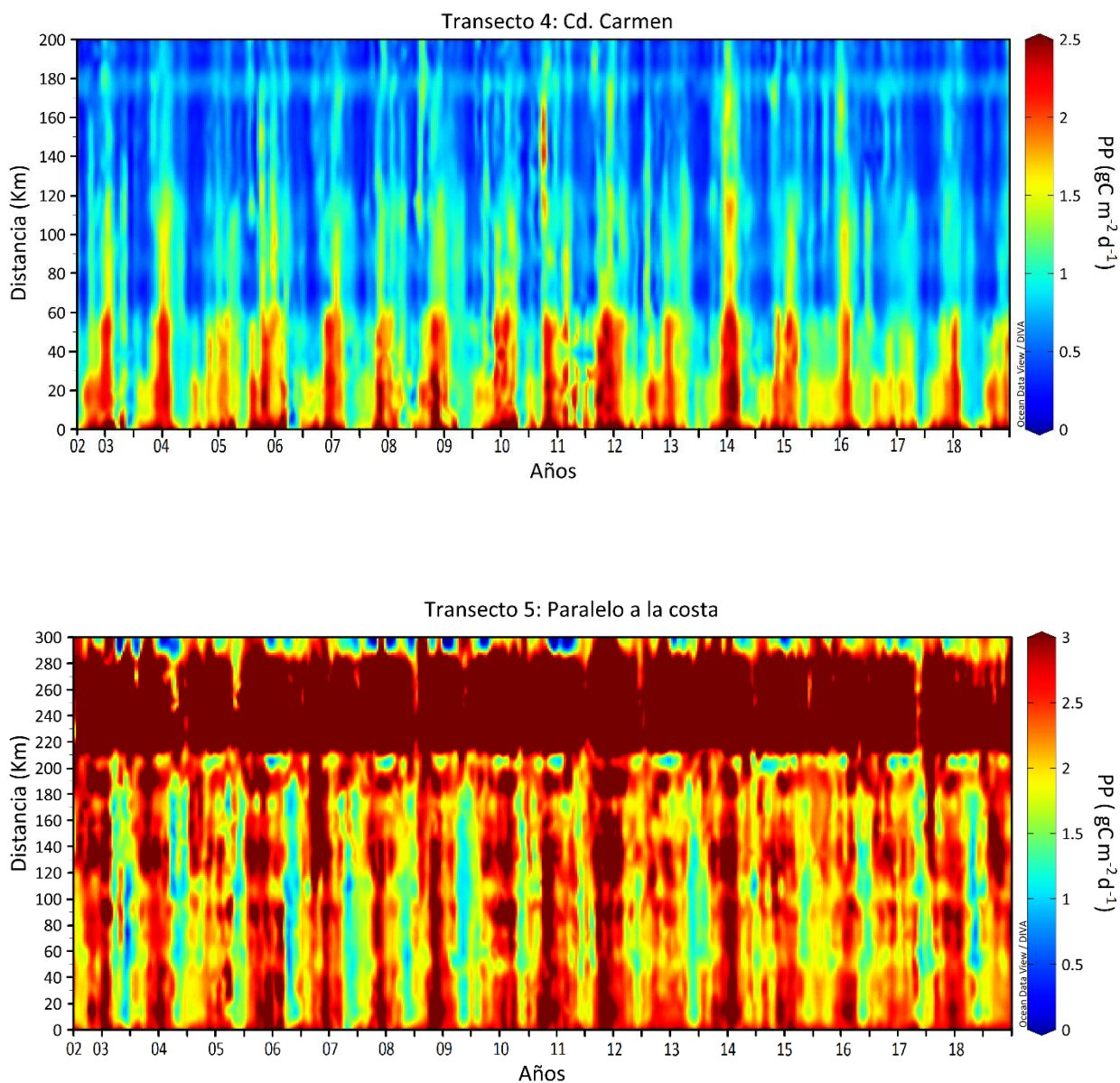


Figura 7. Continuación.

3.1.2. Análisis espectrales.

El análisis espectral de las series temporales arrojó resultados similares para todas las variables estudiadas (Anexo 2). Los resultados mostraron una señal anual muy marcada, la cual contiene la mayor parte de la variabilidad. También se detectaron señales intraanuales semestrales y en algunos casos señales menores a las bimestrales (Figura 8). La PP y la Chl_{sat} presentaron una mayor cantidad de señales menores a las

bimestrales haciendo evidente la gran variabilidad presente en la zona de estudio. Solo se presentan los gráficos de la serie T1ZI, los correspondientes a las demás series se encuentran en el anexo 2.

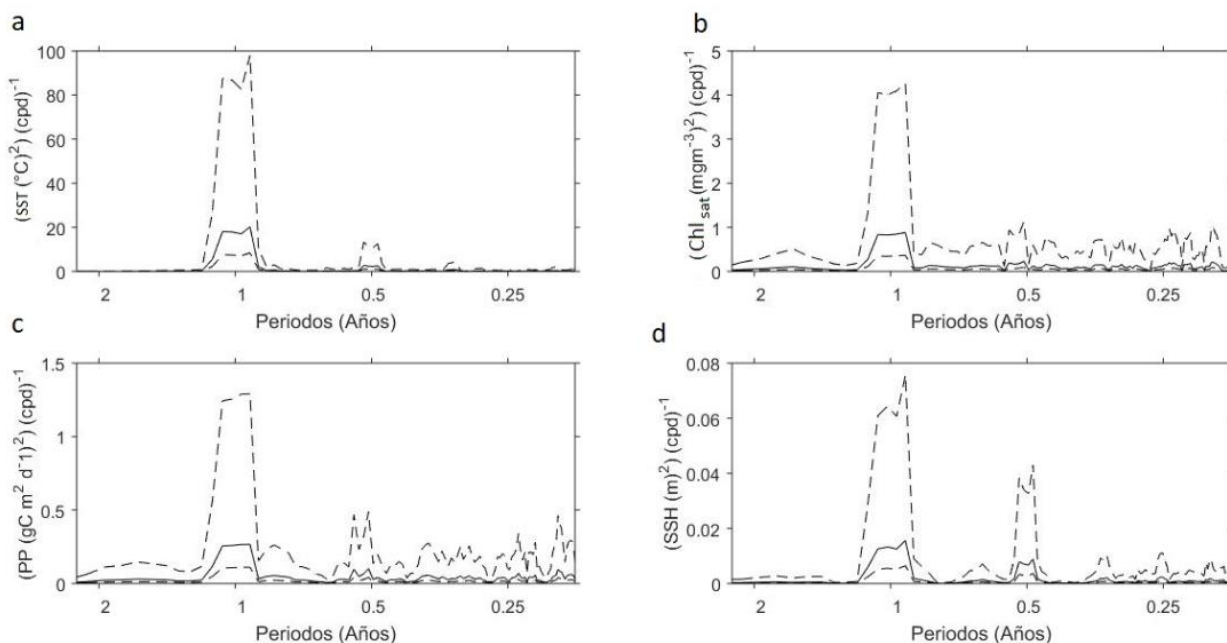


Figura 9. Análisis espectral de las variables SST (a), Chl_{sat} (b), PP (c) y SSH (d) para la serie T1ZI.

3.1.3. Series temporales.

3.1.3.1. Temperatura de la superficie del mar (SST).

Las series temporales de SST presentaron un comportamiento anual muy marcado con picos dobles máximos ($> 30^\circ\text{C}$) en algunos años (por ejemplo, en 2003 y 2005). Las series correspondientes a la zona nerítica interior (T1ZI – T4ZI) presentaron temperaturas medias mayores ($\sim 27.7^\circ\text{C}$) en comparación a las localizadas en la zona nerítica exterior ($\sim 27.3^\circ\text{C}$) (T1ZE – T4ZE) con diferencias de $\sim 0.4^\circ\text{C}$ entre ellas (Tabla 3 y 4).

Las diferencias interanuales (entre años) en cada una de las series temporales fueron de alrededor de $\sim 1^\circ\text{C}$, mientras que el intervalo intraanual general (entre estaciones/épocas) para todas las series fue de $\sim 10^\circ\text{C}$ ($22\text{--}32^\circ\text{C}$) con temperaturas máximas durante la época de secas ($> 30^\circ\text{C}$) y temperaturas mínimas durante la época de frentes fríos ($< 23^\circ\text{C}$) (Figura 9 y 10).

En el transecto 5, la zona norte (T5ZN), centro (T5ZC) y sur (T5ZS); presentaron temperaturas medias (27.9 °C) que fueron prácticamente iguales (Tabla 5).

Para las series T1ZI – T4ZI los valores máximos (> 30.5 °C) se presentaron durante los años 2003, 2008, 2016 y 2017 respectivamente, mientras que los mínimos (> 23 °C) en los años 2010 para T1ZI y 2003 para T2ZI, T3ZI y T4ZI. Para T2ZE el valor máximo (> 30 °C) fue durante el año 2017, mientras que para T1ZE, T3ZE y T4ZE fue en 2004; los valores mínimos (> 22.5 °C) para T1ZE-T3ZE fueron en el año 2011 y para T4ZE en el 2010 (Figura 9). En cuanto a las series del transecto paralelo a la costa (T5ZN, T5ZC y T5ZS) se obtuvieron valores máximos (~ 31 °C) en los años 2008, 2016, 2017 respectivamente con valores mínimos (~ 22 °C) para todas ellas en 2003 (Figura 10).

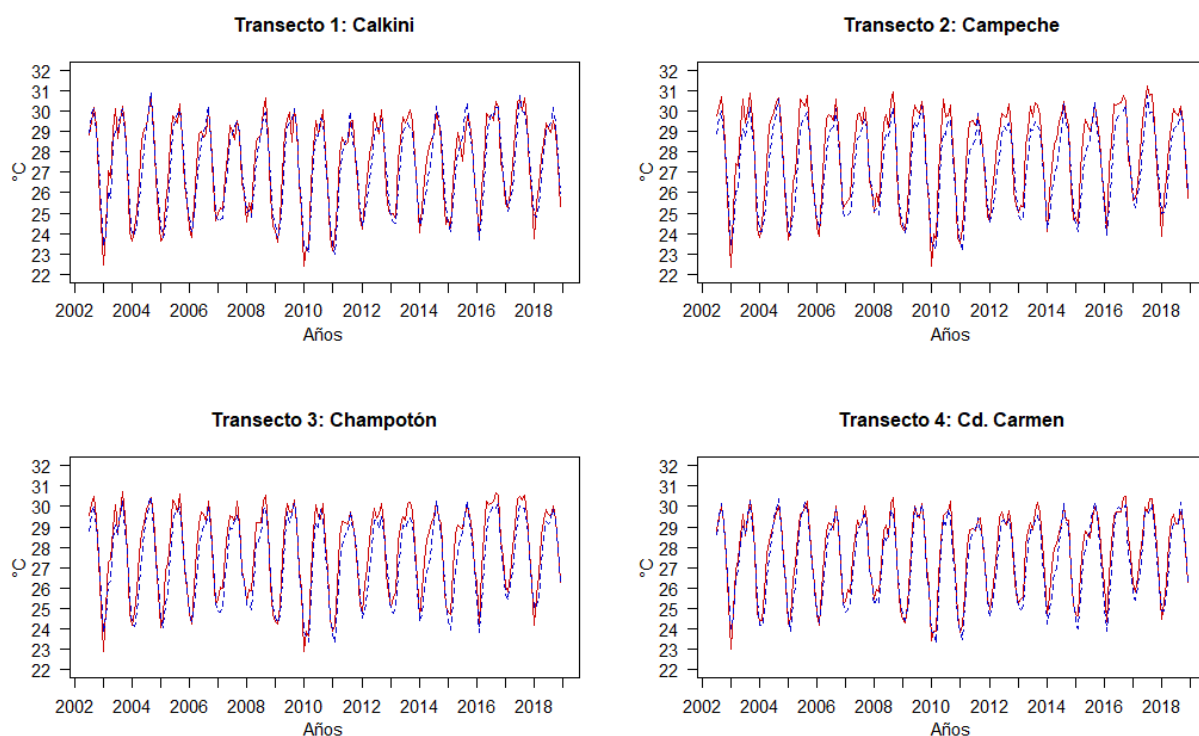


Figura 10. Series temporales de las temperaturas medias de la superficie del mar para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI) mientras que las líneas azules punteadas representan la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).

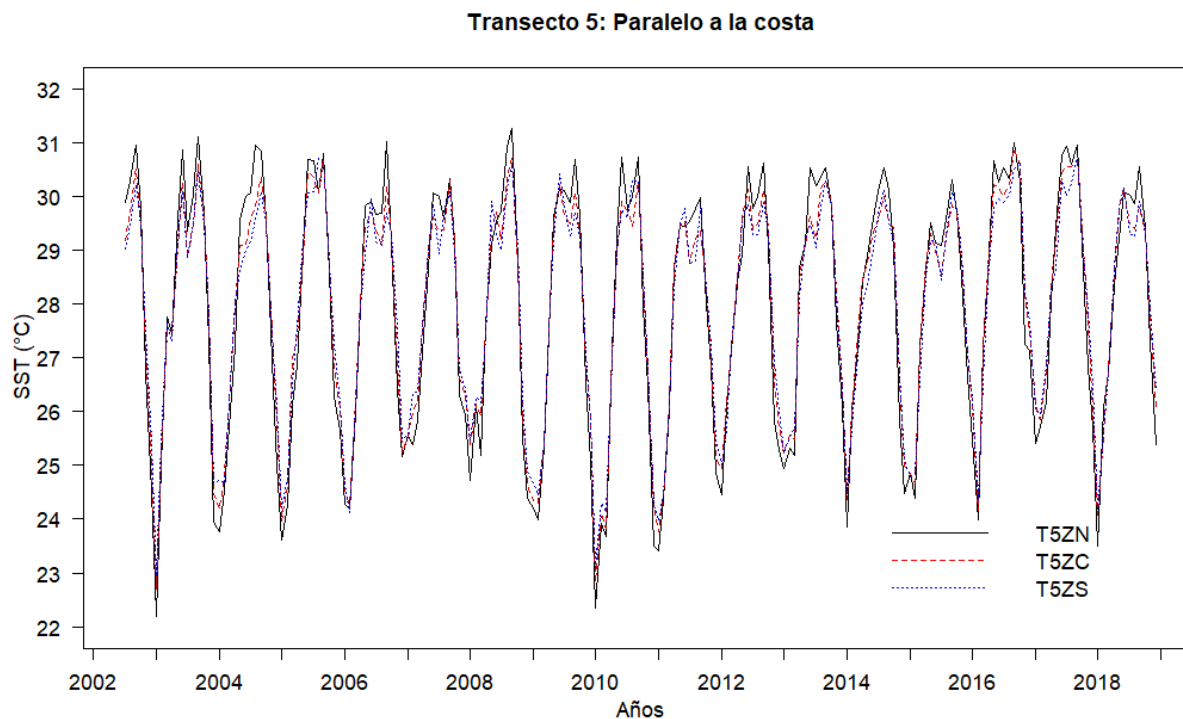


Figura 11. Series temporales de la temperatura de la superficie del mar para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS).

Tabla 3. Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales de la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI).

Transecto	Medida	Clorofila (mgm^{-3})	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	PP ($\text{gCm}^{-2}\text{d}^{-1}$)	SSH (m)
T1	Mínimo	0.37	22.4	1.04	0.12
	Mediana	1.28	27.9	2.00	0.26
	Media	1.44	27.4	1.99	0.27
	Máximo	4.84	30.6	3.38	0.54
T2	Mínimo	0.63	22.3	1.53	0.1
	Mediana	2.21	28.5	2.47	0.25
	Media	2.29	27.8	2.50	0.27
	Máximo	5.31	31.2	3.38	0.55
T3	Mínimo	0.41	22.9	0.88	0.10
	Mediana	1.45	28.6	1.71	0.26
	Media	1.55	27.9	1.73	0.27
	Máximo	8.53	30.7	3.03	0.55
T4	Mínimo	0.25	23	0.83	0.12
	Mediana	0.93	28.2	1.50	0.26
	Media	1.17	27.7	1.59	0.28
	Máximo	3.45	30.4	2.77	0.56

Tabla 4. Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales de la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).

Transecto	Medida	Clorofila (mgm⁻³)	Temperatura (°C)	PP (gCm⁻²d⁻¹)	SSH (m)
T1	Mínimo	0.12	22.9	0.30	0.18
	Mediana	0.23	27.4	0.52	0.27
	Media	0.27	27.2	0.55	0.29
	Máximo	0.66	30.8	0.96	0.49
T2	Mínimo	0.13	23.1	0.31	0.16
	Mediana	0.26	27.6	0.55	0.27
	Media	0.29	27.3	0.58	0.28
	Máximo	0.7	30.7	1.06	0.48
T3	Mínimo	0.11	23.3	0.27	0.16
	Mediana	0.24	27.7	0.51	0.26
	Media	0.27	27.4	0.53	0.28
	Máximo	1.34	30.5	1.04	0.48
T4	Mínimo	0.11	23.3	0.31	0.17
	Mediana	0.32	27.7	0.68	0.26
	Media	0.38	27.4	0.69	0.28
	Máximo	2.46	30.3	1.45	0.48

Tabla 5. Valores máximos, mínimos, media y mediana para cada una de las variables en cada una de las series temporales del transecto paralelo a la costa (T5ZN, T5ZC y T5ZS).

Transecto	Medida	Clorofila (mgm⁻³)	Temperatura (°C)	PP (gCm⁻²d⁻¹)	SSH (m)
Zona norte	Mínimo	1.73	22.1	2.23	0.1
	Mediana	3.30	28.6	4.28	0.26
	Media	3.54	27.9	4.36	0.27
	Máximo	9.13	31.2	6.74	0.55
Zona centro	Mínimo	0.56	22.7	1.10	0.1
	Mediana	2.21	28.6	2.31	0.25
	Media	2.30	27.9	2.29	0.27
	Máximo	5.43	30.9	3.67	0.56
Zona sur	Mínimo	0.84	22.9	0.96	0.14
	Mediana	2.64	28.5	2.32	0.26
	Media	2.87	27.9	2.30	0.28
	Máximo	13.85	30.7	3.61	0.56

3.1.3.2. Altura de la superficie del mar (SSH).

Las series temporales de SSH, al igual que las de SST, presentaron un comportamiento anual muy marcado con una clara tendencia hacia el incremento de ~ 0.04 m en los años más recientes; esta tendencia fue evidente cuando se colocó la media de la serie temporal en los gráficos y se hizo una comparación entre las medias de todos los años abarcados en la serie (2002-2018). Aun con la tendencia, las series correspondientes a la zona nerítica interior (T1ZI – T4ZI) presentaron alturas medias menores (< 0.28 m) en comparación a las localizadas en la zona nerítica exterior (> 0.28 m) (T1ZE – T4ZE) (Tabla 3 y 4).

Las diferencias entre años consecutivos en cada una de las series temporales fueron de alrededor de ~ 0.1 m sin una diferencia constante, con valores positivos debido a la tendencia de incremento observada. El intervalo de variación intraanual general para todas las series fue de ~ 0.40 m con los valores más altos durante la época de lluvias (> 0.5 m) y los mínimos durante la época de frentes fríos (< 0.2 m) (Figura 10). En el transecto 5, las SSH de las diferentes zonas fueron prácticamente iguales; la zona sur fue la que tuvo una altura media mayor en comparación con las otras dos zonas, estas diferencias fueron de sólo ~ 0.01 m (Tabla 5 y Figura 11).

Para las series T1ZI – T4ZI los valores máximos (> 0.5 m) se presentaron en 2017 y los mínimos (< 0.15 m) en 2006. Para T1ZE-T4ZE el valor máximo (> 0.45 m) fue en 2016; para T1ZE y T4ZE los valores mínimos (< 0.2 m) fueron en 2004 y en 2006 para T2ZEy T3ZE (Figura 11).

En cuanto al transecto 5, se tuvo el valor máximo (> 0.55 m) en 2017 en todas las series (T5ZN, T5ZC y T5ZS), con valores mínimos (< 0.15 m) en 2006 para T5ZN - T5ZC y en 2011 para T5ZS (Figura 12).

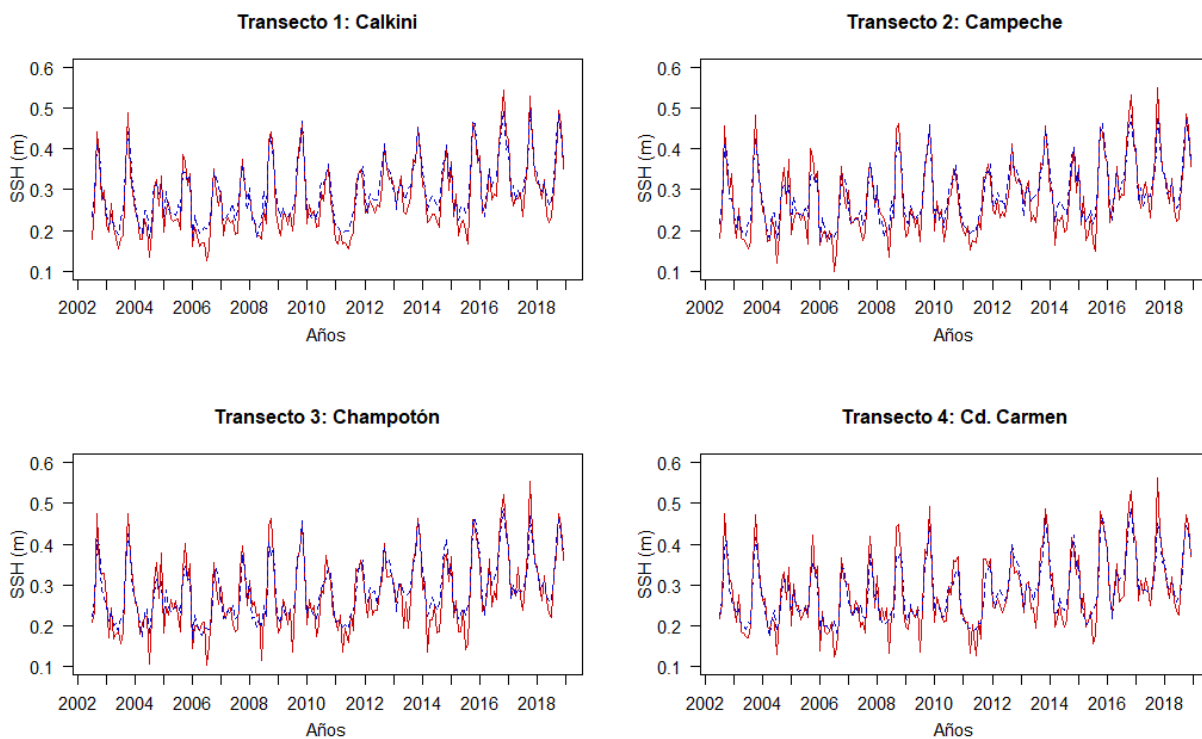


Figura 12. Series temporales de la altura de la superficie del mar (SSH) para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI) mientras que las líneas azules punteadas representan la zona nerítica exterior (T1ZE-T4ZE).

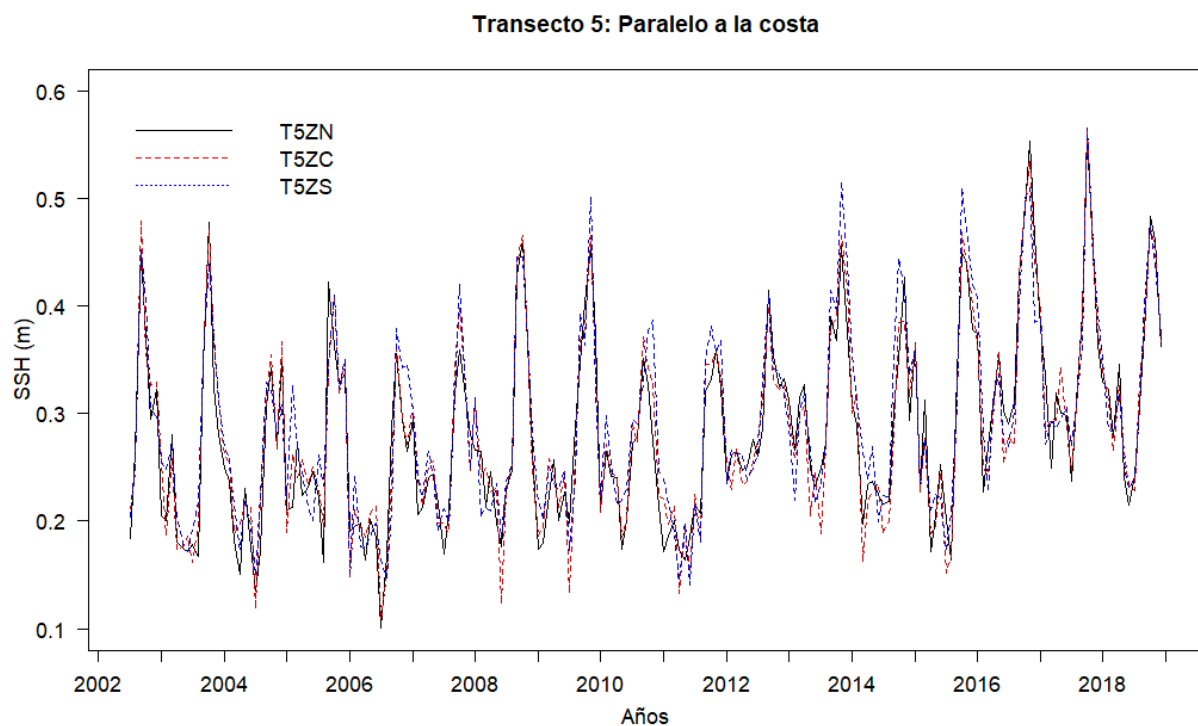


Figura 13. Series temporales de la altura de la superficie del mar para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS). Las marcas en el eje horizontal indican el inicio de cada año.

3.1.3.3. Clorofila satelital (Chl_{sat}) y productividad primaria (PP).

La Chl_{sat} presentó un comportamiento interanual y estacional muy marcado con la presencia de picos máximos de clorofila ($> 4.5 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZI-T4ZI y $> 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZE-T4ZE) en los años 2008 y 2011 y picos mínimos ($< 1 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZI-T4ZI y $< 0.25 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZE-T4ZE) en los años 2004 y 2005 para la mayoría de las series. Las series correspondientes a la zona nerítica interior presentaron valores mayores a 2 mg m^{-3} en comparación a las localizadas en la zona nerítica exterior con valores menores a 1.5 mg m^{-3} (Figura 13).

Las diferencias interanuales de las medias de Chl_{sat} fueron altamente variables con un intervalo entre ~ 0.5 y $\sim 1.5 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZI-T4ZI y entre ~ 0.05 y $\sim 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ para T1ZE-T4ZE. Las concentraciones de clorofila más altas para las zonas neríticas internas (T1ZI-T4ZI) se observaron durante la época de lluvias con valores entre ~ 4 y $\sim 8 \text{ mg m}^{-3}$; y para T1ZE-T4ZE los máximos se presentaron durante la época de frentes fríos con valores entre ~ 0.6 y $\sim 1.5 \text{ mg m}^{-3}$. Por otra parte, las concentraciones mínimas se presentaron durante la época de secas para T1ZI – T4ZI con valores $< 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ y durante la época de lluvias para T1ZE-T4ZE con valores $< 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ (Figura 13).

En el transecto 5, la zona centro (T5ZC) presentó una concentración media menor con 2.3 mg m^{-3} en comparación con la zona norte con 3.54 mg m^{-3} (T5ZN) y sur 2.87 mg m^{-3} (T5ZS) (Tabla 5); la zona norte tuvo las mayores concentraciones ($> 5 \text{ mg m}^{-3}$) en comparación con las otras dos zonas (Figura 14).

En las series de las zonas neríticas internas de los transectos perpendiculares a la costa, además de los picos máximos en 2008 y 2011 y mínimos en 2004 y 2005, se detectaron otros picos en diferentes años con diferentes concentraciones máximas de clorofila. Así, las series T1ZI, T3ZI y T4ZI tuvieron picos mayores a 3 mg m^{-3} en 2003, 2005, 2006, 2010 y 2013 con picos menores a 0.6 mg m^{-3} para T1ZI en 2003 y 2010, $< 0.5 \text{ mg m}^{-3}$ para T3ZI en 2006 y 2007, $< 0.4 \text{ mg m}^{-3}$ para T4ZI en 2003, 2008 y 2018. Por su parte T2ZI presentó picos mayores a 4 mg m^{-3} en 2003, 2006, 2016 y 2018 con picos menores a 1 mg m^{-3} en 2003 (Figura 13).

En cuanto a las series T1ZE, T2ZE y T4ZE, de la zona nerítica externa, presentaron picos mayores a 0.6 mg m^{-3} en 2002, 2003, 2004, 2005, 2009, 2010 y 2013 con picos menores a 0.13 mg m^{-3} para T1ZE en 2006, $< 0.15 \text{ mg m}^{-3}$ para T2ZE en 2002, 2006 y 2018, $< 0.125 \text{ mg m}^{-3}$ para T3ZE en 2006, 2007, 2017 y 2018. Mientras que para T4ZE, se presentaron picos mayores a 1 mg m^{-3} en 2010, 2013 y 2015 y picos menores a 0.12 mg m^{-3} en 2007 y 2018 (Figura 13).

Por último, las series del transecto paralelo a la costa T5ZN y T5ZS presentaron picos mayores a 6 mg m^{-3} en los años 2002, 2003, 2010 y 2017 con picos $< 1.8 \text{ mg m}^{-3}$ para T5ZN en 2013 y 2018 y $< 1.2 \text{ mg m}^{-3}$ para T5ZS en 2003, 2006 y 2007. T5ZC tuvo picos $> 4.5 \text{ mg m}^{-3}$ en 2005 y 2010, con picos $< 0.8 \text{ mg m}^{-3}$ en 2006 y 2008 (Figura 14).

La PP tuvo un comportamiento similar a Chl_{sat} , con valores máximos mayores a $2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y valores mínimos menores a $1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Los valores máximos se presentaron durante la época de frentes fríos y los valores mínimos durante la época de secas. Los valores medios de PP mostraron que la zona nerítica interior fue más productiva que la exterior con diferencias entre ~ 1 y $\sim 1.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Tabla 3 y 4). Las diferencias interanuales fueron de $\sim 0.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Anexo 3).

Por otra parte, la zona norte presentó picos máximos con valores mayores a $5.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para T5ZN y $> 3.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para T5ZC-T5ZS y valores mínimos a $3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para T5ZN y $> 1.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para T5ZC-T5ZS. Estas diferencias también se observaron en sus valores medios, para T5ZN fue de $4.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y de $\sim 2.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ para T5ZC y T5ZS (Tabla 5).

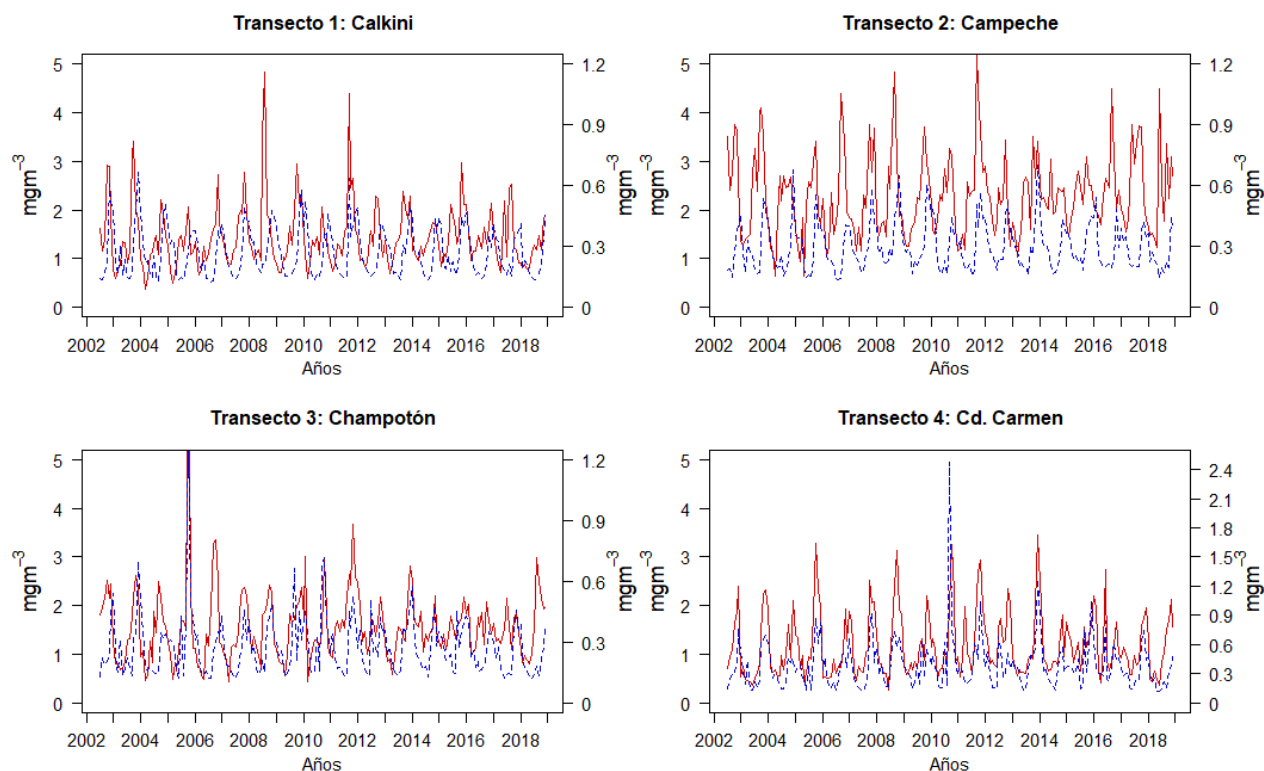


Figura 14. Series temporales de clorofila satelital para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona interior (T1ZI-T4ZI) y corresponden al eje vertical izquierdo, mientras que las líneas azules punteadas representan la zona exterior (T1ZE-T4ZE) y corresponden al eje vertical derecho.

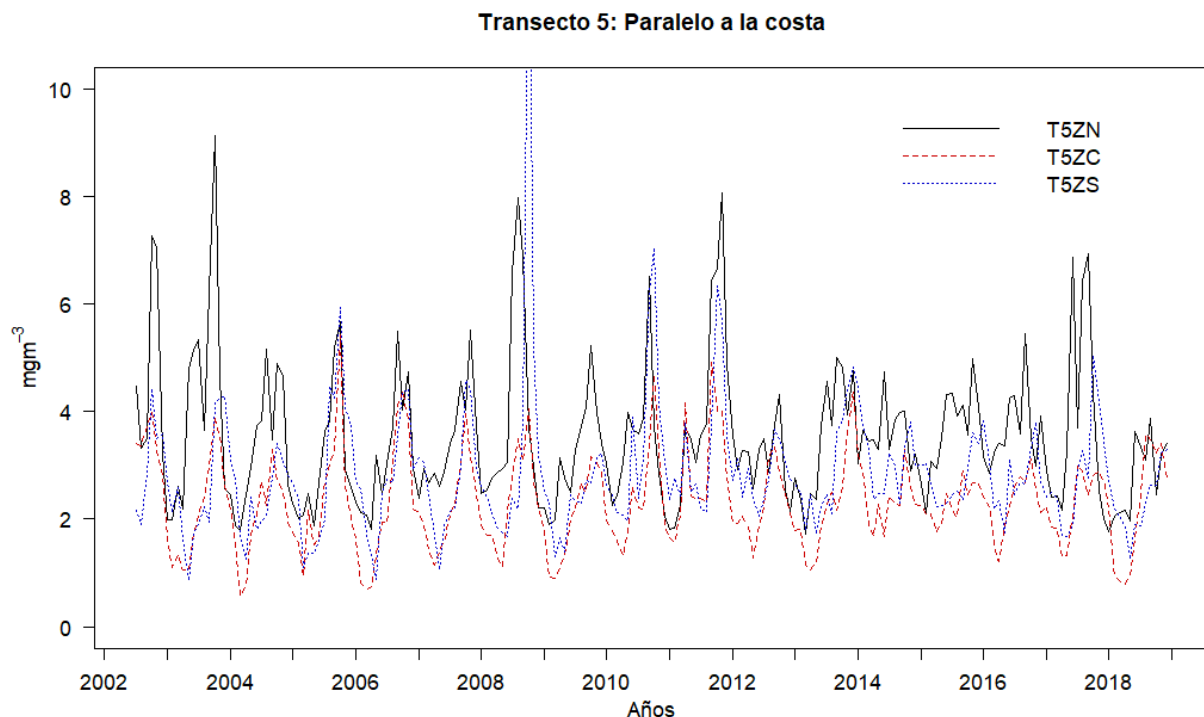


Figura 15. Series temporales de clorofila satelital para cada zona del transecto 5 (T5ZN, T5ZC y T5ZS).

3.2. Análisis estadísticos.

3.2.1. Análisis de correlación cruzada.

Los análisis mostraron que las correlaciones de las variables SST- Chl_{sat} fueron diferentes para la zona nerítica interior y exterior en los transectos 1 y 2, mientras que para el transecto 3 y 4 fueron iguales en ambas zonas (correlaciones positivas). Las zonas norte, centro y sur del transecto 5 tuvieron un comportamiento igual en sus correlaciones diferenciándose únicamente en el tiempo de retraso o desfase para alcanzar los coeficientes máximos (Figura 15). Las variables SSH- Chl_{sat} , PP- Chl_{sat} y SST-SSH tuvieron correlaciones positivas ($r > 0.60$), diferenciándose únicamente en el desfase (positivo o negativo) (Anexo 4 A-B).

Para SSH- Chl_{sat} se encontraron correlaciones positivas ($r > 0.50$) y significativas ($P < 0.001$) en T1ZI-T3ZI con un desfase de -1 y 0 meses (Chl_{sat} incrementa un mes antes o al mismo tiempo que la SSH), mientras que en T1ZE-T3ZE las correlaciones también fueron positivas ($r > 0.60$) y significativas con un desfase de 1 y 2 meses (Chl_{sat} incrementa un mes o dos meses después del incremento de SSH). En cuanto al transecto 4 y

transecto 5, se presentaron correlaciones mayores a 0.60 sin desfase (el incremento de la Chl_{sat} ocurre al mismo tiempo que el incremento de la SSH) a excepción de la serie T5ZN, cuyo desfase fue de -2 y su correlación de 0.53 (Anexo 4-C).

Por otra parte, las variables $\text{SST}-\text{Chl}_{\text{sat}}$ tuvieron correlaciones positivas ($r > 0.60$) y significativas ($P < 0.001$) para T1ZI-T3ZI y T5ZN-T5ZC con un desfase de 1 y 2 meses (Chl_{sat} aumenta después del incremento de la SST), mientras que para T1ZE-T3ZE y T5ZS las correlaciones fueron negativas (> -0.60) y significativas con un desfase de -1 y -2 meses (Chl_{sat} disminuye un mes o dos meses antes del incremento de la SST). En el transecto 4 (T4ZI y T4ZE) se presentaron correlaciones mayores a -0.60 con un desfase de -2 meses (Anexo 4 C). Por último, las correlaciones de Chl_{sat} entre las zonas neríticas interior y exterior de los transectos 1-3 mostraron que existe un desfase de uno y dos meses positivos con una correlación mayor a 0.60, mientras que el transecto 4 con una correlación mayor a 0.60 no mostro ningún desfase (Anexo 4 C).

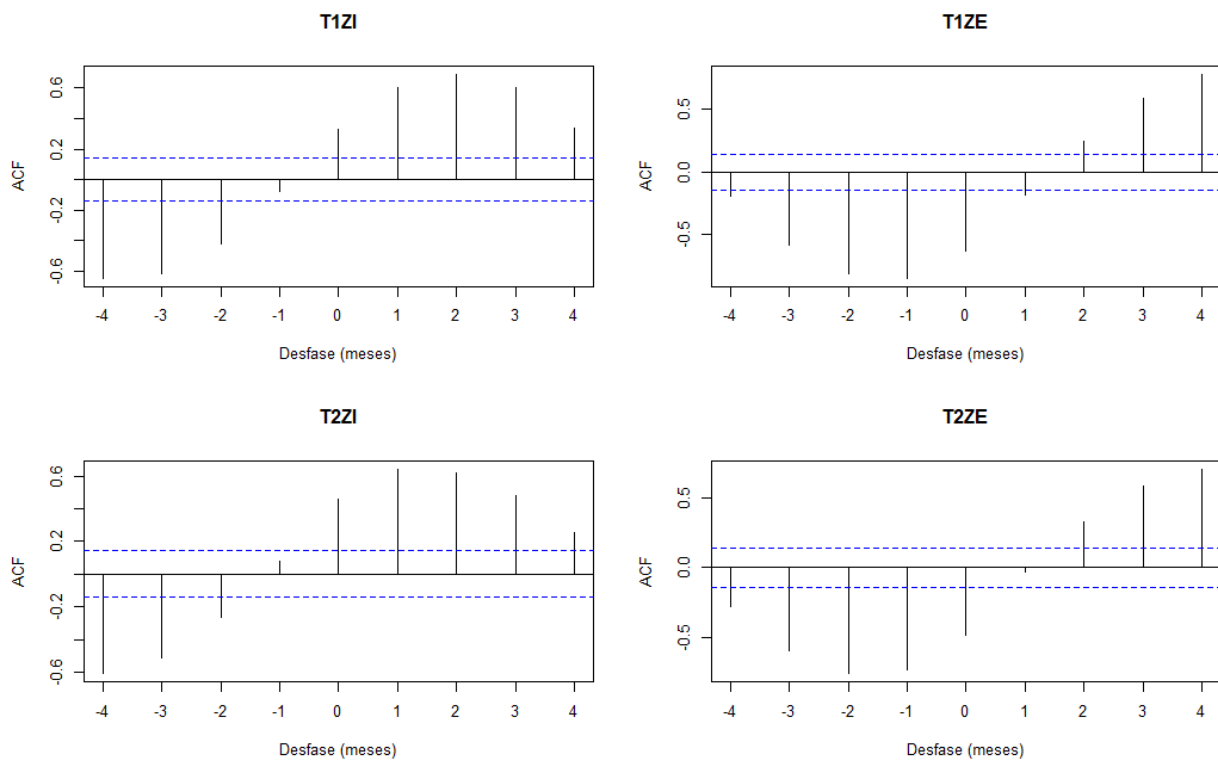


Figura 16. Correlogramas para $\text{SST}-\text{Chl}_{\text{sat}}$ de cada serie temporal. Las líneas azules punteadas representan el intervalo de confianza al 95% ($\alpha = 0.05$).

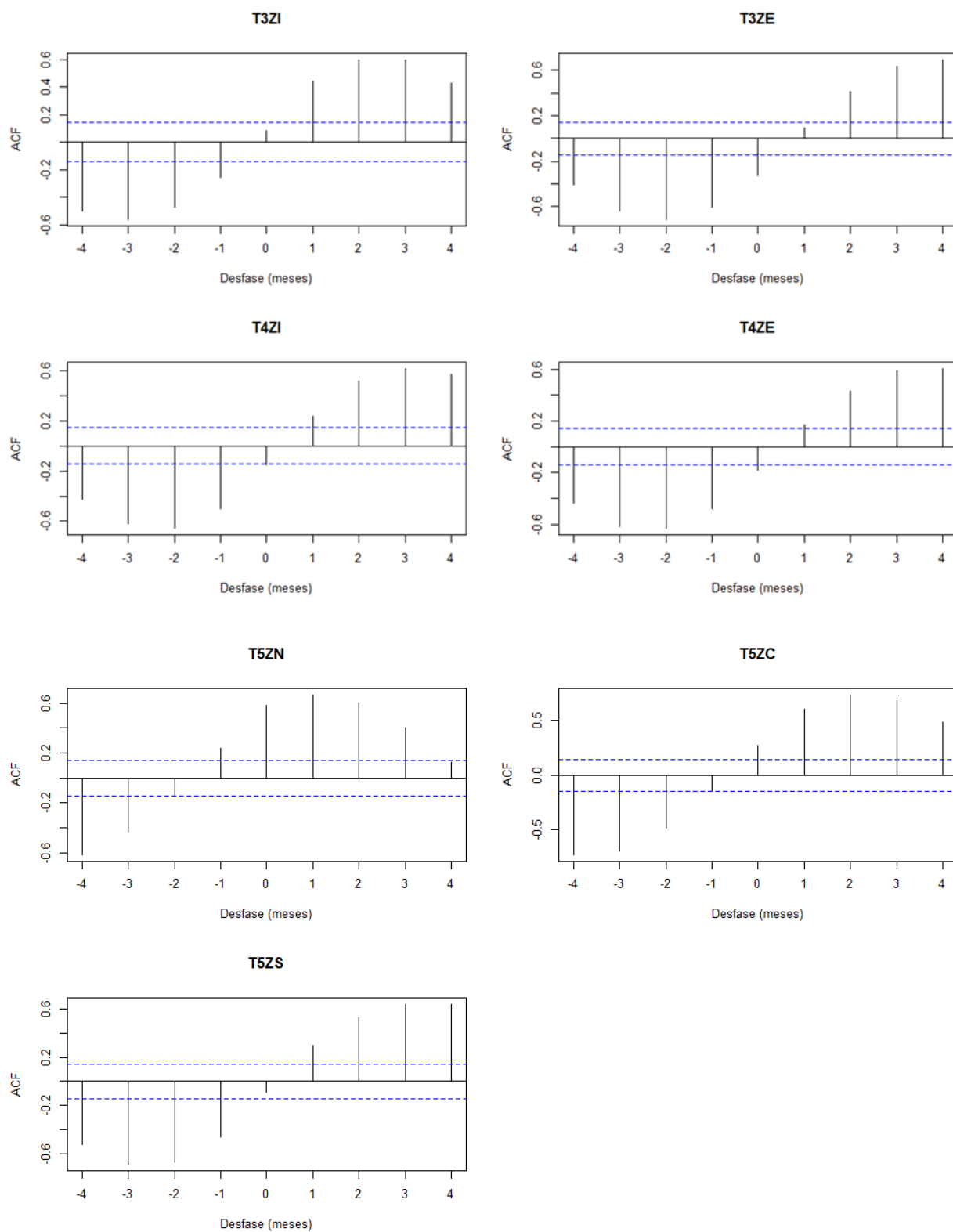


Figura 15. Continuación.

3.2.3. Análisis bayesiano.

3.2.3.1. Diferencias entre las series temporales.

Los ANOVAS señalaron la existencia de diferencias decisivas ($BF > 100$) para la Chl_{sat} entre todas las series. Y mostraron diferencias sustanciales para la SST entre las series T1ZI-T4ZI y T1ZE-T4ZE y diferencias nulas para T5ZN-T5ZC-T5ZS. En cuanto a la SSH, los ANOVAS señalaron evidencias de diferencias nulas entre todas las series ($BF < 3$). Sin embargo, se encontraron diferencias decisivas entre estaciones (frentes fríos, secas y lluvias) e interacciones (zona-estación) para todas las series temporales (Tabla 6). El análisis a posteriori de cada zona para la Chl_{sat} mostró evidencias decisivas ($BF > 100$) de diferencias entre todas las series, a excepción de T3ZE-T1ZE que resultó con evidencia nula y T2ZE-T3ZE con evidencia sustancial. La SST tuvo evidencias nulas para todas las series del transecto paralelo a la costa (Tabla 7). Las comparaciones de Chl_{sat} entre zonas interna y externa mostraron evidencias decisivas en todas las series evidenciando la diferencia entre la zona nerítica interior y exterior de todos los transectos (Tabla 8). El análisis a posteriori de la SST entre zonas internas y externas mostró evidencias decisivas entre T2ZI y T3ZI y todas las zonas externas; T1ZI contra todas las externas presentaron evidencias nulas, y T4ZI contra todas las externas presentaron evidencias sustanciales en su mayoría (Tabla 8).

La SSH fue similar en todas las series. En general se presentó una variación anual dominante, con mínimos en la estación de secas (< 0.25 m) (Figura 16). Los valores máximos de Chl_{sat} y SST (> 1 mg m⁻³ y > 29 °C) se presentaron en las estaciones de lluvias y frentes fríos y los mínimos (< 0.8 mg m⁻³ y < 26 °C) durante secas y frentes fríos respectivamente (Figura 17).

Tabla 6. Resultados del ANOVA bayesiano entre transectos, estaciones y su interacción.

Serie temporal	Variable	Factor de Bayes	
		Series	Estaciones
T1ZI-T4ZI T1ZE-T4ZE	Chl_{sat}	>100	>100
	SST	15	>100
	SSH	1.2	>100
T5ZN-T5ZC-T5ZS	Chl_{sat}	>100	>100
	SST	1.3	>100
	SSH	1.2	>100

Tabla 7. Resultados (Factor de Bayes) del análisis a posteriori de la zona nerítica interior (T1ZI-T4ZI), exterior (T1ZE-T4ZE) y zona norte, centro y sur del transecto 5.

Series	BF Chl _{sat}	BF SST
T2ZI vs T1ZI	>100	46.45
T3ZI vs T1ZI	> 100	70.42
T4ZI vs T1ZI	>100	14
T2ZE vs T3ZE	29	1.10
T3ZE vs T1ZE	1.51	3
T5ZN vs T5ZC	>100	1.5
T5ZN vs T5ZS	>100	1.14
T5ZC vs T5Zs	>100	2.72

Tabla 8. Resultados (Factor de Bayes) de los análisis a posteriori entre las zonas neríticas.

Series	BF Chl _{sat}	BF SST
T1ZI vs T1ZE	>100	3.83
T1ZI vs T2ZE	>100	1.92
T1ZI vs T3ZE	>100	1.15
T1ZI vs T4ZE	>100	1.01
T2ZI vs T1ZE	>100	>100
T2ZI vs T2ZE	>100	>100
T2ZI vs T3ZE	>100	82.3
T2ZI vs T4ZE	>100	57.8
T3ZI vs T1ZE	>100	>100
T3ZI vs T2ZE	>100	>100
T3ZI vs T3ZE	>100	>100
T3ZI vs T4ZE	>100	>100
T4ZI vs T1ZE	>100	>100
T4ZI vs T2ZE	>100	44.5
T4ZI vs T3ZE	>100	24
T4ZI vs T4ZE	>100	18.6

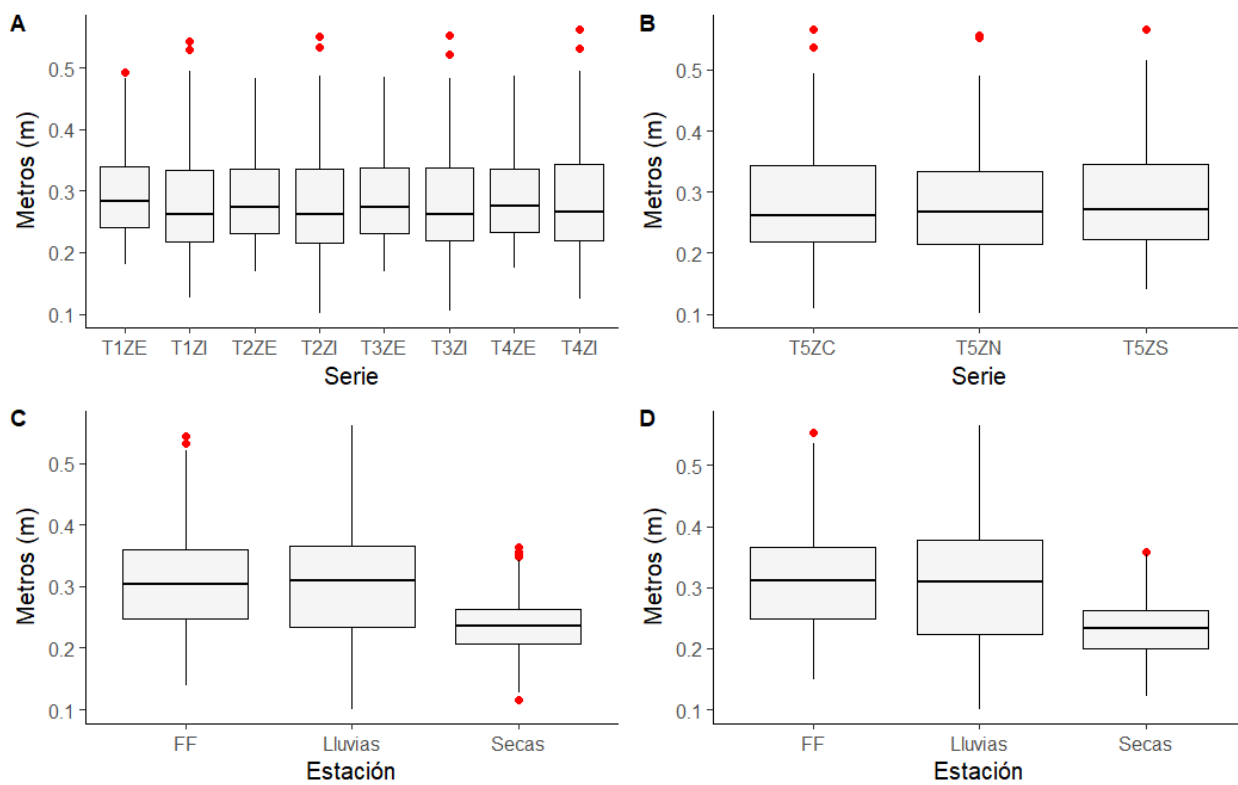


Figura 17. Valores medios de SSH para las series (A, B) y estaciones (C, D). Los puntos rojos representan valores extremos.

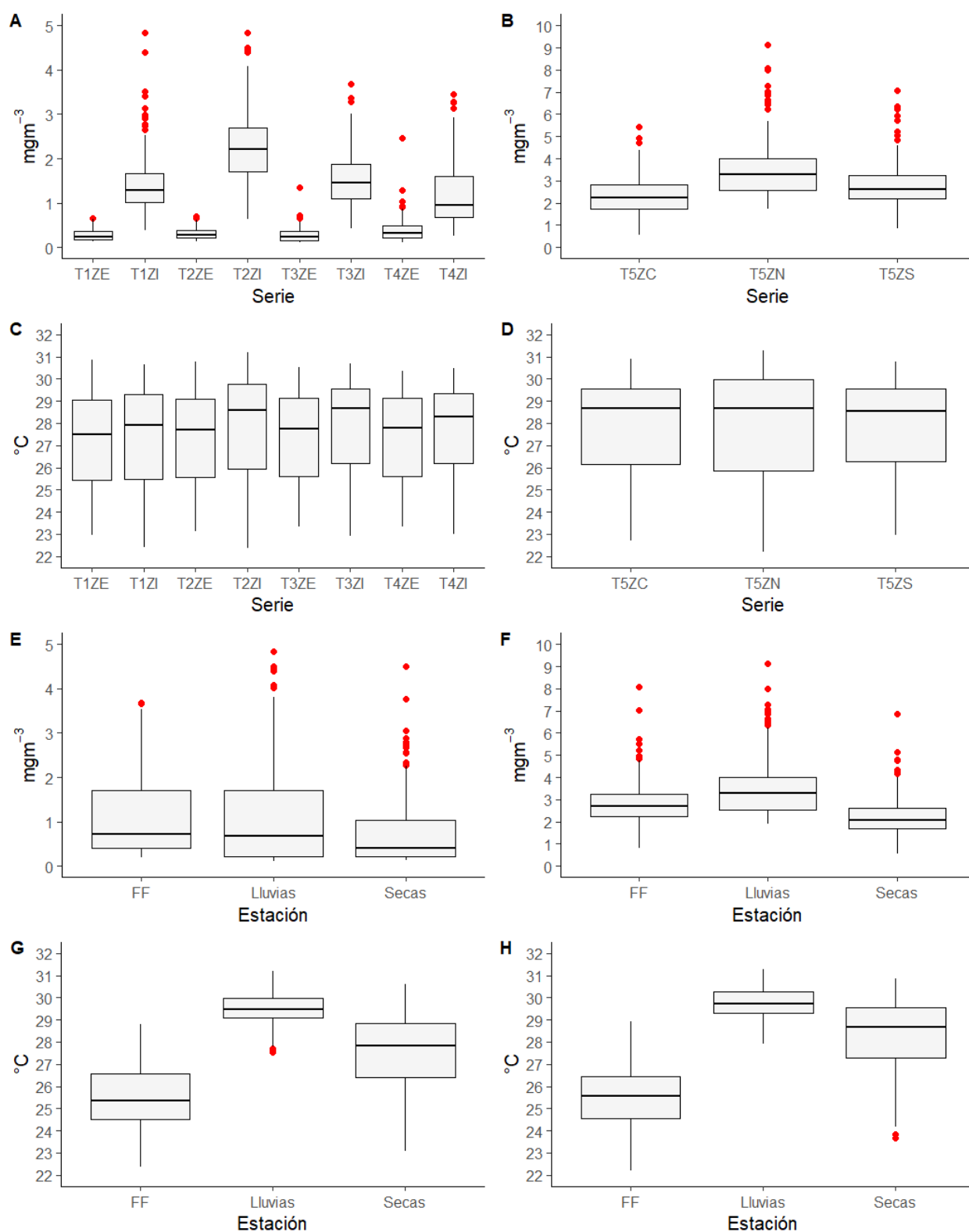


Figura 18. Valores medios de Chl_{sat} para las series (A, B) y estaciones (E, F). Valores medios de SST para las series (C, D) y estaciones (G, H). Los puntos rojos representan valores extremos.

3.2.3.2. Diferencias interanuales e intraanuales.

Se encontraron evidencias nulas y débiles para las diferencias entre años (interanual), evidencias decisivas entre estaciones (intraanuales) e interacciones (años-estación) en todas las series de Chl_{sat} , PP y SST (Anexo 5 A). El gráfico de cajas de la Chl_{sat} por año-estación mostró que en la zona nerítica exterior los máximos valores fueron durante la temporada de frentes fríos mientras que en la zona nerítica interior los máximos fueron durante la época de lluvias, algo ya mencionado anteriormente (Figura 18).

En el análisis a posteriori interanual de la Chl_{sat} se encontraron pocas diferencias ($BF > 30$), destacándose los años 2006, 2011 y 2018 con evidencias fuertes y decisivas con respecto a los demás años. Particularmente, en la serie T5ZN el año 2009 tuvo evidencias fuertes y decisivas con respecto a los demás años, en T4ZI se tuvieron en el 2006, en las series T1ZI-T2ZI fue en el año 2005 y en T1ZE-T4ZE en el año 2006 (Anexo 5B), con respecto a los demás años. En las interacciones años-estación, la estación de secas tuvo las mayores diferencias ($BF > 30$) en los años 2003, 2015 y 2016 con respecto a los demás años; para la temporada de lluvias los años 2006 y 2008 presentaron las mayores diferencias con respecto a los demás años; y la temporada de frentes fríos presentó en el 2005 las mayores diferencias con respecto a los demás años (Anexo 5 D, E y F).

En los análisis interanuales a posteriori de la SST se encontró que los años 2010, 2011, 2016 y 2017 fueron diferentes a los demás con evidencias fuertes y decisivas. Los años 2010 y 2011 tuvieron las menores temperaturas mientras que 2016 y 2017 tuvieron las máximas (Anexo 5C). Los análisis a posteriori de la interacción años-estación mostraron resultados similares a lo encontrado para las diferencias interanuales a posteriori. En las temporadas de secas y lluvias, los años 2016 y 2017 presentaron temperaturas mayores a las de los demás años con evidencias fuertes y decisivas; para la temporada de frentes fríos las mayores diferencias se encontraron para los años 2010 y 2011 con respecto a otros años (Anexo 5 G, H e I). Las series de Chl_{sat} del transecto 5 presentaron diferencias interanuales con evidencias fuertes a decisivas ($BF > 30$) para los años 2006, 2009 y 2018 con respecto a las de otros años. En este transecto la SST presentó las mismas diferencias que las demás series (Zona interior y exterior). Las diferencias de las interacciones en el transecto 5 en la temporada de secas, lluvias y frentes fríos fueron similares a las encontradas en las demás series (zonas neríticas).

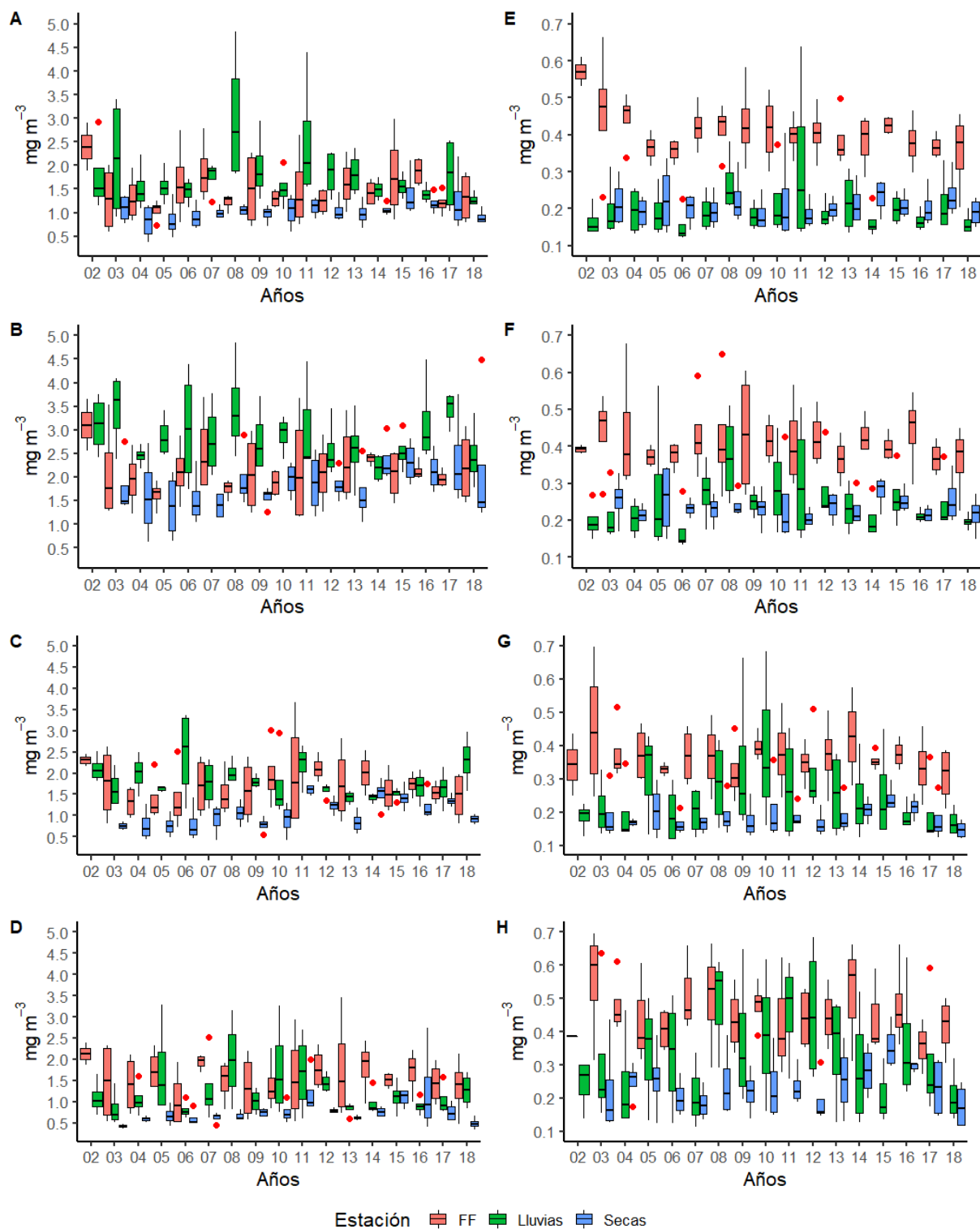


Figura 19. Valores de Chl_{sat} para las series temporales de cada transecto durante las estaciones de frentes fríos (FF), lluvias y secas. A-D corresponden a las series T1ZI-T4ZI y E-H a las series T1ZE-T4ZE respectivamente. Los puntos rojos representan valores extremos. Los años abarcan desde 2002 hasta 2018 (02-18).

3.2.4. Análisis MDS (Multidimensional Scaling).

El análisis dio como resultado el agrupamiento de tres subconjuntos; el primero conformado por los meses correspondientes a la temporada de lluvias (julio-octubre), el segundo por los meses de transición (abril y noviembre) y el tercero por los meses de frentes fríos (diciembre-febrero). La SST tuvo una influencia muy marcada sobre el eje “x” (coordenada 1) a diferencia de la SSH y Chl_{sat} .

Los meses julio-octubre (lluvias) tuvieron una mayor distancia de la SST con valores positivos mientras que los meses de diciembre-marzo (frentes fríos) estuvieron más cercanos de la SST con valores negativos. Esta diferencia de valores indica que los meses de lluvias tuvieron mayores temperaturas y en contraparte los meses de frentes fríos tuvieron las menores. La SST mostró una influencia mayor sobre los meses de frentes fríos en comparación a los demás meses debido a la poca distancia entre ambas, es decir que cualquier cambio de la temperatura tuvo efectos más directos sobre los meses de diciembre-febrero (Figura 19).

La SSH estuvo más relacionada y con una influencia mayor con los meses de la temporada de lluvias lo que indicó un mayor efecto sobre las mismas. La serie T2ZI mostró las menores distancias entre la SSH y los meses de lluvias a comparación de las demás series (Figura 19).

En las series T1ZI-T4ZI la Chl_{sat} presentó las menores distancias con los meses de lluvia mientras que en T1ZE-T4ZE fue con los meses de frentes fríos (Figura 19). La diferencia entre las distancias en cada zona nerítica indicó la variación que tiene la clorofila en los diferentes meses. En la zona nerítica exterior la clorofila tuvo valores relativamente altos en frentes fríos y lluvias mientras que en la zona interior solo fue para las lluvias. Para ambas zonas los valores bajos fueron durante la temporada de secas.

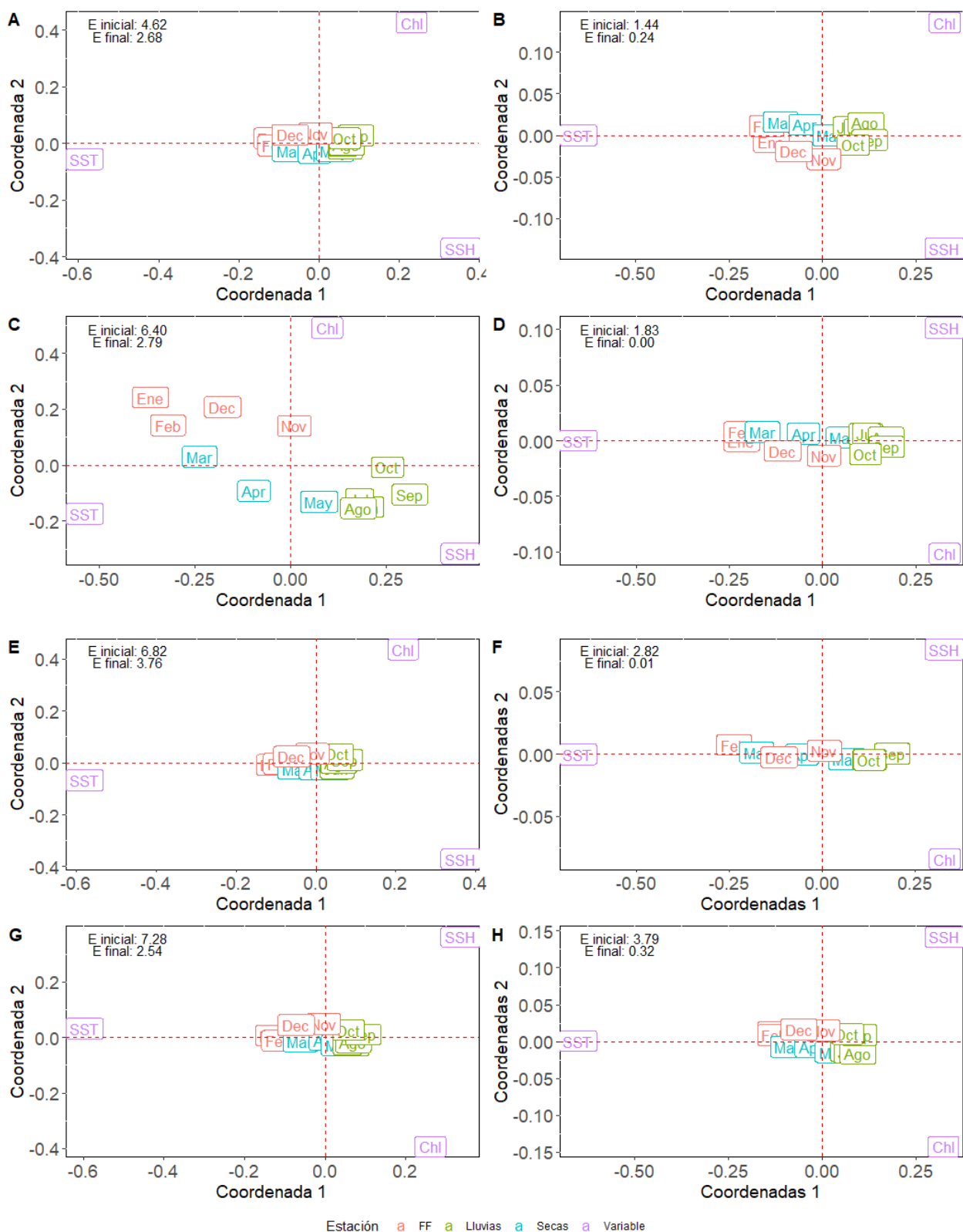


Figura 20. Mapas MDS para las series T1ZI (A), T1ZE (B), T2ZI (C), T2ZE (D), T3ZI (E), T3ZE (F), T4ZI (G) y T4ZE (H). Las distancias usadas fueron de “Jaccard”.

3.3. Aproximación a la climatología.

La aproximación a la climatología también mostró un componente anual de variación muy marcado, con diferencias entre las zonas neríticas (interior y exterior), zona norte, centro y sur (transecto 5) para la Chl_{sat} . En la zona nerítica interior, de febrero a mayo se observaron valores menores a $\sim 1 \text{ mg m}^{-3}$ y de julio a noviembre valores mayores a 1.8 mg m^{-3} . En la zona nerítica exterior de mayo a septiembre se observaron valores menores a 0.2 mg m^{-3} y de octubre a enero valores mayores a 0.4 mg m^{-3} (Figura 21). Por último, en el transecto 5 se observaron valores menores a 2.5 mg m^{-3} de marzo a mayo y valores mayores a 3 mg m^{-3} de octubre a enero (Figura 20).

La aproximación a la climatología también mostró diferencias de Chl_{sat} entre las dos zonas neríticas y en el transecto 5. La serie T2ZI tuvo los mayores valores ($> 2.5 \text{ mg m}^{-3}$) y además presentó dos picos de $\sim 2.6 \text{ mg m}^{-3}$ y $\sim 3.5 \text{ mg m}^{-3}$ (Figura 20A); T4ZE tuvo valores mayores a 0.6 mg m^{-3} (Figura 20B) y T5ZN (zona norte) tuvo valores mayores a 4 mg m^{-3} (Figura 20A).

La PP mostró un comportamiento temporal similar a la Chl_{sat} y también se encontraron diferencias entre las zonas neríticas y entre las diferentes series dentro de cada zona (por ejemplo 1 vs 2, Figura 20 y 21). Los valores mayores ($> 2 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la zona interior y el transecto 5 y $> 0.65 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la zona exterior) se encontraron de octubre a enero y los mínimos ($< 1.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la zona interior y el transecto 5 y $< 0.3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ en la zona exterior) de abril a junio. Las series con los valores mayores en comparación a las demás fueron: la serie T2ZI con valores mayores a $2.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 21C), la serie T4ZE con valores mayores a $0.85 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 21D) y la serie T5ZN con valores mayores a $4.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 20B). La aproximación a la climatología de la SST también mostró una variación anual dominante, con temperaturas mayores a 30°C de junio a septiembre y menores a 25°C de diciembre a marzo (Figura 21). También se observó una leve diferencia entre la zona nerítica interior y exterior de $\sim 1^\circ \text{C}$, tanto en sus máximos como en sus mínimos, siendo la zona interior más cálida que la exterior (Figura 21E y 21F). En el transecto 5 las temperaturas tuvieron el mismo comportamiento en las tres zonas, aunque la serie T5ZN tuvo valores ligeramente mayores ($\sim 0.5^\circ \text{C}$) durante los meses de junio a agosto en comparación con T5ZC y T5ZS. Asimismo, se observó la presencia de dos picos en junio y septiembre con valores mayores a 30°C en el transecto 5 (Figura 20C).

Al igual que la SST y la Chl_{sat} , la SSH mostró una variación anual marcada con valores mayores a 0.35 m de septiembre a octubre para todas las series. Los valores menores a 0.25 m se presentaron de mayo a julio

para la zona nerítica interior y el transecto 5, y se presentaron de febrero a abril para la zona nerítica exterior (Figura 20 y 21).

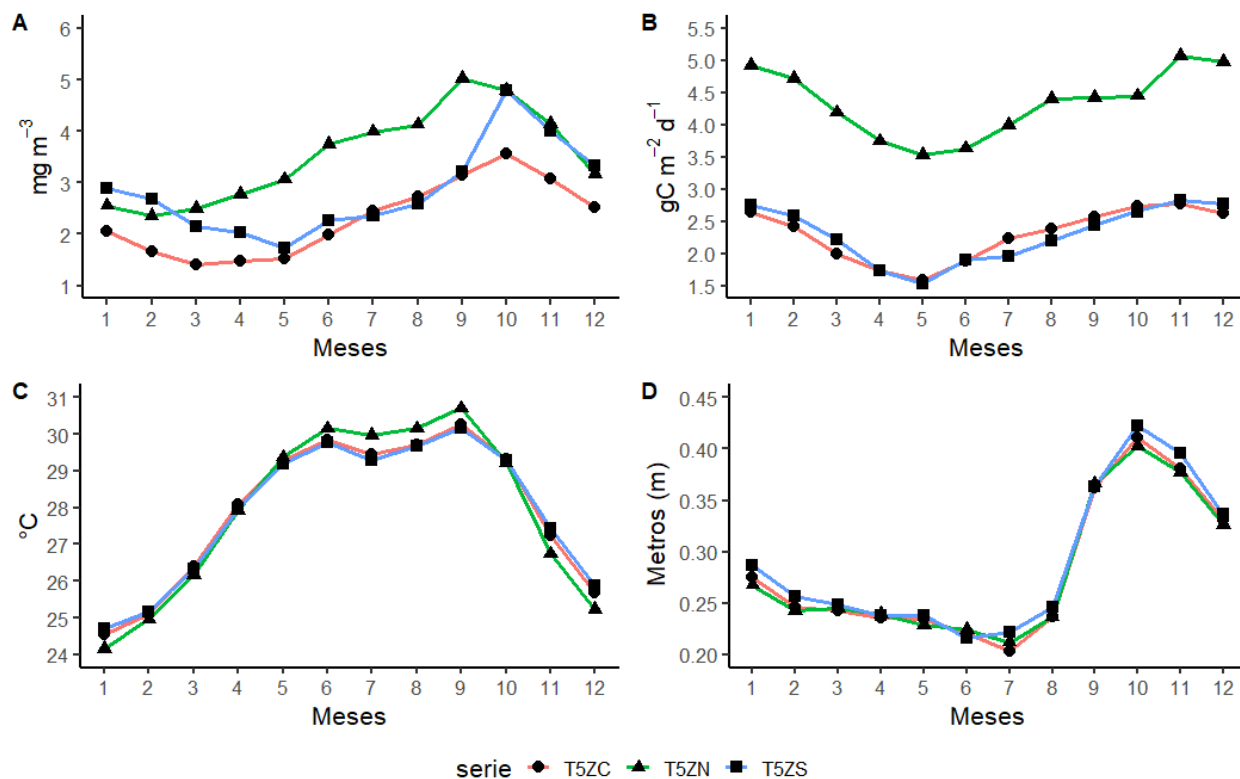


Figura 21. Aproximación a la climatología para la Chl_{sat} (A), PP(B), SST (C) y SSH (D) para el transecto 5 paralelo a la costa.

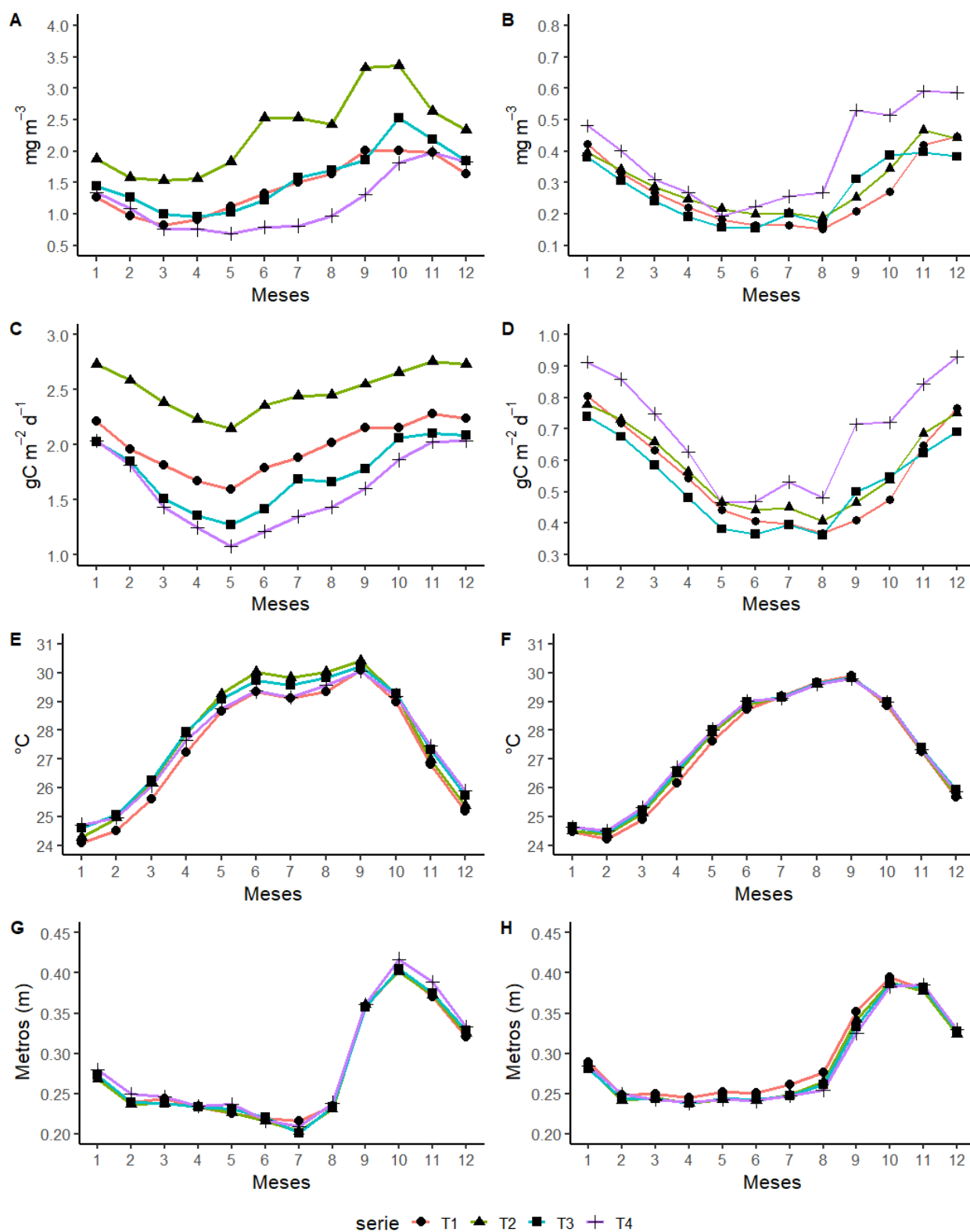


Figura 22. Aproximación a la climatología para la Chl_{sat} (A, B), PP (C, D), SST (E, F) y SSH (G, H). Los paneles A, C, E y G corresponden a la zona nerítica interior y los paneles B, D, F y H a la zona nerítica exterior.

Capítulo 4. Discusión

Los océanos son regiones muy dinámicas debido a la gran cantidad de energía cinética transferida por forzantes físicos en escalas locales, regionales y planetarias (Mann y Lazier, 2013). Los principales agentes forzantes en el océano son el viento y movimientos planetarios como la rotación y traslación, los cuales dan lugar a fenómenos de menores escalas como el movimiento de masas de agua, mezcla por advección, surgencias y giros. El movimiento del sistema tierra-luna alrededor de su centro de masa, que causa las mareas, también aporta energía cinética a la columna de agua causando mezcla y advección. Esta transferencia de energía entre fenómenos de mayor a menor escala también propicia variaciones en los organismos (por ejemplo, el fitoplancton) ya que se generan las condiciones hidrográficas propicias para el crecimiento o decremento en sus poblaciones (Mann y Lazier, 2013; Kämpf y Chapman, 2016). Por ejemplo, en zonas de surgencia donde la energía cinética es mayor (transporte de Ekman con bajos valores de SST y SSH cerca de la costa) las poblaciones de fitoplancton son mayores, mientras que en zonas con menor cantidad de energía cinética (sin transporte de Ekman o advección) sus concentraciones son menores (Nixon, 1988; Tilstone et al., 2003; Chávez y Messié, 2009; Mann y Lazier, 2013; Kämpf y Chapman, 2016). Esto indica que las variaciones de biomasa fitoplanctónica son inversamente proporcionales a la temperatura y el nivel del mar (Wilson y Adamec, 2001).

Por otra parte, las características hidrográficas de cada región (oceánica o costera) permiten hacer inferencias sobre la abundancia y biomasa de los organismos que ahí se encuentran. Por ejemplo, la Chl *a* y la PP tienen relaciones estrechas con la temperatura, concentración de nutrientes, PAR (Radiación fotosintéticamente activa) y altura de la superficie del mar (Eppley, 1972; Tilstone et al., 2003; Zhao y He, 2012; Kämpf y Chapman, 2016). Generalmente en las zonas oceánicas y de surgencia, los valores bajos de SSH y SST (estratificación baja) están relacionados con valores altos de clorofila y, por el contrario, valores altos de SST y SSH (estratificación alta) se relacionan con valores bajos de clorofila (Wilson y Adamec, 2001). Sin embargo, algunas regiones costeras difieren de este comportamiento (valores altos de Chl *a* relacionados a valores altos de SSH y SST) lo que sugiere la presencia de otros factores ambientales que permiten que esto ocurra, tal es el caso de la zona nerítica interior de este estudio. Estos factores provienen a menudo de la parte continental o peninsular, debido al aporte de aguas dulces con concentraciones elevadas de nutrientes.

Cabe mencionar que la mayoría de estudios relacionados al banco de campeche (v. g.: Zavala-Hidalgo et al., 2003; Álvarez-Góngora y Herrera-Silveira, 2006; Martínez-López y Zavala-Hidalgo, 2009) usan las cuatro

estaciones habituales (primavera, verano, etc.) en vez de las tres ya antes descritas en este trabajo (lluvias, secas y frentes fríos) y que las comparaciones entre los resultados publicados en la literatura, basados en muestreos instantáneos y puntuales, y los obtenidos en este trabajo no son recomendables debido a la diferencia que implican las mediciones satelitales e *in situ*, debido a que las mediciones satelitales abarcan grandes regiones reportando valores promedios mensuales.

Los resultados de las series temporales y de los diagramas Hovmöller de este trabajo indican que en toda la zona de estudio predomina una clara variación anual y también la existencia de zonas (norte, centro, sur, nerítica interior y nerítica exterior) con comportamientos claramente diferente de propiedades como Chl_{sat} y PP, los cuales están ligados a los cambios oceanográficos de esta parte del golfo de México (Oey, 1995; Oey et al., 2005).

La estacionalidad de la Chl_{sat} y PP ya ha sido reportada por otros autores, sin embargo, difieren en el tiempo o meses en que se presentan los máximos y mínimos, es decir existe un desfase. Por ejemplo, Martínez-López y Zavala-Hidalgo (2009) reportaron una estacionalidad de Chl_{sat} con máximos de octubre a noviembre y mínimos de junio a agosto mientras que mis resultados muestran dos patrones diferentes a los encontrados por estos autores. El primero corresponde a la zona interior con mínimos en marzo-junio y máximos de julio-octubre; el segundo a la zona exterior con valores mínimos en marzo-junio y valores máximos en noviembre-febrero. La diferencia entre ambas zonas no es reportada por Martínez-López y Zavala-Hidalgo (2009) y es debido a que se enfocaron en la descripción del transporte mar adentro por la convergencia de corrientes localizada entre Tabasco y Campeche y no en la diferenciación de zonas. Por el contrario, Salmerón-García et al. (2009) reportaron la presencia de dos áreas (interior y exterior) en el banco de Campeche. En la región interior encontraron un patrón estacional con altas anomalías de septiembre a diciembre y mínimas de febrero a junio y para la exterior la estacionalidad fue diferente con máximos de diciembre a enero y mínimos de agosto a septiembre. Aun cuando reportan ambas zonas, también difieren con este estudio en los meses en que se presentaron los máximos y mínimos de Chl_{sat} .

La estacionalidad encontrada en la zona de estudio responde a los cambios y características hidrográficas de cada estación. De julio a octubre se encuentra la temporada de lluvias con grandes volúmenes de precipitación y temperaturas máximas mayores a 30°C. Se esperaría que, a causa de las altas temperaturas y estratificación de la columna de agua, los niveles de Chl_{sat} y PP de este estudio fueran menores en la zona nerítica interior durante esta estación y que, siguiendo esa premisa, los máximos ocurrieran en la estación de frentes fríos como ocurre con la zona nerítica exterior, sin embargo, como ya se ha mencionado el comportamiento fue diferente.

Este comportamiento se debe a que en la zona nerítica interior los grandes volúmenes de agua producto de las precipitaciones sumados a la naturaleza kárstica de la zona permiten el suministro de nutrientes a la costa mediante los afloramientos subterráneos y escorrentías (Burnett et al., 2003; Troccoli et al. 2004; Mulligan y Charette, 2009). Estos aportes de agua aumentan la disponibilidad de nutrientes y dan como resultado los altos niveles de Chl_{sat} y PP observados en los transectos 1-3 (Figura 6 y 7). De la misma forma, los ríos también tienen un rol en la dinámica de la Chl_{sat} y PP ya que su impacto puede ser de hasta cientos de kilómetros mar adentro dependiendo del volumen de su cauce y de las condiciones oceanográficas (Lohrenz et al., 1997), algo que se observó en el transecto 4 (Figura 6 y 7) y que se discutirá más adelante. Así mismo los volúmenes de agua que llegan al mar por medio de estas vías, cambian dependiendo de la abundancia de las precipitaciones (Johannes, 1980; Bugna et al., 1996; Slope y Van-Capellen, 2004) lo que da lugar a las diferencias interanuales observadas (Figura 13). Álvarez-Góngora y Herrera-Silveira (2006) encontraron concentraciones altas ($> 12 \text{ mg m}^{-3}$) de $\text{Chl } a$ frente a Celestún durante esta estación del año y mencionaron que fue debido al incremento de los nutrientes producto de las lluvias. Los valores reportados por Álvarez-Góngora y Herrera-Silveira (2006) son mayores a los obtenidos en este trabajo ($\text{Chl}_{\text{sat}} > 8 \text{ mg m}^{-3}$). Esta diferencia fue debida a que los autores realizaron mediciones *in situ*, sin embargo, los altos valores encontrados por Álvarez-Góngora y Herrera-Silveira (2006) durante esta estación son coherentes con los resultados de la zona nerítica interior de este trabajo.

Por otra parte, la extensión de las lengüetas de clorofila alta en los transectos 1-4 observadas en los diagramas Howmöller ($\sim 60 \text{ km}$ desde la costa) sugiere que existe un transporte mar adentro producto de la circulación del banco de Campeche hacia el oeste (Martínez-López y Parés-Sierra, 1998; Zavala-Hidalgo et al., 2003). Carranza-Edwards et al. (1993) reportaron la existencia de un gradiente en la concentración de sedimentos en suspensión (lo que también se traduce en nutrientes) hacia mar adentro causado por las corrientes del banco de Campeche. Estos autores sugieren que los sedimentos en suspensión están muy relacionados con las comunidades biológicas, en especial con el fitoplancton.

En la zona nerítica exterior, los nutrientes acarreados por las precipitaciones no son capaces de llegar hasta regiones a más de $\sim 70 \text{ km}$ de la costa ya que se precipitan (por ejemplo, el Fe) o son consumidos por el fitoplancton (efecto que se ve reflejado en los valores de Chl_{sat} y PP en los diagramas Hovmöller, Figura 6 y 7). Esta diferencia de Chl_{sat} y PP y el desfase en que los máximos se presentaron (observado en las series temporales y en el análisis de correlación cruzada) sugiere que existe un proceso de fertilización distinto, razón por la cual los máximos no se presentaron en la estación de lluvias, pero sí durante los frentes fríos.

La estación de frentes fríos es de noviembre a febrero con temperaturas bajas ($>22^{\circ}\text{C}$) y vientos provenientes del noroeste (en algunos casos mayores a 80 km h^{-1}) (Tapanes y Gonzalez, 1980; Zavala-Hidalgo et al., 2014). En esta estación la columna de agua se homogeniza causando relativamente temperaturas superficiales bajas por la mezcla de la columna de agua y, por lo tanto, la disponibilidad de nutrientes en la superficie (zona eufótica) provenientes desde debajo de la termoclina (Müller-Karger y Walsh, 1991; Licea y Luna, 1999). Los valores de Chl_{sat} y PP fueron bajos ($<0.8\text{ mg m}^{-3}$ y $<1\text{ gC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) a diferencia de la zona interior ($>2.5\text{ mg m}^{-3}$ y $>3\text{ gC m}^{-2}\text{ d}^{-1}$) y probablemente es debido a las concentraciones de nutrientes bajas comparado a los encontrados cerca de la costa y a factores físicos y biológicos característicos de cada región como el pastoreo, enfermedades, luz, etc. (Par y Choudhury, 2014). Los resultados obtenidos de Chl_{sat} para esta estación y zona ($\sim 0.5 - \sim 0.9\text{ mg m}^{-3}$) fueron similares a los encontrados por Licea y Luna (1999), quienes reportaron valores de $\sim 0.4 - \sim 0.9\text{ mg m}^{-3}$ de $\text{Chl } a$ (medida en muestras de agua) para la región.

A pesar de que las condiciones oceanográficas en la zona interior durante esta estación fueron favorables para concentraciones y valores de Chl_{sat} y PP altas, esto no ocurre. Los valores de Chl_{sat} y PP no fueron tan distintos entre ambas estaciones lo que sugiere la presencia de otro factor limitante en la zona. Troccoli et al (2004) sugieren que durante esta estación existe un gran aporte de aguas con alto contenido de detritus orgánico lo que disminuye la disponibilidad de PAR y limita el crecimiento del fitoplancton. Sin embargo, la falta de mediciones de nutrientes disueltos y sedimentos en suspensión en este trabajo hacen difícil corroborar lo dicho por estos autores.

Por último, de marzo a junio se encuentra la temporada de secas con bajas precipitaciones y altas temperaturas, aunque menores en comparación a la temporada de lluvias. Esta diferencia entre las estaciones podría deberse a que el vapor de agua es un gas de efecto invernadero y durante la temporada de lluvias hay una mayor humedad en el aire. El calor proveniente del sol queda atrapado (efecto invernadero) y posteriormente es absorbido por el océano lo que genera las más altas temperaturas observadas en lluvias a diferencia de la temporada de secas (López y Del Arco, 2010). Durante la estación de secas los valores de Chl_{sat} y PP son menores debido a la gran estratificación de la columna de agua (mayor diferencia de densidades) y a los bajos niveles de nutrientes disueltos al no haber aportación de por precipitaciones (Okolodkov, 2003).

Aunque en los diagramas Howmöller de Chl_{sat} y PP se apreciaron claramente dos zonas neríticas, en los de SSH y SST por el contrario no presentaron diferencias visuales evidentes entre estas dos zonas, pero si variaciones anuales muy claras (Anexo 1A y B). La variación anual de la SST ya ha sido reportada en diversos

estudios en el golfo de México con máximos ($>29^{\circ}\text{C}$) de julio a septiembre y mínimos ($<22^{\circ}\text{C}$) de enero a febrero y variaciones de $\sim 10^{\circ}\text{C}$ entre estaciones (Zavala-Hidalgo et al. 2006; Manzano-Saravia et al., 2008; Muller-Krager et al. 2015). Estos valores de SST son similares a los encontrados en este trabajo.

Estas variaciones se deben a que la temperatura tiene una relación directa con los cambios atmosféricos (zonas de alta y baja presión, temperatura ambiental, radiación solar), fenómenos meteorológicos (frentes fríos, lluvias, huracanes, ondas de calor, etc.), época del año (primavera, verano, etc.) (Manzano-Saravia et al., 2008; Monte-Luna et al., 2015).

Las variaciones de la SSH no coincidieron con los meses en que la SST aumentó o disminuyó debido a que los máximos de SSH se presentan de septiembre a noviembre y los mínimos de mayo a junio (Figura 22 E). Este desfase en meses entre ambas variables sugiere que no tuvo una correlación positiva con la SST (Anexo 4B) como se podría esperar, pero si con otras variables físicas como los vientos, corrientes y presión atmosférica (Zavala-Hidalgo, 2003). La SSH está relacionada con las precipitaciones, fisiografía del litoral Campechano, baja presión atmosférica y dirección de los vientos (hacia el noroeste durante los frentes fríos) (Zavala-Hidalgo, et al. 2003). Estos factores físicos (en especial el viento) generan una acumulación de agua en la costa al ser empujada hacia esa dirección sumado a la altura ganada al tener agua menos densa en la parte superior (agua dulce) y la menor presión atmosférica (debido a que los frentes fríos y tormentas generan áreas de baja presión). La suma de estos factores durante la temporada de frentes fríos hace que la SSH aumente y presente sus valores máximos.

Por el contrario, durante la temporada de secas no hay precipitaciones, la presión atmosférica es mayor y el viento predominante es paralelo a la costa con dirección al noreste (Rivera-Arriaga y Villalobos-Zapata, 2005). La dirección e intensidad del viento permite el transporte de agua mar adentro (Transporte de Ekman, Cushman y Beckers, 2009) este transporte se suma con las corrientes características de la zona dando lugar a los bajos valores de SSH observados.

Con respecto al transecto 4, los manchones de Chl_{sat} y PP a más de 100 km de la costa observados en los diagramas Howmöller (Figura 6 y 7) se debieron al transporte mar adentro originado por la convergencia de dos corrientes: una provenientes del norte de la península de Yucatán con dirección hacia el suroeste y la otra del norte de Veracruz con dirección al sureste. Esta convergencia ocurre de manera estacional durante los meses de invierno (frentes fríos) cuando la corriente proveniente de Veracruz cambia de dirección y se ve potenciada por la presencia de los remolinos semipermanentes del banco de Campeche (Zavala-Hidalgo, 2003; Salas de León et al., 2008; Martínez-López y Zavala-Hidalgo, 2009). Los valores de

Chl_{sat} y PP similares entre ambas series del transecto 4 y las correlaciones mayores a 0.70 (Anexo 4E) hacen aún más evidente la presencia estacional del transporte mar adentro.

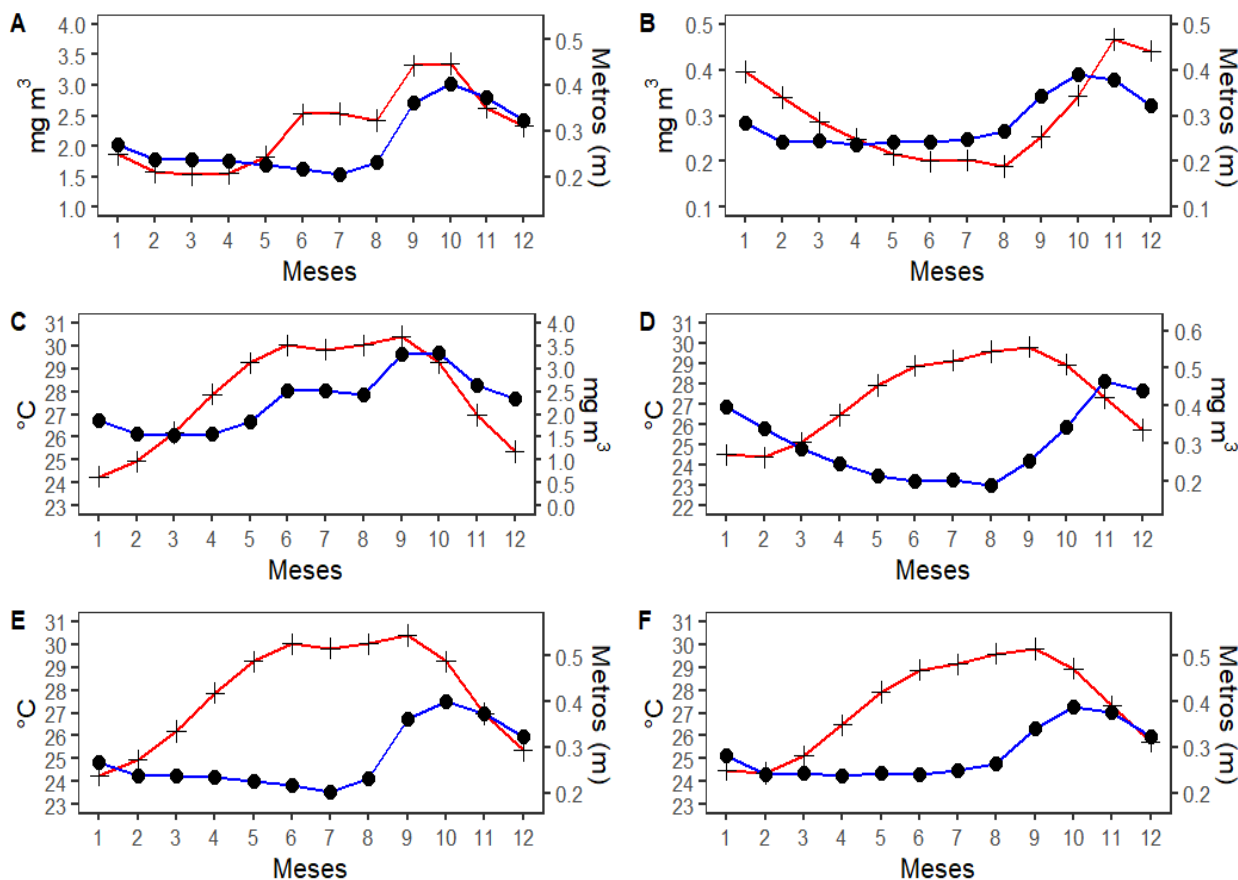


Figura 23. Comparación del comportamiento entre las variables: Chl_{sat} vs SSH de la serie T1ZI (A), Chl_{sat} vs SSH de la serie T1ZE (B), Chl_{sat} vs SST de la serie T1ZI (C), Chl_{sat} vs SST de la serie T1ZE, SST vs SSH de la serie T1ZI (E) y SST vs SSH de la serie T1ZE (F).

En cuanto al transecto 5, se observó la diferencia de tres zonas (norte, centro y sur) similares en valores de SST y SSH, pero diferentes en Chl_{sat} y PP. La diferencia en la Chl_{sat} y PP entre las zonas fue debido a la existencia de distintos ecosistemas costeros (Arreola-Lizárraga et al., 2018) lo que da lugar a diferentes características locales. En la zona norte se encuentra un ecosistema de manglares perteneciente a la reserva de la biosfera de Los Petenes. Los manglares son ecosistemas muy productivos en cuanto a materia orgánica y son considerados como parte importante de los ecosistemas marinos costeros ya que exportan materia orgánica y nutrientes disueltos al mar (Adame y Lovelock, 2011). Jennerjahn e Ittekkot (2002) mencionan que la exportación de materia orgánica y nutrientes durante la época de secas es llevada a cabo por las mareas, mientras que durante la temporada de lluvias las descargas pluviales potencian el

transporte causado por las mareas aumentando el transporte mar adentro. Lo anterior explica por qué la zona norte tiene los valores máximos de PP y Chl_{sat} en el transecto 5 y, a pesar de que durante todo el año existe exportación de nutrientes hacia el mar, los máximos valores se observaron en temporada de lluvias.

En la zona sur se encuentra el sistema Grijalva-Usumacinta y la Laguna de Términos. Los efectos de los aportes del sistema Grijalva-Usumacinta y de la Laguna de Términos se observan en la cantidad de sedimentos transportados al mar (Hernández-Arana et al., 2003), acompañados de nutrientes necesarios para la producción fitoplanctónica. Al igual que en la zona norte, la estacionalidad se debe a la precipitación. Durante la temporada de lluvias, las precipitaciones aumentan los aportes de agua de los ríos hacia el mar (aumentando la disponibilidad de nutrientes) y durante las secas el volumen de agua es menor disminuyendo los nutrientes disponibles (Fuentes-Yaco et al., 2001; Medina-Gómez et al., 2015). Por último, los valores menores de Chl_{sat} y PP de la zona centro pueden deberse a la falta de ecosistemas costeros productivos que exporten nutrientes hacia el mar. Aun con la presencia de un río en la región (Río Champotón), los volúmenes de agua son menores en comparación al sistema Grijalva-Usumacinta por lo que sus efectos son muy locales (Rebolledo-Vieyra, 2010).

Por lo que se refiere a los análisis bayesianos, las diferencias con evidencia decisiva ($\text{BF} > 100$, tabla 7 y 8) de Chl_{sat} entre todas las series temporales (comparación espacial) sugieren que el banco de Campeche es una zona heterogénea donde gran parte de su variabilidad está dada por los factores ambientales ya antes descritos. Cabe mencionar que los análisis bayesianos se aplicaron a Chl_{sat} y no a PP debido a que ésta es calculada con valores de Chl_{sat} por lo que el comportamiento es similar entre ambas variables (Chl_{sat} y PP). Por otro lado, los valores de Chl_{sat} entre las series adyacentes (por ejemplo, T2ZI y T3ZI o T1ZI y T1ZE) son distintos y solo coinciden en el comportamiento estacional, es decir oscilan de manera similar durante el año (Figura 20A, Figura 21A y B). En cuanto a SST, las diferencias bayesianas (Tabla 7 y 8) encontradas sugieren que las series T2ZI y T3ZI se localizaron en zonas de relativamente alta evaporación. Esta diferencia en temperaturas se debe a la fisiografía (como la presencia de ensenadas o bahías) lo que ocasiona un movimiento y recambio menor en comparación con otras áreas (Carranza-Edwards, 1993; Walker et al., 2003).

Con respecto a los cambios temporales o comparaciones entre épocas de secas, lluvias y frentes fríos, las diferencias bayesianas ($\text{BF} > 100$) confirman lo observado en los diagramas Hovmöller y en las series temporales donde los valores máximos y mínimos se observaron en temporadas distintas dependiendo de la variable, cosa que ya se explicó anteriormente. Para las comparaciones interanuales e intraanuales no se consideró a SSH debido a que en las series temporales y en los diagramas Hovmöller se observó una

tendencia positiva con respecto al tiempo (aumento del nivel del mar o SSH), por lo que al hacer los análisis bayesianos casi siempre se obtendrían diferencias entre los años más recientes (2016-2018) y los más antiguos (2003-2005). Esta tendencia coincide con lo reportado por Tamisiea et al. (2014) quienes mencionaron que SSH tiene una variación anual (estacionalidad) clara y además un incremento que en el Golfo de México es de ~ 6 mm por año, misma que está asociado al calentamiento global.

Con relación a las comparaciones interanuales (Anexo 5B y C) de SST en las que se encontraron dos periodos en todas las series: 2016-2017 con las más altas temperaturas y 2010-2011 con las más bajas. Müller-Karger et al. (2015) mencionaron que estas variaciones de temperatura pueden estar relacionadas con la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO por sus siglas en inglés) y posiblemente también a los efectos del El Niño-Oscilación del Sur (Kushnir, 1994; Manzano-Saravia y Salinas-Zavala, 2008) mediante una tele conexión. Por otra parte, lo encontrado por Müller-Karger et al. (2015) solo es coherente con este estudio en los años 2010-2011 (mínimas temperaturas en comparación a los demás años), pero no en los años 2009-2010 ya que no se encontraron diferencias bayesianas en mis resultados y tampoco en 2016-2017 debido a que sus series temporales solo abarcaron hasta 2012.

Como ya se indicó, Chl_{sat} por su parte también presentó variaciones interanuales: durante 2008 y 2011 las concentraciones de todas las series fueron las más altas y durante 2004 y 2005 las concentraciones fueron las más bajas. Estos patrones no coinciden con los periodos en que se presentaron los más altos valores (2017 y 2016) y los más bajos valores de SST (2010-2011), respectivamente. Esta diferencia entre Chl_{sat} y SST sugiere que existe otro factor físico afectando el comportamiento de Chl_{sat} además de SST en toda la región de estudio. Müller-Karger et al. (2015) encontraron que los valores más grandes de Chl_{sat} en sus series temporales se presentaron cuando coincidieron las bajas temperaturas y los vientos mayores al promedio (anómalos).

Otro factor a tomar en cuenta es la intensidad y ocurrencia de los frentes fríos, huracanes y tormentas tropicales en la región durante un determinado periodo. Por ejemplo, en el océano Atlántico, la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA, <https://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>) reportó un total de 30 ciclones tropicales durante 2005, de los cuales un total de 7 tocaron tierra en territorio mexicano. Por otro lado, durante 2015 se generaron un total de 12 ciclones de los cuales ninguno tuvo efectos directos sobre territorio mexicano. Los frentes fríos, huracanes y tormentas tropicales producen una mezcla de la columna de agua debido a los vientos mayores a 80 km h^{-1} causando bajas temperaturas superficiales (SST), lo cual da como resultado las condiciones propicias para que se presenten altas $Chl\ a$ (Dagg, 1988; Walker y Leben, 2005; Farfán et al., 2014). La incidencia de estos

fenómenos causa gran parte de la variabilidad intraanual de Chl_{sat} y PP (Shropshire et al., 2016) observada en los análisis espectrales (Figura 8) sugiriendo la importancia y efecto que tienen en la región de estudio.

Sin embargo, hay que aclarar que los efectos ocasionados por estos fenómenos atmosféricos generalmente son locales y, dependiendo de las dimensiones del mismo, el área afectada puede ser de regiones enteras (por ejemplo, los frentes fríos en el golfo de México) (Shropshire et al., 2016). Además, debido a que las imágenes satelitales usadas en este trabajo son promedios mensuales de Chl_{sat} las señales causadas por estos eventos muy posiblemente no están representadas en las series temporales. Aun así, se detectaron valores máximos de clorofila en años específicos, los cuales coincidieron con el paso de ciclones tropicales en la región, pero no durante los años en que ocurrieron los valores de SST más bajos (2010-2011). Por ejemplo, en el transecto 3 y 4 se presentaron picos máximos de clorofila durante 2005 los cuales coincidieron con el paso de tres huracanes. Una posible explicación es que, durante estos fenómenos, las precipitaciones aumentan el volumen de agua exportada al mar por los ríos cercanos al transecto 3 y 4 y además potencian los procesos llevados a cabo durante la temporada de lluvias dando lugar a los picos de Chl_{sat} observados durante este año (Yuan et al., 2004). Generalmente, la respuesta máxima de $\text{Chl } a$ se presenta dos o tres días después de que estos fenómenos ocurren (Gierach y Subrahmanyam, 2008).

Es importante mencionar que SST es la variable física que tuvo una mayor relación con el comportamiento de Chl_{sat} y PP (Figura 19). Sin embargo, como ya se ha mencionado antes, esto no implica que otros factores físicos no afecten, por lo que es recomendable la inclusión de otras variables físicas, como aporte pluvial, vientos, etc., para poder tener un mejor entendimiento de la variabilidad biológica que se encuentra en esta zona.

Como último punto, Chl_{sat} y PP no presentaron valores muy altos ($>20 \text{ mg m}^{-3}$) a pesar de que el área de estudio es una zona costera. Aun cuando esto ocurriera, hay que prestar una mayor atención a las tendencias y al comportamiento anual y estacional de las variables (Mirabal-Gómez et al., 2017). Además, no se obtuvieron valores atípicos en las variables consideradas y el comportamiento observado en las mediciones fue consistente con los agentes forzantes encontrados en la literatura.

Capítulo 5. Conclusiones

- Las series temporales, diagramas Hovmöller y los análisis espectrales de Chl_{sat} , PP, SST y SSH mostraron que la zona de estudio presenta una variación anual dominante con tres estaciones durante el año: secas, lluvia y frentes fríos.
- Los valores más altos de Chl_{sat} , PP y SST se encontraron durante la estación de lluvias mientras que para la SSH fue durante la estación de frentes fríos. Por el contrario, los valores mínimos de Chl_{sat} , PP y SSH se encontraron en la temporada de secas y para la SST se presentaron durante la estación de frentes fríos.
- En general, los valores de Chl_{sat} y PP de la zona nerítica exterior fueron menores ($<0.8 \text{ mg m}^{-3}$ y $<1 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en comparación a la zona nerítica interior ($>2.5 \text{ mg m}^{-3}$ y $>3 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). La zona norte del transecto paralelo a la costa presentó los máximos valores de Chl_{sat} y PP ($>5 \text{ mg m}^{-3}$ y $>4 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en comparación a la zona centro ($>3 \text{ mg m}^{-3}$ y $>2.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y sur ($>2 \text{ mg m}^{-3}$ y $>2.5 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).
- Los frentes fríos y las lluvias son parte importante de la dinámica de la región debido a que afectan la disponibilidad de nutrientes y las temperaturas mediante la mezcla de la columna de agua, los aportes de agua por ríos, afloramientos subterráneos y aportes de manglares localizados a lo largo de la costa de la región de estudio.

Literatura citada

- Adamec, M. F., and Lovelock, C. E. 2011. Carbon and nutrient exchange of mangrove forests with the coastal ocean. *Hydrobiologia*, 663(1), 23-50.
- Álvarez-Góngora, C., and Herrera-Silveira, J. A. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*, 52(1), 48-60. doi: 10.1016/j.marpolbul.2005.08.006
- Arreola-Lizárraga, J. A., Padilla-Arredondo, G., Ruiz-Ruiz, T. M., Cruz-García, L. M., Méndez-Rodríguez, L. C., Hernández-Almaraz, P., and Vargas-González, H. H. 2018. Estuaries and Coastal Lagoons of Mexico: Challenges for Science, Management, and Conservation. In *Mexican Natural Resources Management and Biodiversity Conservation*, pp. 251-283. Springer, Cham.
- Ayala-Pérez, L.A., J. Ramos Miranda, D. Flores Hernández, A. Sosa López y G. E. Martínez Romero, 2015. Ictiofauna marina y costera de Campeche. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, 502 pp.
- Badán, A., Candela, J., Sheinbaum, J., Ochoa, J. 2005. Upper-layer circulation in the approaches to Yucatán Channel, En: W. Sturges and A. Lugo-Fernandez (Eds.). *Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models*. Geophysical Monograph Series, 16, 57-69.
- Behrenfeld Michael J., and Falkowski Paul G., 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration, *Limnology and Oceanography*, 42, doi: 10.4319/lo.1997.42.1.0001
- Behrenfeld, M. J., E. Boss, D. A. Siegel, and D. M. Shea., 2005. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space, *Global Biogeochemical Cycles*, 19, GB1006, doi: 10.1029/2004GB002299
- Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., McClain, C. R., Feldman, G. C., Los, S. O., Tucker, C. J., ... and Kolber, D. D. 2001. Biospheric primary production during an ENSO transition. *Science*, 291(5513), 2594-2597.
- Behrenfeld, M. J., Westberry, T., Boss, E., O'Malley, R., Siegel, D., Wiggert, J. D., Franz, B., Feldman, G., Doney, S., Moore, J., Dall'Olmo, G., Milligan, A., Lima, I., Mahowald, N. 2009. Satellite Detected Fluorescence Reveals Global Physiology of Ocean Phytoplankton. *Biogeosciences*, 6(5), 779-794. Available at: https://aquila.usm.edu/fac_pubs/1132
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J. F. R., Dekker, G., Phinn, S. R., Brando, and V. E. 2014. A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in Oceanography* 123: 123-144.
- Bugna, G. C., Chanton, J. P., Cable, J. E., Burnett, W. C., and Cable, P. H. 1996. The importance of groundwater discharge to the methane budgets of nearshore and continental shelf waters of the

- northeastern Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(23), 4735–4746. doi:10.1016/s0016-7037(96)00290-6
- Burnett, W. C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W. S., and Taniguchi, M. 2003. Groundwater and pore water inputs to the coastal zone. *Biogeochemistry*, 66(1-2), 3-33.
- Chavez, F. P., and Messié, M., 2009. A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 80-96.
- Chelton, D. B., Ries, J. C., Haines, B. J., Fu, L. L., and Callahan, P. S. 2001. Satellite altimetry. *Satellite Altimetry and Earth Sciences*. Vol. 69, pp. 1-131.
- Cloern, J. E. 1987. Turbidity as a control on phytoplankton biomass and productivity in estuaries. *Continental Shelf Research*, 7(11-12), 1367-1381.
- Constanza, R. 1997. La economía ecológica de la sostenibilidad: Invertir en capital natural. En *Medio ambiente y desarrollo sostenible: más allá del informe Brundtland*. pp. 103-114.
- Cullen, J. J. 1982. The deep chlorophyll maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll a. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(5), 791-803.
- Cullen, J. J. 2015. Subsurface chlorophyll maximum layers: enduring enigma or mystery solved? *Annual Review of Marine Science*. 2015. 7:19.1–19.33, doi: 10.1146/annurev-marine-010213-135111
- Cushman-Roisin, B., and Beckers, J. M. 2011. *Introduction to geophysical fluid dynamics: physical and numerical aspects* (Vol. 101). Academic press.
- Dagg, M. J. 1988. Physical and biological responses to the passage of a winter storm in the coastal and inner shelf waters of the northern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 8(2), 167-178.
- Damien, P., Pasqueron de Fommervault, O., Sheinbaum, J., Jouanno, J., Camacho-Ibar, V. F., and Duteil, O. 2018. Partitioning of the open waters of the Gulf of Mexico based on the seasonal and interannual variability of chlorophyll concentration. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(4), 2592-2614.
- Dubranna, J., P. Pérez-Brunius, M. López, and J. Candela 2011. Circulation over the continental shelf of the western and southwestern Gulf of Mexico, *Journal of Geophysics Research.*, 116, C08009, doi:10.1029/2011JC007007.
- Durán-Campos, E., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., and Coria-Monter, E. 2017. Patterns of chlorophyll-a distribution linked to mesoscale structures in two contrasting areas Campeche Canyon and Bank, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Sea Research*, 123, 30-38.
- Eppley, R. W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fishery bulletin*, 70 (4), pp. 1063-1085.

- Farfán, L. M., D'Sa, E. J., Liu, K. B., and Rivera-Monroy, V. H. 2014. Tropical cyclone impacts on coastal regions: the case of the Yucatán and the Baja California Peninsulas, Mexico. *Estuaries and coasts*, 37(6), 1388-1402.
- Fuentes-Yaco, C., de León, D. A. S., Monreal-Gómez, M. A., and Vera-Herrera, F. 2001. Environmental forcing in a tropical estuarine ecosystem: the Palizada River in the southern Gulf of Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 52(5), 735-744.
- Gaxiola Castro, G., Cepeda Morales, J. C. A., Nájera Martínez, S., Espinosa Carreón, T. L., De la Cruz Orozco, M. E., Sosa Avalos, R., Aguirre Hernández, E. y Cantú Ontiveros, J. P. 2010. Biomasa y producción de fitoplancton. In G. Gaxiola-Castro y R. Durazo (Eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 59-86 pp.
- Gierach, M. M., and Subrahmanyam, B. 2008. Biophysical responses of the upper ocean to major Gulf of Mexico hurricanes in 2005. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C4).
- Gordon, H. R., Clark, D. K., Mueller, J. L., and Hovis, W. A. 1980. Phytoplankton pigments from the Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner: comparisons with surface measurements. *Science*, 210(4465), 63-66.
- Hecky, R. E., and Kilham, P. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment 1. *Limnology and Oceanography*, 33(4part2), 796-822.
- Hernández-Arana, H. A., Rowden, A. A., Attrill, M. J., Warwick, R. M., and Gold-Bouchot, G. 2003. Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(4), 825-841.
- Hernández-Arana, H. A., Rowden, A. A., Attrill, M. J., Warwick, R. M., and Gold-Bouchot, G. 2003. Large-scale environmental influences on the benthic macroinfauna of the southern Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(4), 825-841.
- Herrera-Silveira, J. A., and Morales-Ojeda, S. M. 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, 59(1-3), 72-86.
- Hidalgo-González, R. M., Alvarez-Borrego, S., Fuentes-Yaco, C., and Platt, T. 2005. Satellite-derived total and new phytoplankton production in the Gulf of Mexico. *Indian Journal of Marine Sciences*, 34(4), 408-417.
- Jeffreys S. H. 1967. *Theory of probability* (3rd ed.). Clarendon Press.
- Jennerjahn, T. C., and Ittekkot, V. 2002. Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*, 89(1), 23-30.

- Johannes, R. E. 1980. Ecological significance of the submarine discharge of groundwater. *Marine Ecology Progress Series*, 3(4), 365-373.
- Kämpf, J., and Chapman, P. (2016). *Upwelling systems of the world*. Springer International Publishing Switzerland.
- Kirk, J. T. O. 1984. Dependence of relationship between inherent and apparent optical properties of water on solar altitude. *Limnology and Oceanography*, 29(2), 350-356.
- Kirk, J. T. O. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press. 491 pp.
- Kushnir, Y. 1994. Interdecadal variations in North Atlantic sea surface temperature and associated atmospheric conditions. *Journal of Climate*, 7(1), 141-157.
- Lee, Z., Carder, K. L., and Arnone, R. A. 2002. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters. *Applied optics*, 41(27), 5755-5772.
- Licea, S., and Luna, R. 1999. Spatio-temporal variation of phytoplankton on the continental margin in the SW Gulf of Mexico. *Revista Sociedad Mexicana Historia Natural*, 49, 83.
- Lohrenz, S. E., Fahnenstiel, G. L., Redalje, D. G., Lang, G. A., Chen, X., and Dagg, M. J. 1997. Variations in primary production of northern Gulf of Mexico continental shelf waters linked to nutrient inputs from the Mississippi River. *Marine Ecology Progress Series*, 155, 45-54. doi:10.3354/meps155045
- López, I. Z., and del Arco, E. C. 2010. *Meteorología y climatología*. Editorial UNED.
- Mann, K. H., and Lazier, J. R. 2013. *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans*. John Wiley & Sons.
- Manzano-Sarabia, M. M., y Salinas-Zavala, C. A. 2008. Variabilidad estacional e interanual de la concentración de clorofila a y temperatura superficial del mar en la región occidental del Golfo de México: 1996-2007. *Interciencia*, 33(9), 628-634.
- Manzano-Sarabia, M., Salinas-Zavala, C. A., Kahru, M., Lluch-Cota, S. E., and González-Becerril, A. 2008. The impact of the 1997–1999 warm-SST and low-productivity episode on fisheries in the southwestern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 610(1), 257-267.
- Martínez-López, B., and Zavala-Hidalgo, J. 2009. Seasonal and interannual variability of cross-shelf transports of chlorophyll in the Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, 77(1-2), 1-20.
- Martínez-López, B., y Parés Sierra, A. 1998. Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la corriente de Yucatán. *Ciencias Marinas*, 24(1): 65-93.

- McCree K.J. 1981 Photosynthetically Active Radiation. In: Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., Ziegler H. (eds) *Physiological Plant Ecology I. Encyclopedia of Plant Physiology (New Series)*, vol 12 / A. Springer, Berlin, Heidelberg.
- McKee, D., and Cunningham, A. 2006. Identification and characterization of two optical water types in the Irish Sea from in situ inherent optical properties and seawater constituents. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(1-2), 305-316.
- Medina-Gómez, I., Villalobos-Zapata, G. J., and Herrera-Silveira, J. A. 2015. Spatial and temporal hydrological variations in the inner estuaries of a large coastal lagoon of the Southern Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 31(6), 1429-1438.
- Mendoza-Vega J., y Ku-Quej V., 2010. Medio físico: Clima. En: Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega (Coord.), 2010. *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 16-18.
- Merino, M. 1997. Upwelling on the Yucatan Shelf: hydrographic evidence. *Journal of Marine Systems*, 13(2), 101-121.
- Mirabal-Gómez U., Álvarez-Borrego S. and Lara-Lara J. R. 2018. Satellite-derived phytoplankton biomass and production variability in 2 contrasting coastal areas: off southern California and off northern Baja California. *Ciencias Marinas*. 43(4):229-248
- Monreal-Gómez, M. A., y Salas-de-León, D. A. 1990. Simulación de la circulación en la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, 29(2), 101-111.
- Monte-Luna, P., Villalobos, H., and Arreguín-Sánchez, F. 2015. Variability of sea surface temperature in the southwestern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, 102, 73-79.
- Morales-Ojeda, S. M., Herrera-Silveira, J. A. and Montero, J. 2010. Terrestrial and oceanic Influence on spatial hydrochemistry and trophic status in subtropical marine near-shore waters. *Water Research*, 44, 5949-5964.
- Morey, S. L., Schroeder, W. W., O'Brien, J. J., and Zavala-Hidalgo, J. 2003. The annual cycle of riverine influence in the eastern Gulf of Mexico basin. *Geophysical Research Letters*, 30(16). doi.org/10.1029/2003GL017348
- Morey, S. L., Zavala-Hidalgo, J., and O'Brien, J. J. 2005. The seasonal variability of continental shelf circulation in the northern and western Gulf of Mexico from a high-resolution numerical model. *Circulation in the Gulf of Mexico: Observations and Models*, 203-218.
- Muller-Karger, F. E., Smith, J. P., Werner, S., Chen, R., Roffer, M., Liu, Y., ... and Enfield, D. B. 2015. Natural variability of surface oceanographic conditions in the offshore Gulf of Mexico. *Progress in Oceanography*, 134, 54-76.

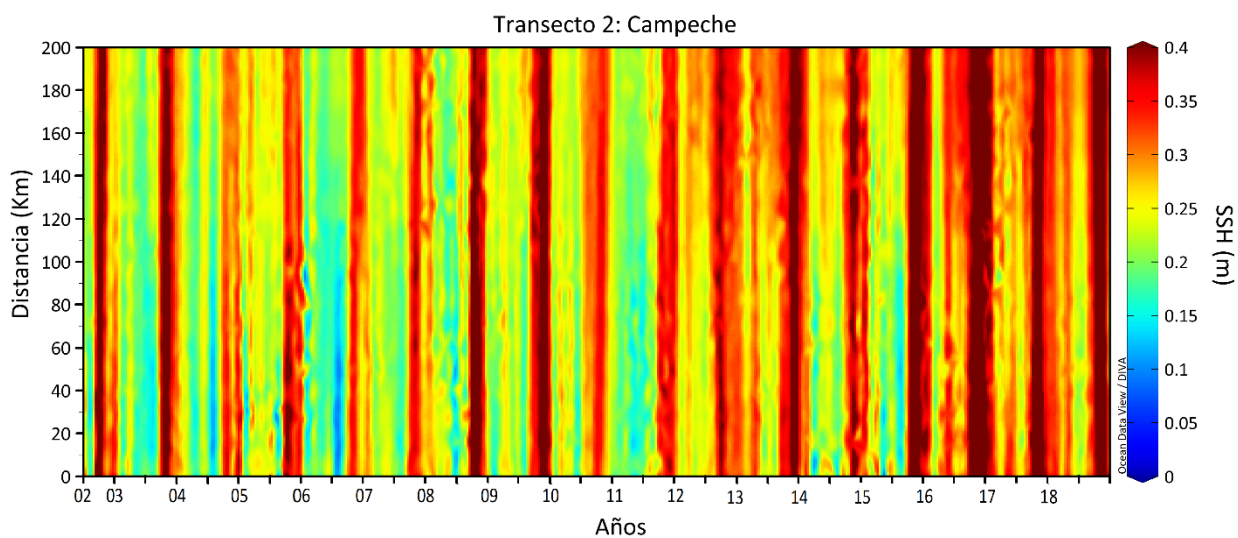
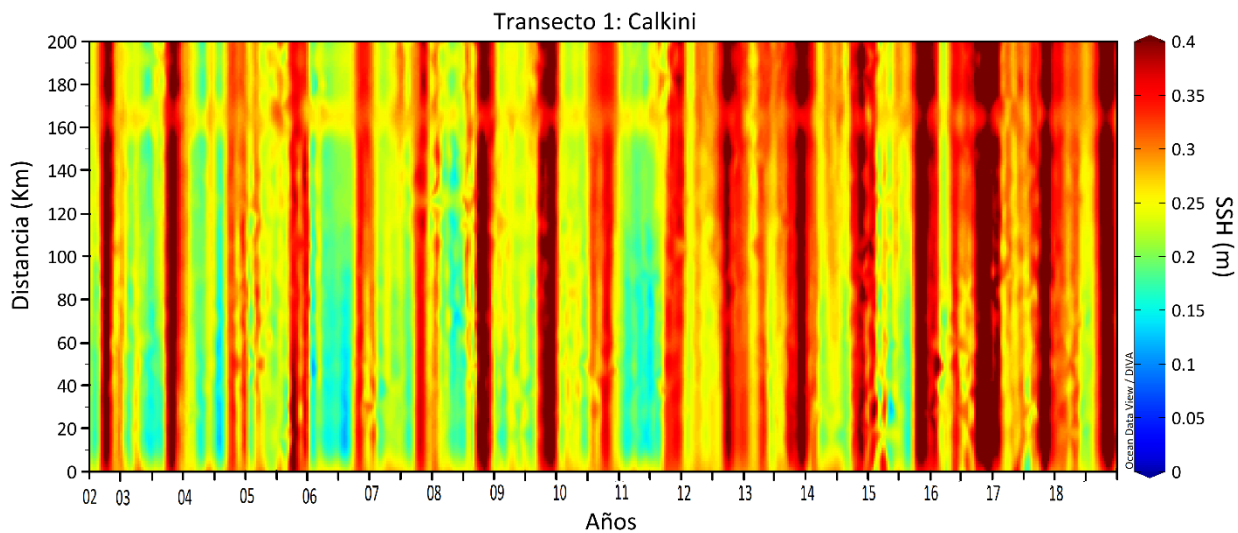
- Müller-Karger, F. E., Walsh, J. J., Evans, R. H., and Meyers, M. B. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C7), 12645-12665.
- Mulligan, A. E., and Charette, M. A. 2009. Groundwater flow to the coastal ocean. *Elements of Physical Oceanography: A Derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences*, 465.
- NASA National Aeronautical and Space Administration. 2018. Ocean Color web. Accessed August 2018–March 2019. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.
- Nixon, S. W. 1988. Physical energy inputs and the comparative ecology of lake and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 33 (4part2), pp. 1005-1025.
- Oey, L. Y., 1995. Eddy-and wind-forced shelf circulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 100(C5), 8621-8637.
- Oey, L., Ezer, T., Lee, H. 2005. Loop Current, rings and related circulation in the Gulf of Mexico: A review of numerical models and future challenges. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 161, 31.
- Okolodkov, Y. B. 2003. A review of Russian plankton research in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea in the 1960-1980s. *Hidrobiológica*, 13(3), 207-221.
- OSU Oregon State University. 2018. Ocean Net Primary Productivity of Oregon State University. Accessed July 2017–April 2018 <http://www.science.oregonstate.edu/oceano.productivity/index.php>
- Pal R. and Choudhury A.K. 2014. A Brief Introduction to Phytoplankton. In: *An Introduction to Phytoplankton: Diversity and Ecology*. Springer, New Delhi
- Poot Delgado, C. A. 2016. Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, Golfo de México. *Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (68), 91-96.
- Putrasahan, D. A., Kamenkovich, I., Le Hénaff, M., and Kirtman, B. P. 2017. Importance of ocean mesoscale variability for air-sea interactions in the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 44(12), 6352-6362.
- Rebolledo-Vieyra M. 2010. Medio físico: Hidrología. En: Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega (Coord.), 2010. *La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 2-7.
- Reyes-Mendoza, O. F. 2015. Comportamiento de la surgencia de Yucatán e implicaciones en la productividad del ecosistema pelágico de Cabo Catoche. CINVESTAV-Unidad Mérida. Tesis Doctoral. 134 pp.
- Reynolds, C. S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press. 535 pp.

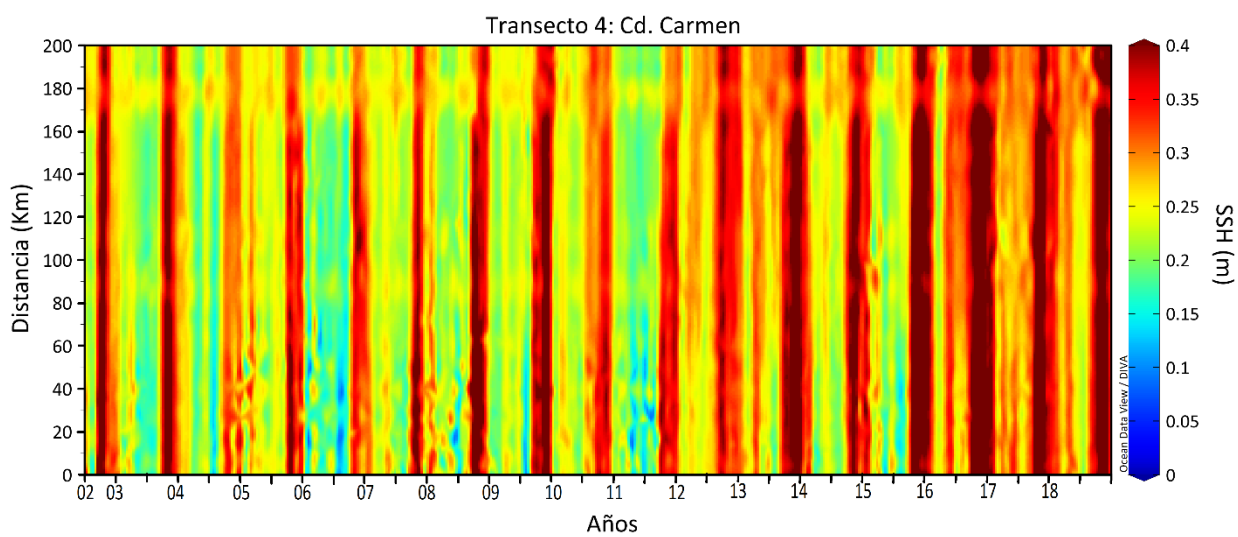
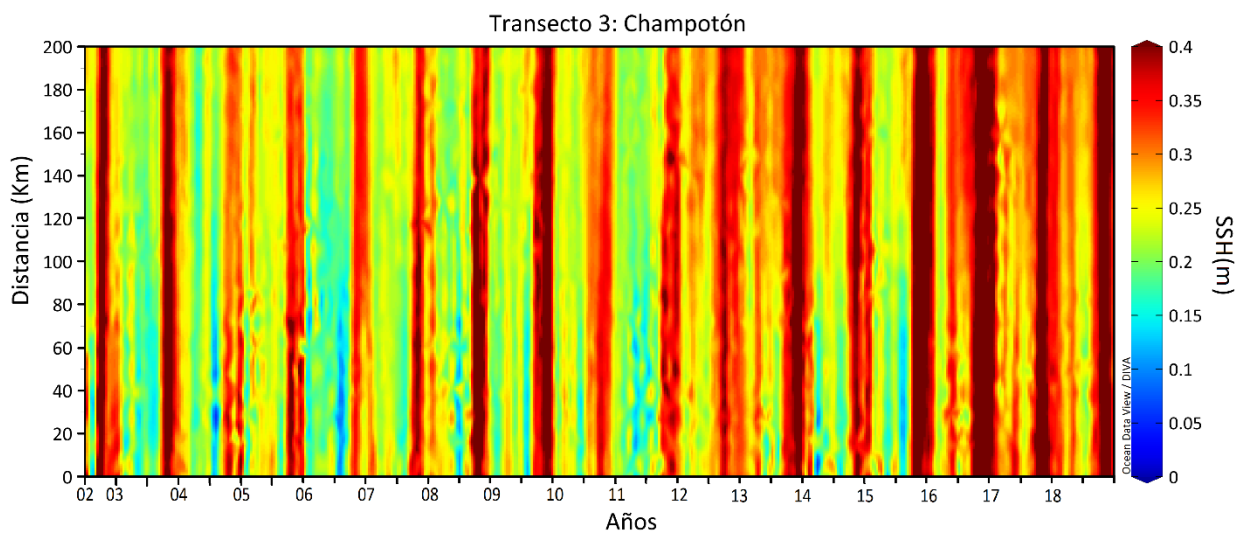
- Rivera-Arriaga, E., and Villalobos-Zapata, G., 2005. The Coastal Zone of Campeche, Mexico: Opportunities for Implementing an Integrated Coastal Management Framework. *Journal of Coastal Research*, pp. 184-190.
- Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Díaz-Flores, M. A., Salas-Monreal, D., Velasco-Mendoza, H., Riverón-Enzástiga, M. L., and Ortiz-Zamora, G. 2008. Role of near-bottom currents in the distribution of sediments within the Southern Bay of Campeche, Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 1487-1494.
- Salmerón-García, O., Zavala-Hidalgo, J., Mateos-Jasso, A., and Romero-Centeno, R. 2011. Regionalization of the Gulf of Mexico from space-time chlorophyll-a concentration variability. *Ocean Dynamics*, 61(4), 439-448.
- Sanvicente-Añorve L, Zavala-Hidalgo J, Allende-Arandía ME, and Hermoso-Salazar M. 2014. Connectivity patterns among coral reef systems in the southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 498:27-41. <https://doi.org/10.3354/meps10631>
- Shropshire, T., Li, Y., & He, R. 2016. Storm impact on sea surface temperature and chlorophyll a in the Gulf of Mexico and Sargasso Sea based on daily cloud-free satellite data reconstructions. *Geophysical Research Letters*, 43(23), 12-199.
- Slomp, C. P., and Van Cappellen, P. 2004. Nutrient inputs to the coastal ocean through submarine groundwater discharge: controls and potential impact. *Journal of Hydrology*, 295(1-4), 64–86. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.02.018
- Stone, G. W., Walker, N. D., Hsu, A., Babin, A., Liu, B., Keim, B. D., ... and Leben, R. 2005. Hurricane Ivan's impact along the Northern Gulf of Mexico. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 86(48), 497-501.
- Tamisiea, M. E., Hughes, C. W., Williams, S. D., and Bingley, R. M. 2014. Sea level: measuring the bounding surfaces of the ocean. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2025), 20130336.
- Tapánes, J. J., and González Coya, F. 1980. Hidrometeorología del Golfo de México y Banco de Campeche. *Geofísica Internacional*, 19(4).
- Tilstone, G. H., Figueiras, F. G., Lorenzo, L. M., and Arbones, B. 2003. Phytoplankton composition, photosynthesis and primary production during different hydrographic conditions at the Northwest Iberian upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 252, pp. 89-104.
- Troccoli-Ghinaglia L, Herrera-Silveira JA, Comín FA. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal areas of Yucatán, México. *Hydrobiologia* 519: 85-102.
- Uitz, J., Stramski, D., Reynolds, R. A., and Dubranna, J. 2015. Assessing phytoplankton community composition from hyperspectral measurements of phytoplankton absorption coefficient and

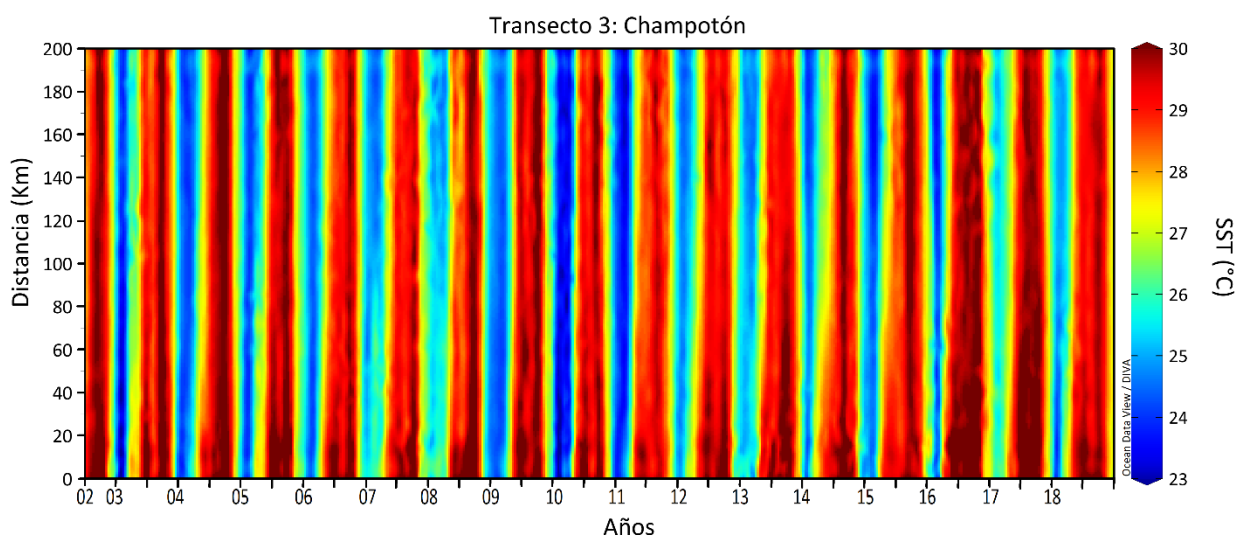
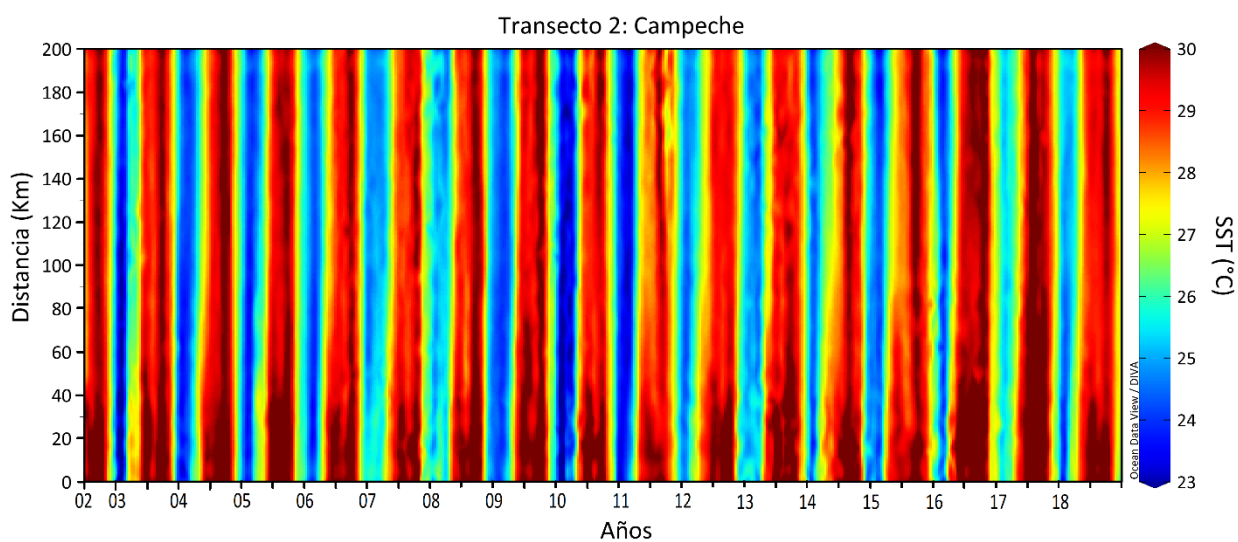
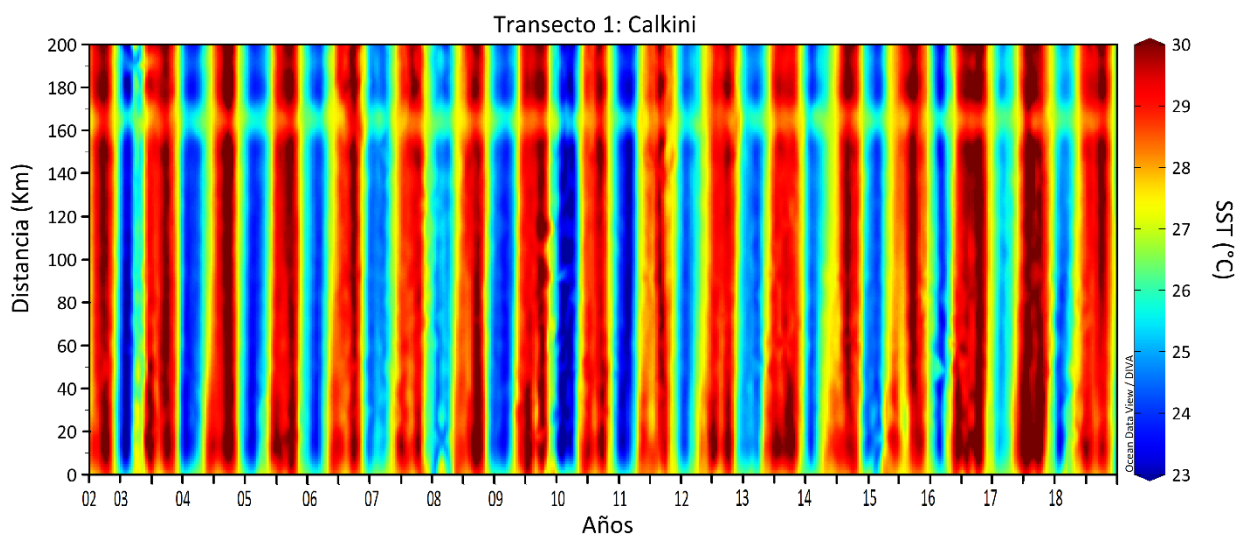
- remote-sensing reflectance in open-ocean environments. *Remote Sensing of Environment*, 171, 58-74.
- Valle-Levinson, A., Marino-Tapia, I., and Enriquez, C., Waterhouse, A. F. 2011. Tidal variability of salinity and velocity fields related to intense point-source submarine groundwater discharges into the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 56(4), 1213-1224.
- Walker, N. D., Leben, R. R., and Balasubramanian, S. 2005. Hurricane-forced upwelling and chlorophyll a enhancement within cold-core cyclones in the Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 32(18). doi.org/10.1029/2005GL023716
- Wilson, C., and Adamec, D. 2001. Correlations between surface chlorophyll and sea surface height in the tropical Pacific during the 1997–1999 El Niño-Southern Oscillation event. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C12), 31175-31188.
- Xue, Z., He, R., Fennel, K., Cai, W. J., Lohrenz, S., and Hopkinson, C. 2013. Modeling ocean circulation and biogeochemical variability in the Gulf of Mexico. *Biogeosciences*, 10(11).
- Yuan, J., Miller, R. L., Powell, R. T., & Dagg, M. J. 2004. Storm-induced injection of the Mississippi River plume into the open Gulf of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 31(9).
- Zavala-Hidalgo, J., Gallegos-García, A., Martínez-López, B., Morey, S. L., and O'Brien, J. J. 2006. Seasonal upwelling on the western and southern shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean dynamics*, 56(3-4), 333-338.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L., and 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). 3389, doi:10.1029/2003JC001879, 2003
- Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R., Mateos-Jasso, A., Morey, S. L., and Martinez-Lopez, B. 2014. The response of the Gulf of Mexico to wind and heat flux forcing: What has been learned in recent years? *Atmósfera*, 27(3), 317-334.
- Zhao, Y., and He, R. 2012. Cloud-free sea surface temperature and color reconstruction for the Gulf of Mexico: 2003–2009. *Remote sensing letters*, 3(8), 697-706.

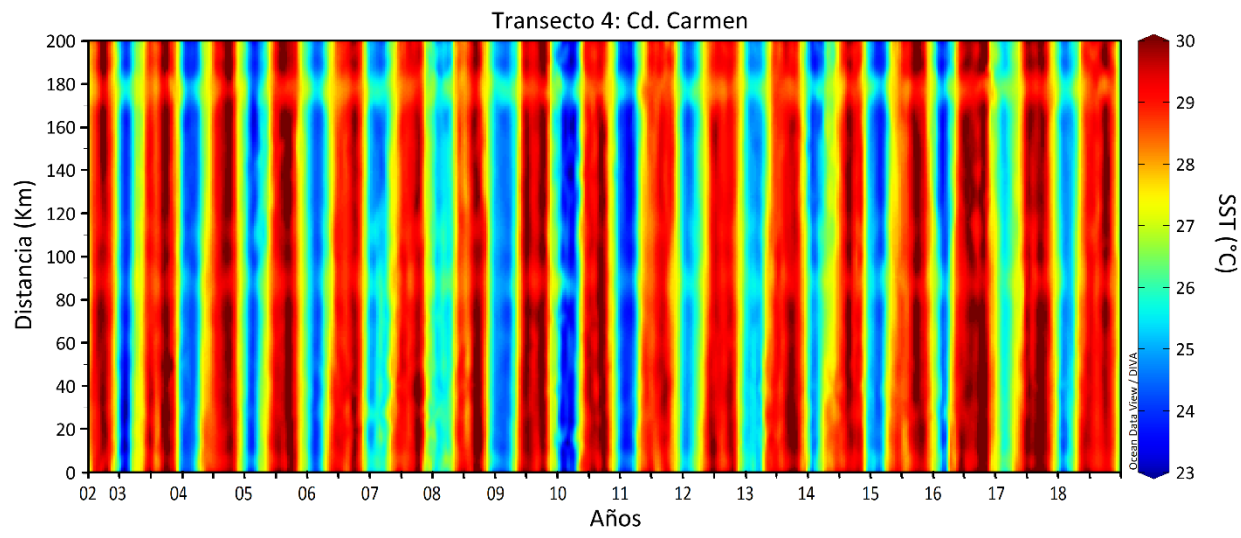
Anexo 1

A. Diagramas Hovmöller de SSH para los transectos 1 a 4.



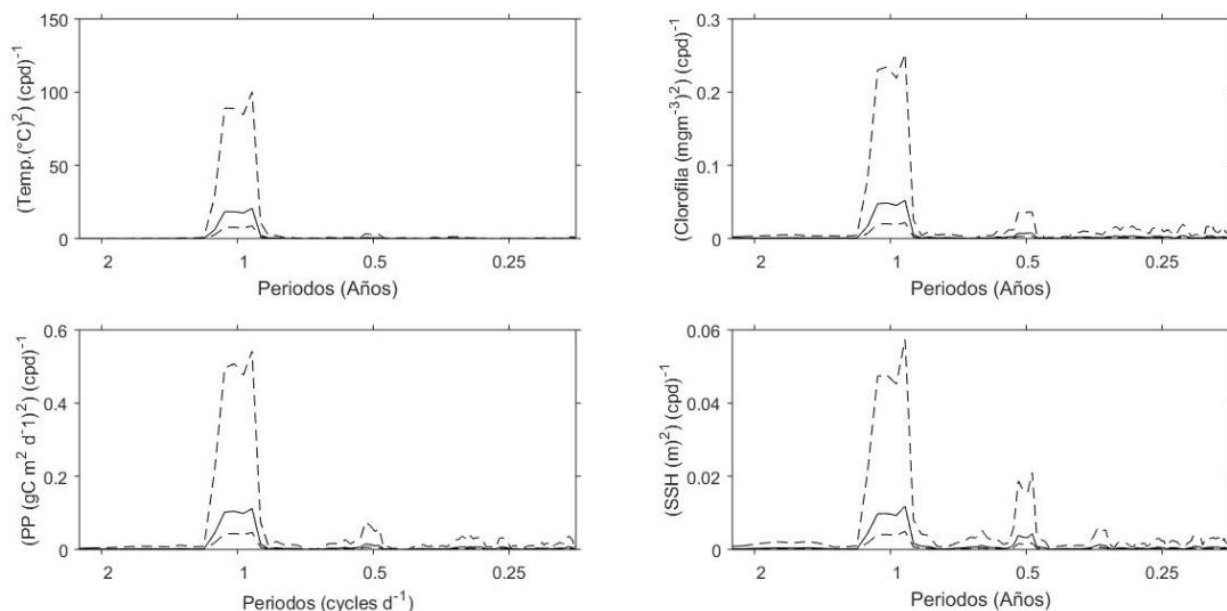


B. Diagramas Hovmöller de SST para los transectos 1 a 4.

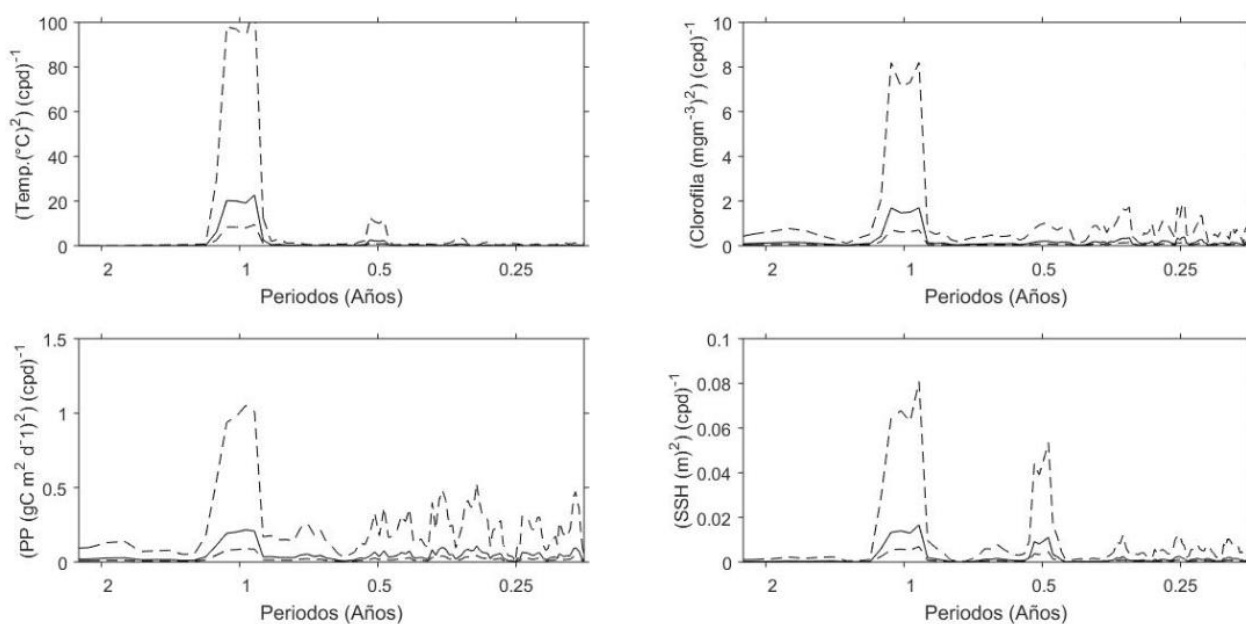


Anexo 2

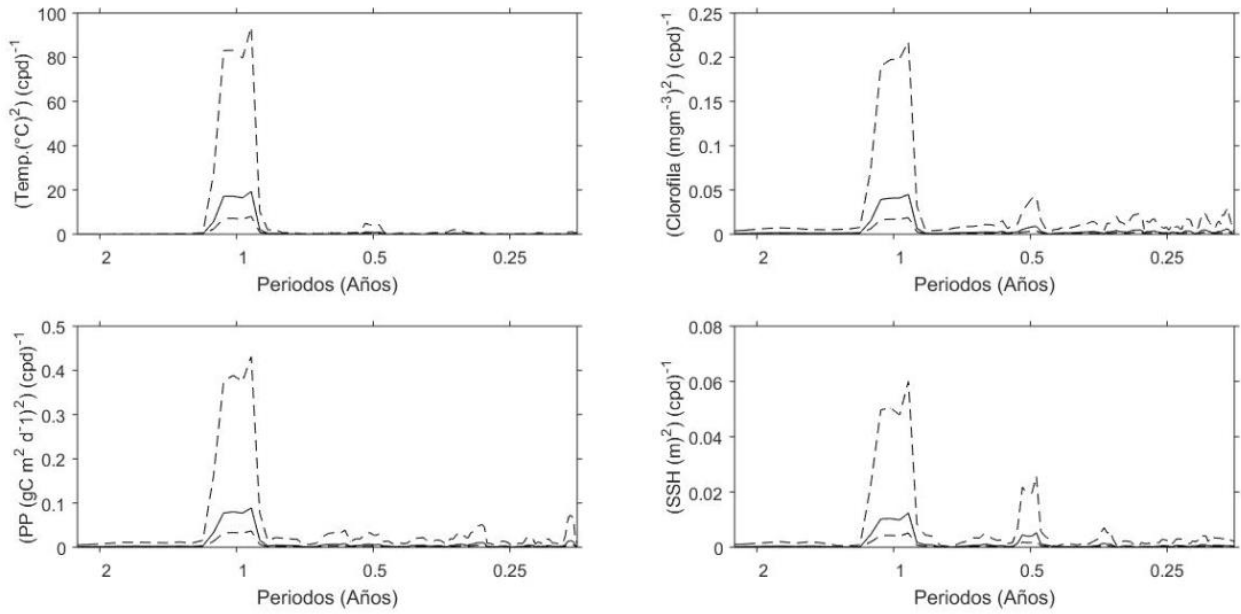
A. Análisis espectral para las variables de la serie T1ZE, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior izquierdo corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



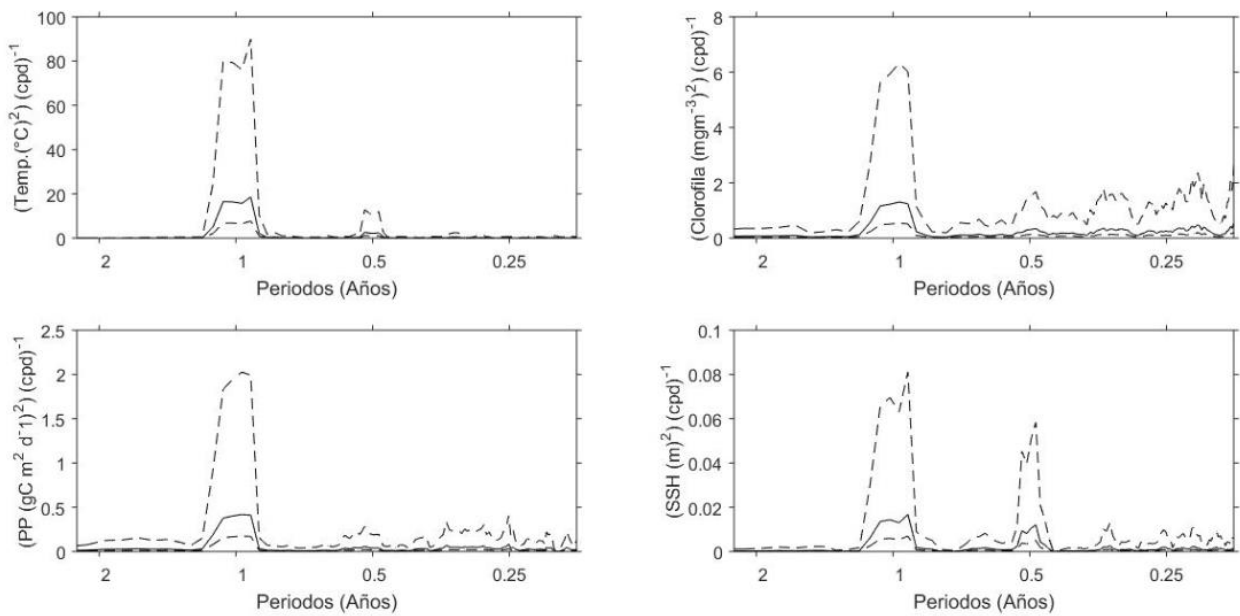
B. Análisis espectral para las variables de la serie T2ZI, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior izquierdo corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



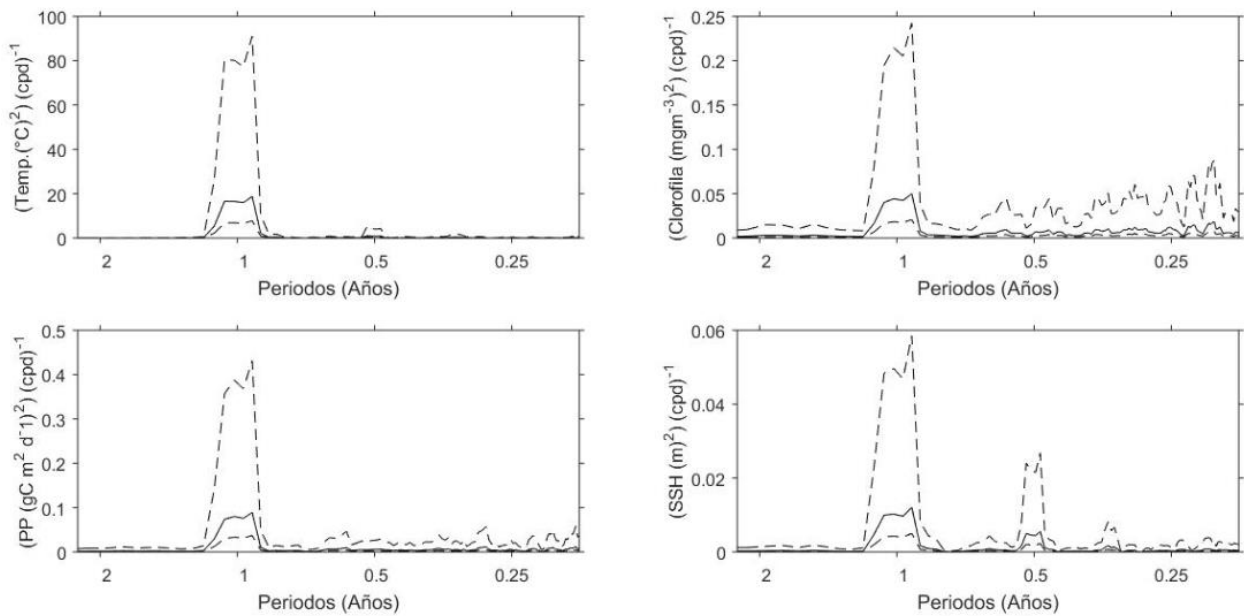
C. Análisis espectral para las variables de la serie T2ZE, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior izquierdo corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



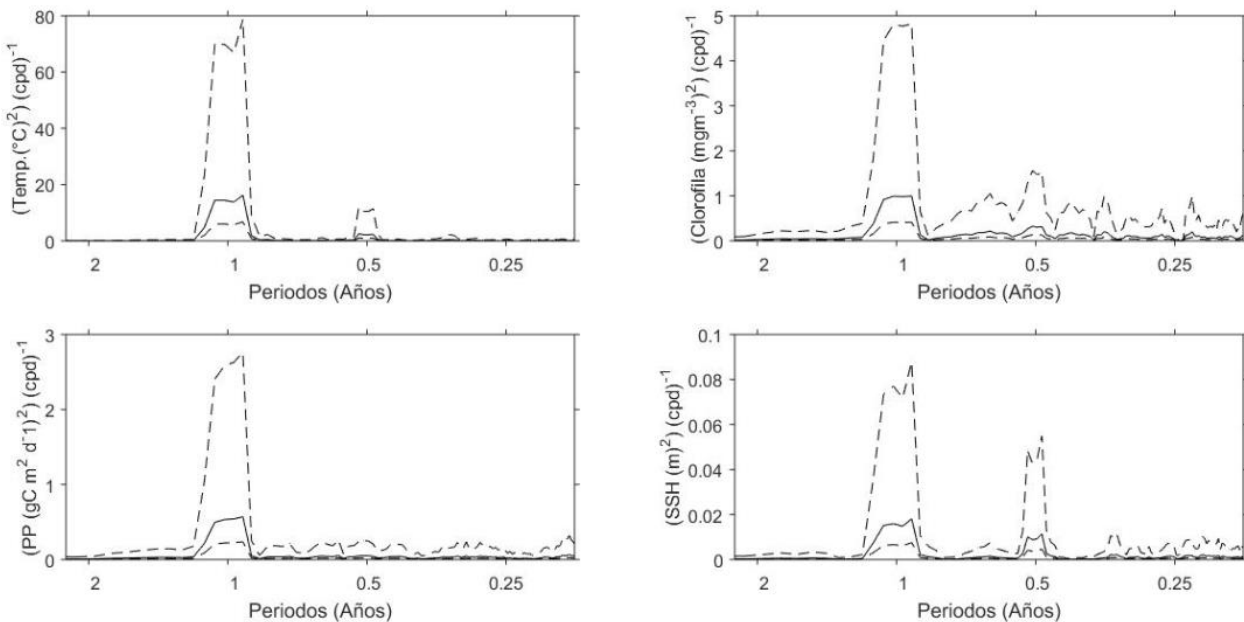
D. Análisis espectral para las variables de la serie T3ZI, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior izquierdo corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



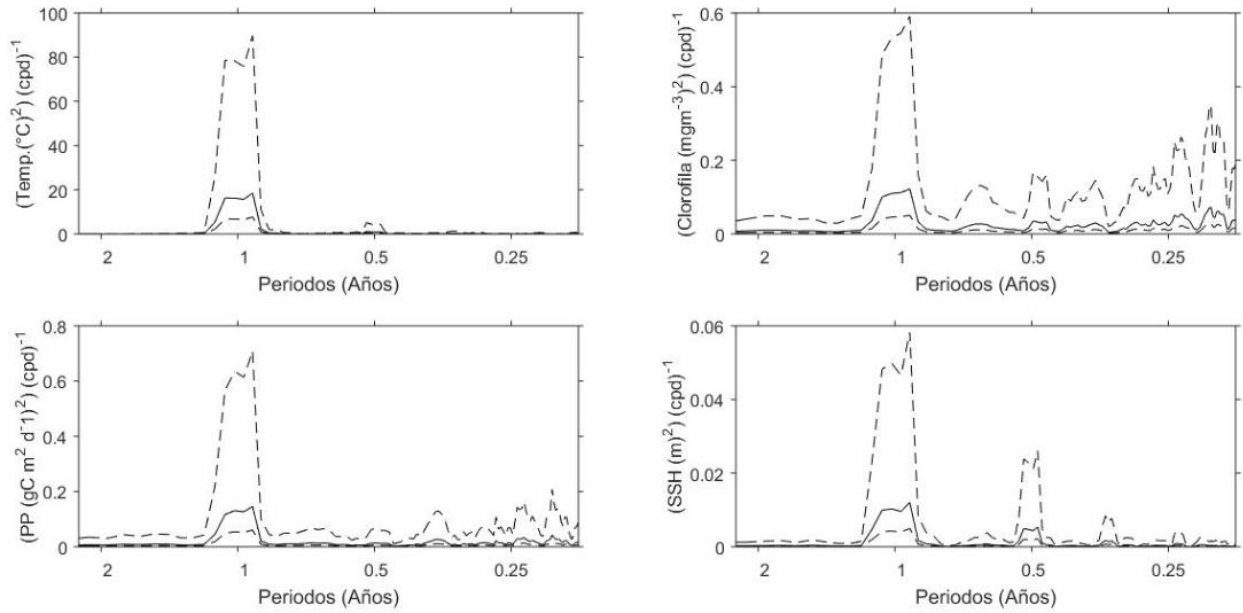
E. Análisis espectral para las variables de la serie T3ZE, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



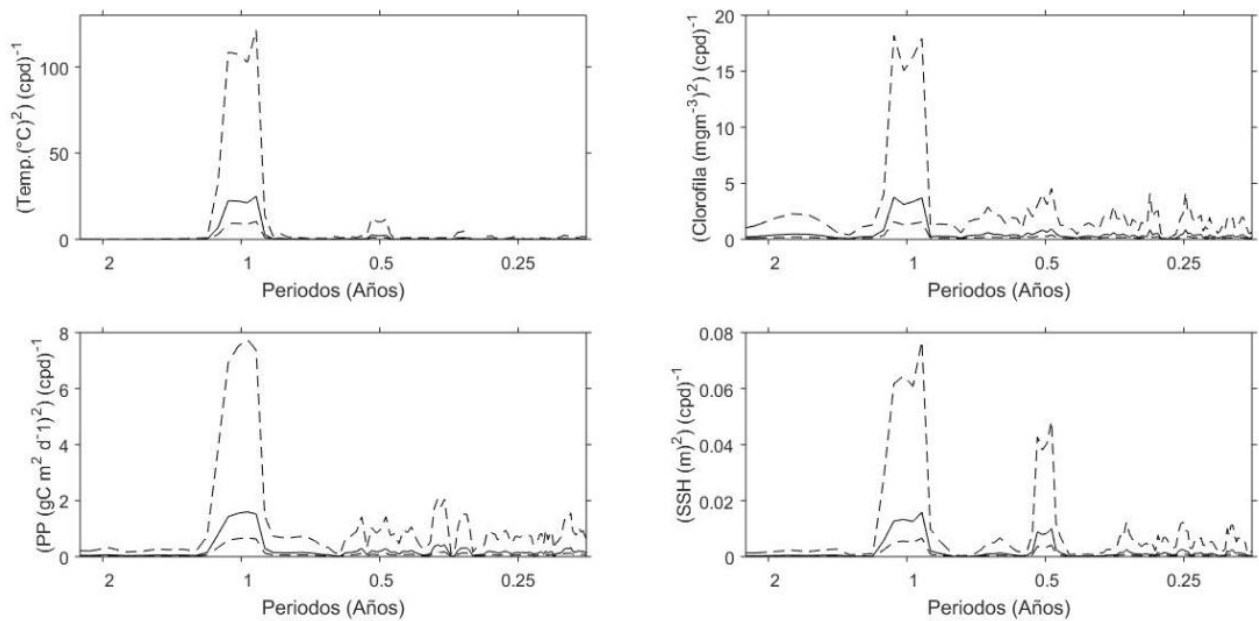
F. Análisis espectral para las variables de la serie T4ZI, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



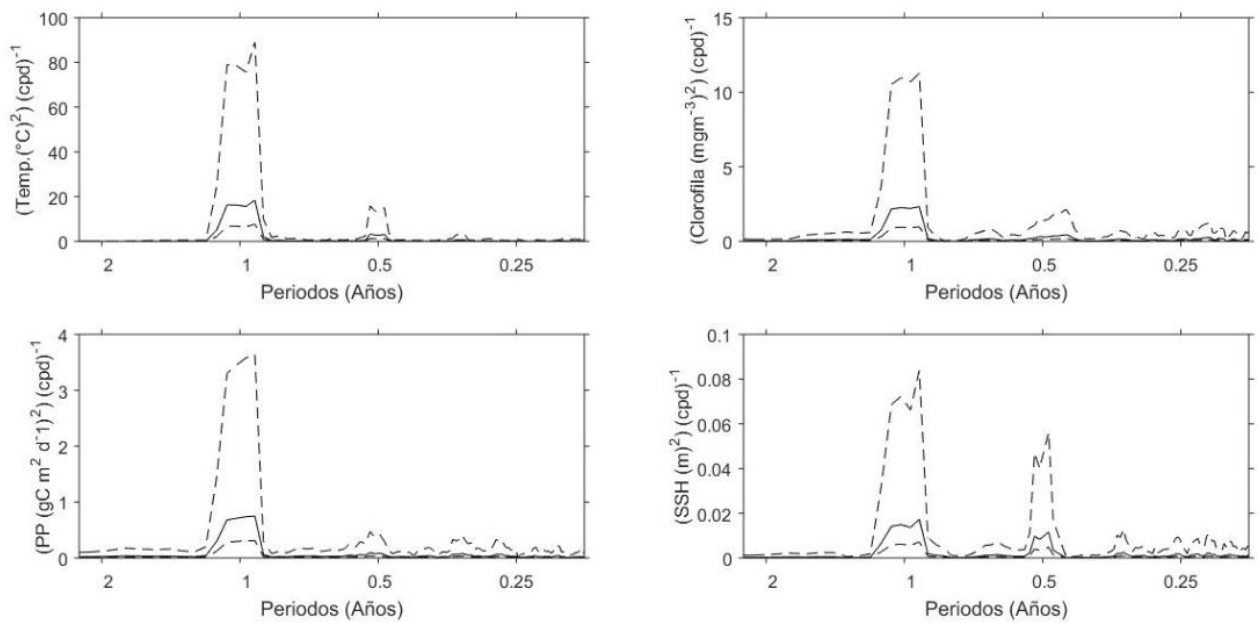
G. Análisis espectral para las variables de la serie T4ZE, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



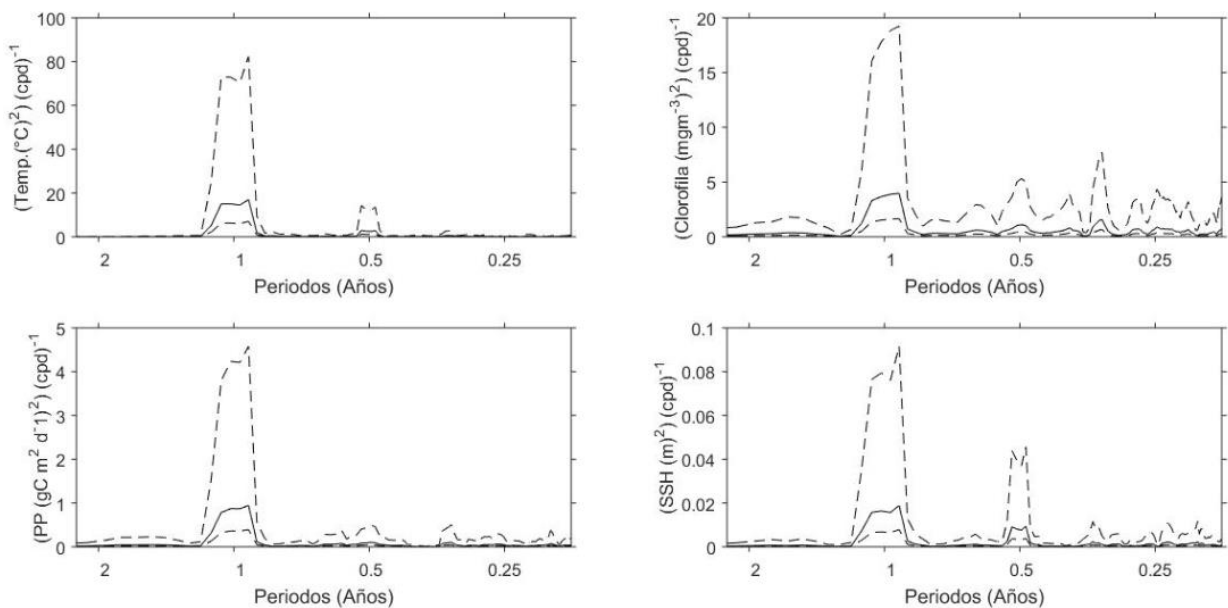
H. Análisis espectral para las variables de la serie T5ZN, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior derecho corresponde a SSH.



I. Análisis espectral para las variables de la serie T5ZC, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior izquierdo corresponde a SSH.

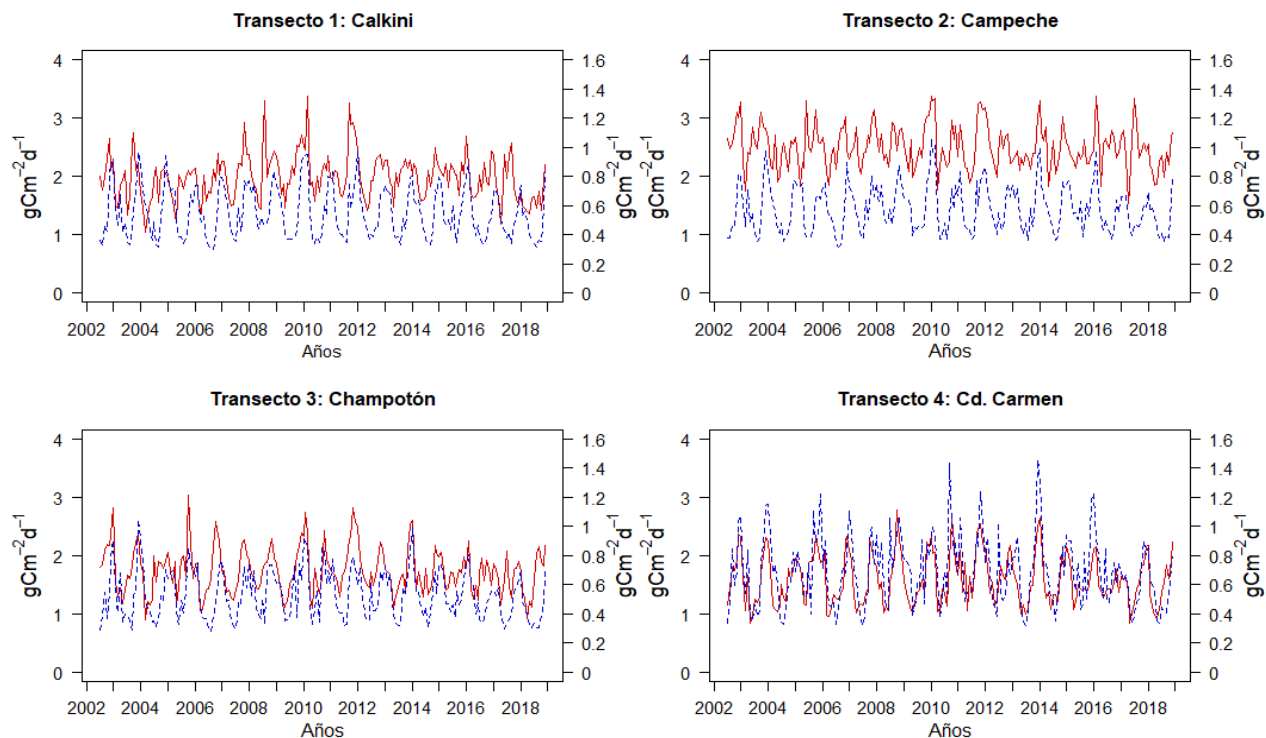


J. Análisis espectral para las variables de la serie T5ZC, panel superior izquierdo corresponde a SST, panel superior derecho corresponde a Chl_{sat} , panel inferior derecho corresponde a PP y panel inferior izquierdo corresponde a SSH.

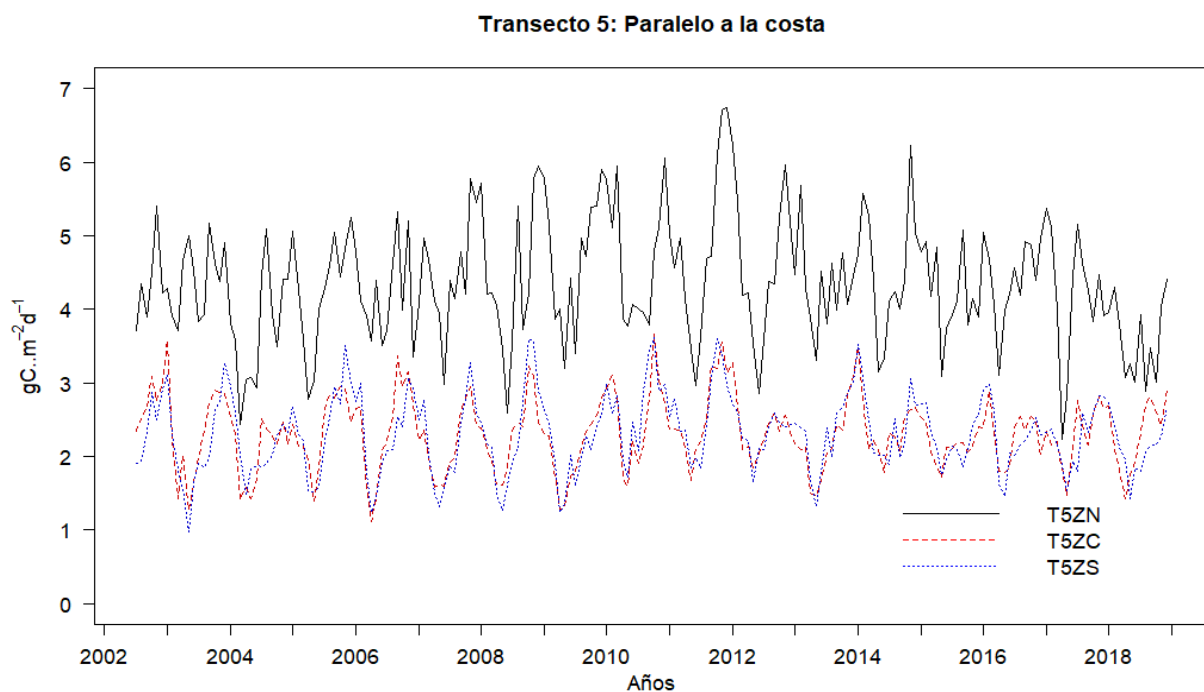


Anexo 3

A. Series temporales de productividad primaria para cada transecto. Las líneas rojas continuas representan la zona interior (T1ZI-T4ZI) y corresponden al eje vertical izquierdo, mientras que las líneas azules punteadas representan la zona exterior (T1ZE-T4ZE) y corresponden al eje vertical derecho.

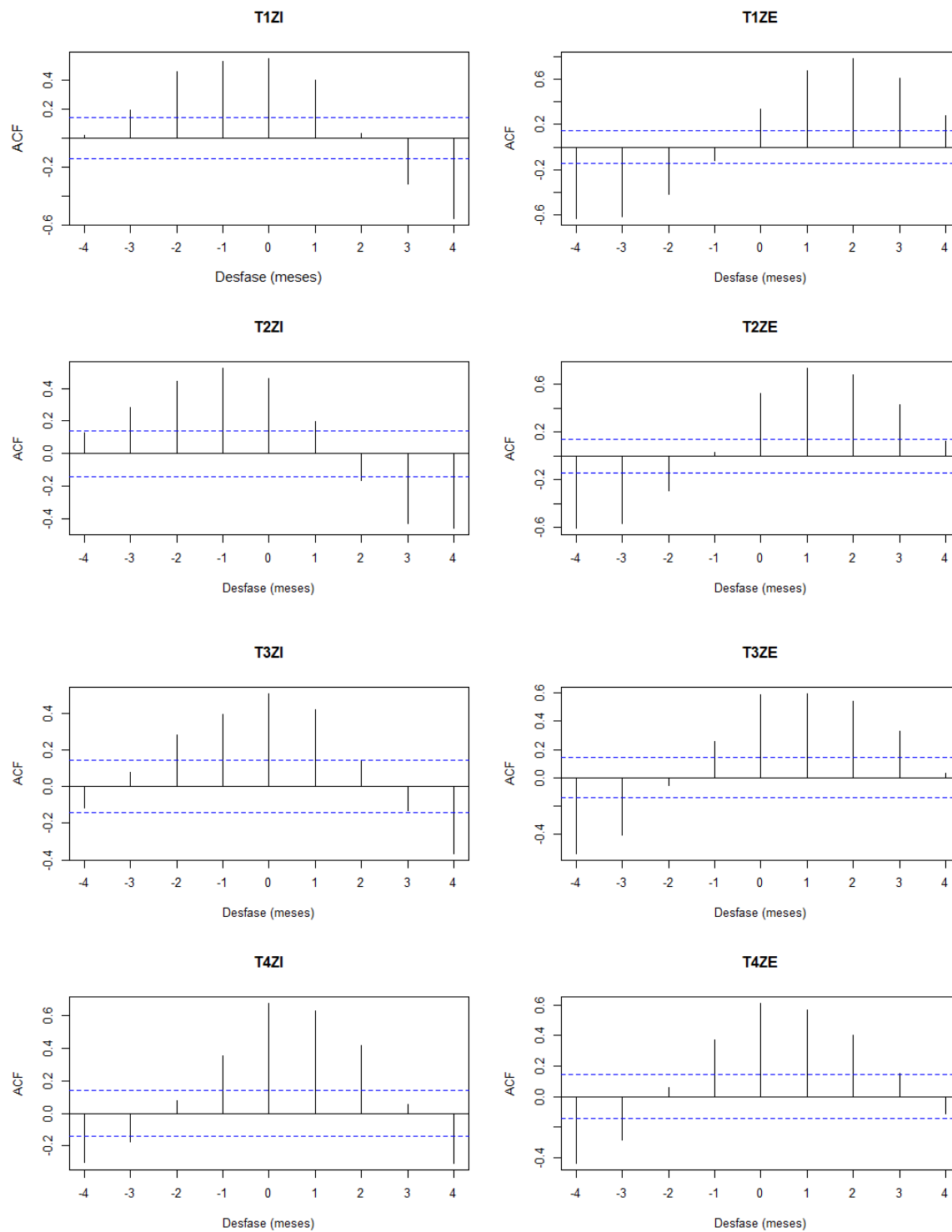


B. Series temporales de productividad primaria para el transecto 5.

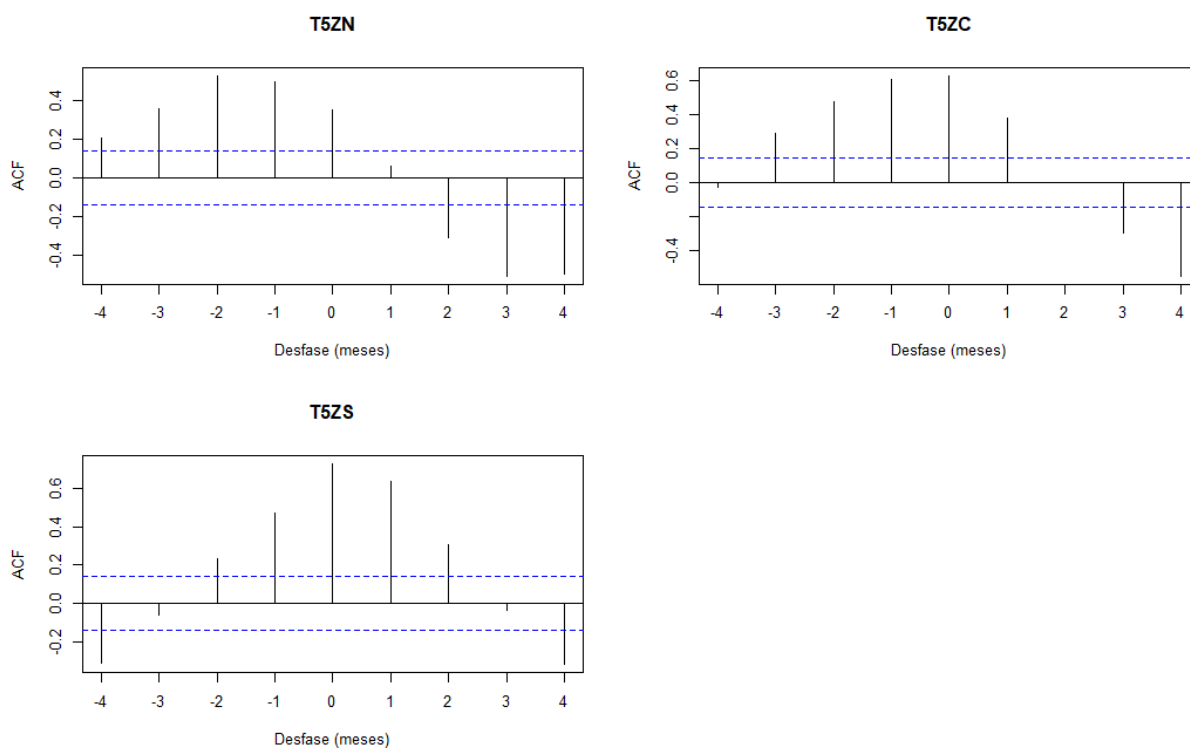


Anexo 4

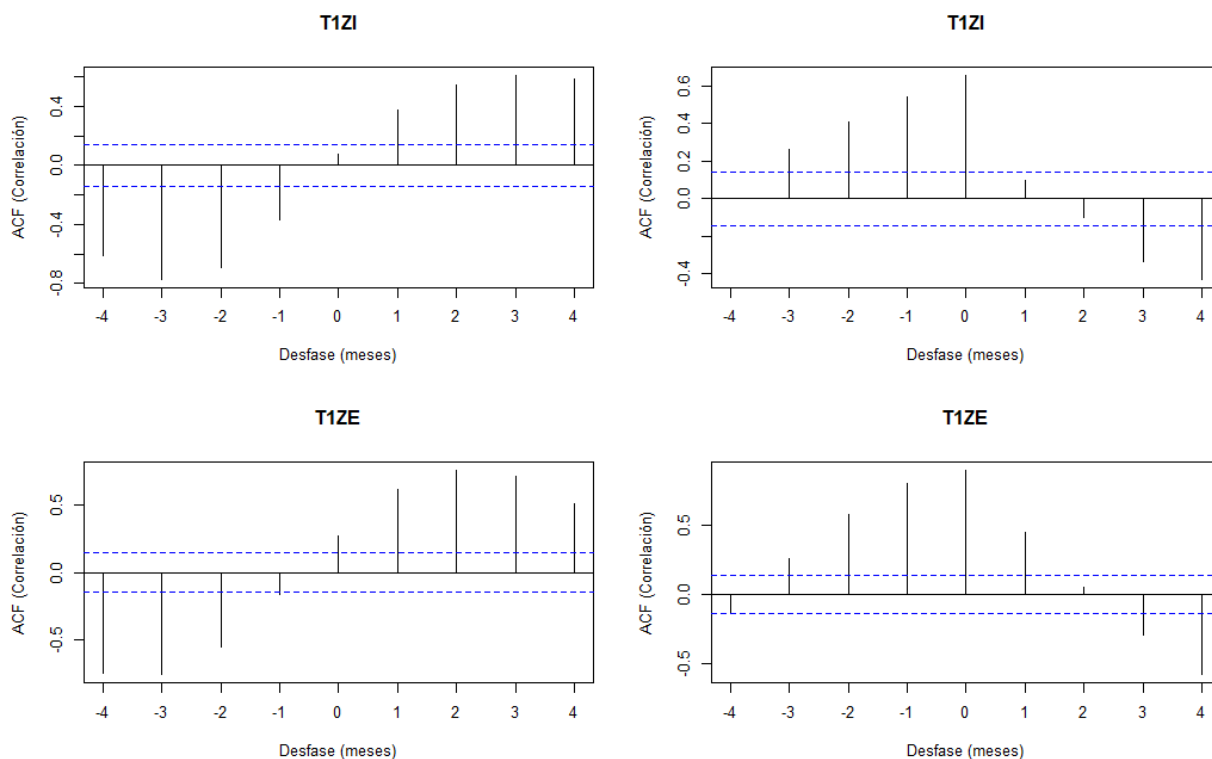
A. Correlogramas para las variables SSH- Chl_{sat} de cada una de las series temporales.



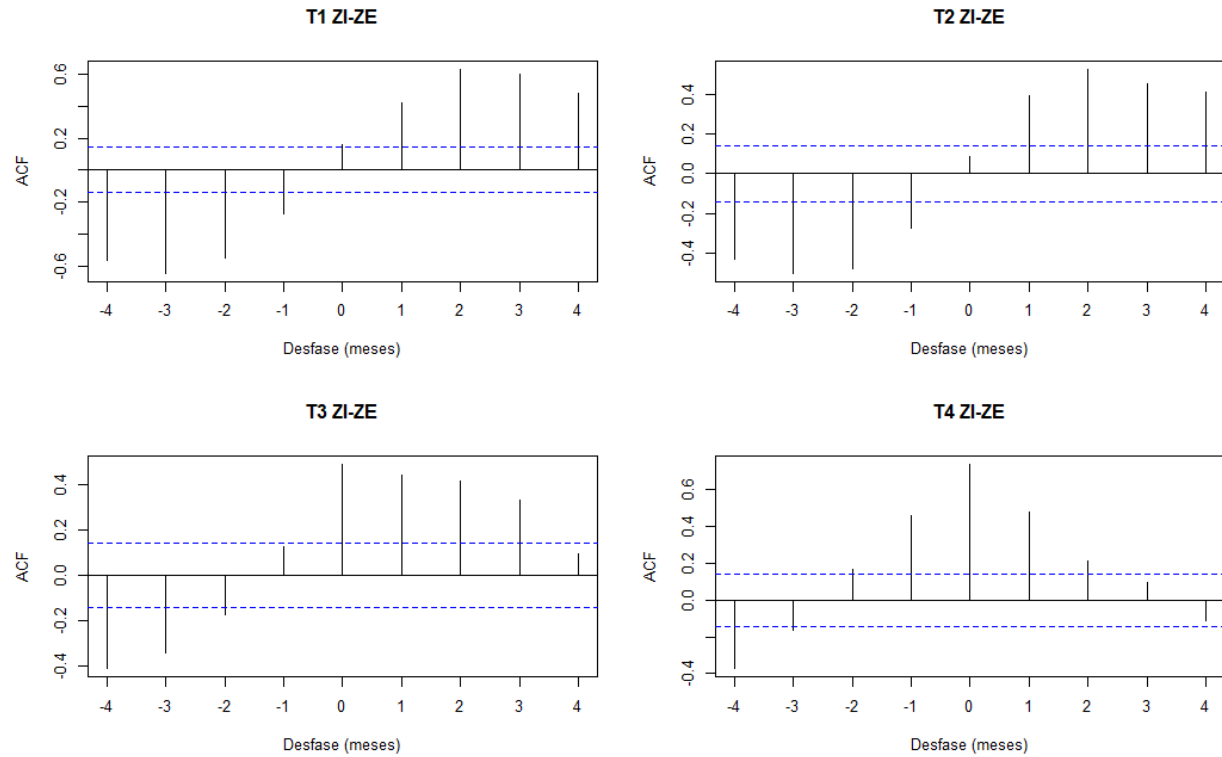
A. Continuación.



B. Correlogramas para las variables SST-SSH (panel superior e inferior izquierdo) y PP- Chl_{sat} (panel superior e inferior derecho). El comportamiento fue similar en todas las series, en este caso, solo se muestran como ejemplo los correspondientes al transecto 1.



C. Correlogramas para la Chl_{sat} de la zona interior y exterior de los transectos 1-4.



D. Coeficientes de correlación de Pearson obtenidas a partir del análisis de correlación cruzada. Los valores en negrita corresponden a correlaciones estadísticamente no significativas ($P > 0.05$). Los valores en rojo representan las máximas correlaciones para cada serie entre las variables.

Variables	Serie	Desfase (meses)								
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
SST- Chl_{sat} *	T5ZN	-0.62	-0.43	-0.14	0.23	0.58	0.67	0.61	0.40	0.12
	T5ZC	-0.73	-0.69	-0.48	-0.14	0.28	0.61	0.74	0.68	0.48
	T5ZS	-0.53	-0.69	-0.67	-0.46	-0.09	0.30	0.53	0.64	0.64
SSH- Chl_{sat} *	T5ZN	0.21	0.35	0.53	0.49	0.35	0.06	-0.31	-0.51	-0.50
	T5ZC	-0.03	0.29	0.48	0.61	0.63	0.38	0.00	-0.30	-0.55
	T5ZS	-0.31	-0.06	0.23	0.48	0.73	0.64	0.31	-0.04	-0.32

D. Continuación

Variables	Serie	Desfase (meses)								
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
SST-Chl _{sat} *	T1ZI	-0.65	-0.61	-0.42	-0.08	0.33	0.60	0.69	0.60	0.34
	T1ZE	-0.20	-0.58	-0.81	-0.85	-0.63	-0.18	0.25	0.59	0.78
	T2ZI	-0.61	-0.51	-0.27	0.08	0.46	0.64	0.62	0.48	0.25
	T2ZE	-0.28	-0.60	-0.76	-0.73	-0.49	-0.03	0.33	0.58	0.70
	T3ZI	-0.50	-0.56	-0.47	-0.25	0.09	0.44	0.60	0.60	0.43
	T3ZE	-0.41	-0.64	-0.71	-0.61	-0.33	0.09	0.41	0.64	0.69
	T4ZI	-0.42	-0.62	-0.66	-0.50	-0.15	0.24	0.52	0.61	0.56
	T4ZE	-0.44	-0.62	-0.63	-0.48	-0.19	0.17	0.43	0.59	0.60
SSH-Chl _{sat} *	T1ZI	0.02	0.19	0.46	0.53	0.55	0.40	0.03	-0.32	-0.54
	T1ZE	-0.63	-0.62	-0.42	-0.12	0.33	0.68	0.79	0.61	0.28
	T2ZI	0.13	0.29	0.44	0.52	0.46	0.20	-0.17	-0.43	-0.46
	T2ZE	-0.61	-0.57	-0.29	0.03	0.52	0.74	0.68	0.43	0.12
	T3ZI	-0.12	0.08	0.28	0.40	0.51	0.42	0.15	-0.13	-0.37
	T3ZE	-0.54	-0.41	-0.06	0.26	0.59	0.60	0.54	0.33	0.03
	T4ZI	-0.30	-0.17	0.08	0.35	0.68	0.63	0.42	0.05	-0.31
	T4ZE	-0.44	-0.28	0.06	0.37	0.61	0.57	0.40	0.15	-0.11

* Las variables SSH y SST corresponden a "x" en cada caso.

Anexo 5

A. Resultados del ANOVA bayesiano para las diferencias intraanuales (años), interanuales (estación) y su interacción (años-estaciones).

Serie	Variable	Factor		
		Años	Estaciones	Interacción
T1ZI	Chl _{sat}	1.15	>100	>100
	SST	1.03	>100	>100
	PP	>100	>100	>100
T2ZI	Chl _{sat}	1.05	>100	>100
	SST	1.01	>100	>100
	PP	1.23	>100	>100
T3ZI	Chl _{sat}	1.03	>100	>100
	SST	1.07	>100	>100
	PP	1.12	>100	>100
T4ZI	Chl _{sat}	1.11	>100	>100
	SST	1.04	>100	>100
	PP	1.09	>100	>100
T1ZE	Chl _{sat}	1.013	>100	>100
	SST	1.07	>100	>100
	PP	1.06	>100	>100
T2ZE	Chl _{sat}	1.017	>100	>100
	SST	1.012	>100	>100
	PP	1.05	>100	>100
T3ZE	Chl _{sat}	1.16	>100	>100
	SST	1.05	>100	>100
	PP	1.02	>100	>100
T4ZE	Chl _{sat}	1.09	>100	>100
	SST	1.09	>100	>100
	PP	1.25	>100	>100
T5ZN	Chl _{sat}	1.35	>100	>100
	SST	1.07	>100	>100
	PP	14.96	>100	>100
T5ZC	Chl _{sat}	1.128	>100	>100
	SST	1.04	>100	>100
	PP	1.35	>100	>100
T5ZS	Chl _{sat}	1.15	>100	>100
	SST	1.09	>100	>100
	PP	1.35	>100	>100

B. Factores de Bayes del análisis interanual a posteriori de la Chl_{sat} para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo ($BF > 30$). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2010	79.0	62.6	36.5	12.2	359.2	136.0	96.5	65.0
2003-2011	11.3	8.8	4.9	5.7	29.3	19.2	22.2	83.8
2003-2016	23.0	29.3	74.7	91.3	36.4	55.2	28.1	11.9
2003-2017	39.0	18.1	46.6	57.6	33.1	88.0	67.4	24.7
2003-2018	2.2	5.3	13.5	12.5	16.0	37.1	23.4	13.2
2004-2010	1112.7	270.6	274.0	32.2	168.4	419.2	175.4	42.9
2004-2013	46.0	23.3	51.0	273.4	2.9	3.0	2.2	3.5
2004-2015	3.2	8.9	8.5	31.3	30.3	9.9	6.2	24.4
2004-2016	243.1	524.9	684.8	6757.0	219.0	291.2	199.3	242.8
2004-2017	3242.5	444.2	879.4	949.8	232.8	460.6	144.9	122.5
2004-2018	3.8	11.9	21.6	27.0	66.8	51.0	23.8	43.9
2005-2010	254.3	96.9	114.9	144.4	1033.6	327.2	153.9	214.6
2005-2011	7.2	10.1	10.6	103.3	6.1	8.2	8.4	36.9
2005-2013	41.6	9.7	7.2	8.0	6.0	8.6	3.7	1.7
2005-2016	1031.3	235.4	209.4	249.6	1929.9	1741.2	402.3	206.3
2005-2017	25824.1	329.5	397.4	193.7	3377.1	8740.8	2629.4	176.5
2005-2018	5.4	7.7	10.3	4.8	225.9	125.4	47.3	15.8
2006-2010	43.0	66.8	90.4	15.3	212.3	222.3	74.6	36.1
2006-2012	27.6	5.9	23.4	118.6	14.9	8.0	13.8	27.2
2006-2013	192.4	38.1	45.6	157.3	4.9	7.3	15.9	40.0
2006-2015	11.7	22.7	14.9	27.6	51.9	10.8	8.8	20.3
2006-2016	5142.9	9939.4	6206.5	9458.6	389.6	401.8	527.8	486.3
2006-2017	18096.9	873.4	6689.1	2599.1	1806.8	4487.8	18422.4	9337.1
2006-2018	20.7	19.5	52.9	174.5	10118.7	2033.7	4209.9	6916.3
2007-2010	29.2	46.9	91.4	40.6	114.7	71.3	73.6	42.0
2007-2013	113.0	15.1	7.5	16.9	6.4	6.3	7.0	4.2
2007-2015	4.3	5.0	3.0	3.6	38.3	8.7	5.0	6.9
2007-2016	234.3	148.7	114.1	154.8	536.5	497.9	251.1	117.2
2007-2017	7379.2	523.9	1660.0	565.8	1737.2	2332.1	5368.0	4358.9
2007-2018	5.9	4.2	4.7	3.6	2633.5	427.8	470.9	124.8
2008-2010	65.3	43.1	37.1	14.1	114.1	213.8	60.8	33.8
2008-2016	48.7	55.7	96.8	68.7	81.4	54.3	58.6	27.5
2008-2017	918.4	315.5	535.6	606.7	1822.9	459.2	1252.6	351.2
2008-2018	3.8	6.0	8.3	6.4	295.3	67.3	73.4	30.8
2009-2010	211.6	293.3	1099.0	267.3	5674.6	5208.6	1774.6	997.8
2009-2011	5.7	14.7	6.4	11.2	14.1	23.2	21.6	43.1
2009-2013	61.5	42.6	37.9	22.2	1.8	1.8	1.3	1.4
2009-2016	2599.7	1737.6	2809.2	909.1	914.6	600.1	178.2	103.5
2009-2017	7610.5	820.2	1262.6	243.8	275.9	227.5	87.2	58.8

2009-2018	4.7	10.2	24.6	11.4	68.0	36.2	20.7	8.0
2010-2012	117.1	67.3	150.8	74.5	264.0	150.0	147.8	119.9
2010-2013	3447.6	813.4	618.6	237.1	401.2	394.5	190.0	111.0
2010-2014	24.2	30.5	35.9	15.7	69.7	39.3	21.8	10.7
2010-2015	37.5	75.2	93.7	41.2	627.5	191.9	90.7	71.3
2010-2016	2316.1	869.2	2734.2	1120.3	10886.6	6372.7	3440.6	1899.7
2010-2017	29746.1	4025.3	4605.7	1369.2	11088.1	8801.6	3630.9	1698.8
2010-2018	145.7	361.5	540.0	114.1	4619.6	2364.0	1065.5	419.7
2011-2012	65.3	75.9	145.6	370.3	50.0	61.6	63.9	587.3
2011-2013	228.4	245.8	222.1	581.3	26.4	76.2	47.5	82.4
2011-2014	12.8	22.2	32.5	18.2	10.5	15.3	5.3	3.9
2011-2015	33.5	182.9	121.4	123.9	356.3	116.8	64.0	203.9
2011-2016	1095.0	3507.8	5429.6	4291.5	1494.7	3071.4	9236.3	12309.1
2011-2017	1891.4	2191.0	1702.9	1566.4	666.4	1502.1	1370.7	1536.2
2011-2018	113.0	916.9	1441.5	5923.1	658.9	871.2	1286.6	2239.8
2012-2016	14.2	32.4	33.5	40.4	34.6	46.6	38.0	14.9
2012-2017	99.9	47.3	52.1	30.7	141.0	743.6	517.3	76.0
2012-2018	1.3	2.3	1.9	1.4	317.4	550.1	102.5	12.0
2013-2016	12.1	20.1	87.8	65.0	563.7	328.0	179.2	69.1
2013-2017	45.3	9.1	33.0	12.1	1680.7	470.9	1006.9	898.1
2013-2018	5.2	2.3	1.2	3.0	193.6	94.0	5550.0	161.4
2014-2016	50.2	42.1	59.9	70.7	58.6	52.1	78.7	85.5
2014-2017	360.4	75.5	97.6	182.2	365.4	456.0	1759.0	935.6
2014-2018	8.2	6.1	6.7	5.1	99.1	51.2	58.7	72.5
2015-2016	20.7	34.6	144.7	105.3	12.8	25.3	41.2	13.5
2016-2018	23.7	29.4	47.7	87.6	7.6	6.5	6.7	4.5
2017-2018	94.9	19.3	20.3	18.3	8.4	16.1	11.1	6.0

C. Factores de Bayes del análisis interanual posteriori de la SST para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2010	79.0	62.6	36.5	12.2	359.2	136.0	96.5	65.0
2003-2011	11.3	8.8	4.9	5.7	29.3	19.2	22.2	83.8
2003-2016	23.0	29.3	74.7	91.3	36.4	55.2	28.1	11.9
2003-2017	39.0	18.1	46.6	57.6	33.1	88.0	67.4	24.7
2003-2018	2.2	5.3	13.5	12.5	16.0	37.1	23.4	13.2
2004-2010	1112.7	270.6	274.0	32.2	168.4	419.2	175.4	42.9
2004-2013	46.0	23.3	51.0	273.4	2.9	3.0	2.2	3.5
2004-2015	3.2	8.9	8.5	31.3	30.3	9.9	6.2	24.4
2004-2016	243.1	524.9	684.8	6757.0	219.0	291.2	199.3	242.8
2004-2017	3242.5	444.2	879.4	949.8	232.8	460.6	144.9	122.5
2004-2018	3.8	11.9	21.6	27.0	66.8	51.0	23.8	43.9
2005-2010	254.3	96.9	114.9	144.4	1033.6	327.2	153.9	214.6

2005-2011	7.2	10.1	10.6	103.3	6.1	8.2	8.4	36.9
2005-2013	41.6	9.7	7.2	8.0	6.0	8.6	3.7	1.7
2005-2016	1031.3	235.4	209.4	249.6	1929.9	1741.2	402.3	206.3
2005-2017	25824.1	329.5	397.4	193.7	3377.1	8740.8	2629.4	176.5
2005-2018	5.4	7.7	10.3	4.8	225.9	125.4	47.3	15.8
2006-2010	43.0	66.8	90.4	15.3	212.3	222.3	74.6	36.1
2006-2012	27.6	5.9	23.4	118.6	14.9	8.0	13.8	27.2
2006-2013	192.4	38.1	45.6	157.3	4.9	7.3	15.9	40.0
2006-2015	11.7	22.7	14.9	27.6	51.9	10.8	8.8	20.3
2006-2016	5142.9	9939.4	6206.5	9458.6	389.6	401.8	527.8	486.3
2006-2017	18096.9	873.4	6689.1	2599.1	1806.8	4487.8	18422.4	9337.1
2006-2018	20.7	19.5	52.9	174.5	10118.7	2033.7	4209.9	6916.3
2007-2010	29.2	46.9	91.4	40.6	114.7	71.3	73.6	42.0
2007-2013	113.0	15.1	7.5	16.9	6.4	6.3	7.0	4.2
2007-2015	4.3	5.0	3.0	3.6	38.3	8.7	5.0	6.9
2007-2016	234.3	148.7	114.1	154.8	536.5	497.9	251.1	117.2
2007-2017	7379.2	523.9	1660.0	565.8	1737.2	2332.1	5368.0	4358.9
2007-2018	5.9	4.2	4.7	3.6	2633.5	427.8	470.9	124.8
2008-2010	65.3	43.1	37.1	14.1	114.1	213.8	60.8	33.8
2008-2016	48.7	55.7	96.8	68.7	81.4	54.3	58.6	27.5
2008-2017	918.4	315.5	535.6	606.7	1822.9	459.2	1252.6	351.2
2008-2018	3.8	6.0	8.3	6.4	295.3	67.3	73.4	30.8
2009-2010	211.6	293.3	1099.0	267.3	5674.6	5208.6	1774.6	997.8
2009-2011	5.7	14.7	6.4	11.2	14.1	23.2	21.6	43.1
2009-2013	61.5	42.6	37.9	22.2	1.8	1.8	1.3	1.4
2009-2016	2599.7	1737.6	2809.2	909.1	914.6	600.1	178.2	103.5
2009-2017	7610.5	820.2	1262.6	243.8	275.9	227.5	87.2	58.8
2009-2018	4.7	10.2	24.6	11.4	68.0	36.2	20.7	8.0
2010-2012	117.1	67.3	150.8	74.5	264.0	150.0	147.8	119.9
2010-2013	3447.6	813.4	618.6	237.1	401.2	394.5	190.0	111.0
2010-2014	24.2	30.5	35.9	15.7	69.7	39.3	21.8	10.7
2010-2015	37.5	75.2	93.7	41.2	627.5	191.9	90.7	71.3
2010-2016	2316.1	869.2	2734.2	1120.3	10886.6	6372.7	3440.6	1899.7
2010-2017	29746.1	4025.3	4605.7	1369.2	11088.1	8801.6	3630.9	1698.8
2010-2018	145.7	361.5	540.0	114.1	4619.6	2364.0	1065.5	419.7
2011-2012	65.3	75.9	145.6	370.3	50.0	61.6	63.9	587.3
2011-2013	228.4	245.8	222.1	581.3	26.4	76.2	47.5	82.4
2011-2014	12.8	22.2	32.5	18.2	10.5	15.3	5.3	3.9
2011-2015	33.5	182.9	121.4	123.9	356.3	116.8	64.0	203.9
2011-2016	1095.0	3507.8	5429.6	4291.5	1494.7	3071.4	9236.3	12309.1
2011-2017	1891.4	2191.0	1702.9	1566.4	666.4	1502.1	1370.7	1536.2
2011-2018	113.0	916.9	1441.5	5923.1	658.9	871.2	1286.6	2239.8
2012-2016	14.2	32.4	33.5	40.4	34.6	46.6	38.0	14.9
2012-2017	99.9	47.3	52.1	30.7	141.0	743.6	517.3	76.0
2012-2018	1.3	2.3	1.9	1.4	317.4	550.1	102.5	12.0

2013-2016	12.1	20.1	87.8	65.0	563.7	328.0	179.2	69.1
2013-2017	45.3	9.1	33.0	12.1	1680.7	470.9	1006.9	898.1
2013-2018	5.2	2.3	1.2	3.0	193.6	94.0	5550.0	161.4
2014-2016	50.2	42.1	59.9	70.7	58.6	52.1	78.7	85.5
2014-2017	360.4	75.5	97.6	182.2	365.4	456.0	1759.0	935.6
2014-2018	8.2	6.1	6.7	5.1	99.1	51.2	58.7	72.5
2015-2016	20.7	34.6	144.7	105.3	12.8	25.3	41.2	13.5
2016-2018	23.7	29.4	47.7	87.6	7.6	6.5	6.7	4.5
2017-2018	94.9	19.3	20.3	18.3	8.4	16.1	11.1	6.0

D. Factores de Bayes del análisis posteriori de la Chl_{sat} de la temporada de secas para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2004	271.8	2.8	1.1	211.4	3.2	3.9	1.9	2.1
2003-2009	4.5	3.0	1.7	93.5	2.8	2.0	1.5	1.1
2003-2011	1.5	1.5	1898.6	35.0	3.0	4.9	1.0	1.2
2003-2012	1.4	1.3	87.2	3543.8	2.0	1.9	2.1	1.7
2003-2013	6.2	6.9	4.2	90.0	1.1	1.9	1.0	2.0
2003-2014	1.2	129.2	56.9	744.0	1.8	2.3	1.8	6.1
2003-2015	10.3	23.9	241.9	181.9	1.3	1.0	4.1	7.2
2003-2016	4.0	12.3	33.9	7.9	1.5	4.3	3.7	5.2
2003-2017	2.6	30.8	2637.0	65.0	1.8	1.0	1.4	1.3
2003-2018	6.2	3.3	299.6	5.2	2.9	3.3	4.7	3.9
2004-2009	6.0	1.1	1.0	31.8	1.7	3.4	1.3	3.1
2004-2010	174.1	4.3	3.8	5.2	2.5	2.2	2.9	1.7
2004-2011	11.3	4.9	58.3	22.5	1.8	5.3	5.1	1.7
2004-2012	7.4	1.9	9.5	1278.3	2.6	8.3	1.3	6.2
2004-2014	9.8	19.7	51.0	119.3	127.4	49.4	17.1	6.8
2004-2015	55.6	24.1	36.7	72.8	2.5	44.1	69.5	10.1
2004-2016	37.9	17.4	12.8	5.5	2.8	1.3	14.9	4.7
2004-2017	13.3	55.0	43.2	12.3	15.5	11.2	1.5	2.4
2004-2018	2.4	4.8	2.6	14.8	1.1	1.2	7.3	33.4
2005-2011	6.3	3.7	787.6	30.5	6.9	4.4	2.5	2.1
2005-2012	10.8	5.1	39.2	5.3	3.5	2.6	9.9	16.1
2005-2014	4.9	61.4	24.1	3.5	1.4	2.6	1.1	2.4
2005-2015	271.2	24.3	119.1	14.9	1.7	1.1	4.7	6.1
2005-2016	63.6	13.3	121.1	4.0	3.5	4.1	1.5	3.9
2005-2017	21.8	18.7	190.8	2.9	2.0	1.0	8.2	2.7
2006-2011	10.4	11.1	91.4	11.9	3.1	18.6	50.6	65.8
2006-2014	14.3	13.4	11.4	4.7	10.4	30.4	32.2	10.8
2006-2015	13.6	45.2	149.1	103.0	3.2	59.2	4952.2	173.2
2006-2016	12.8	16.7	123.5	7.8	1.4	11.1	19.9	9.7
2006-2017	4.6	9.0	43.5	3.1	9.0	4.1	2.4	2.6

2007-2014	2.7	31.5	16.3	6.1	42.2	232.6	198.3	75.6
2007-2015	13.4	36.6	132.0	184.6	2.1	14.5	75.6	57.8
2007-2016	19.8	27.7	11.5	5.8	4.7	3.7	58.5	8.7
2007-2017	3.6	9.4	43.0	3.4	125.7	9.6	2.1	10.0
2007-2018	104.0	3.5	1.0	5.4	2.1	26.6	91.4	1.7
2008-2009	3.7	6.8	7.5	5.0	51.7	2.7	53.2	3.8
2008-2011	4.7	1.4	41.5	19.0	26.0	83.5	1.3	1.4
2008-2014	1.4	81.6	35.8	19.0	1.6	8.2	2.9	4.1
2008-2015	5.5	6.5	7.1	37.4	2.0	6.2	47.4	10.5
2008-2017	2.2	7.2	8.0	22.1	43.5	3.2	5.7	1.9
2009-2010	2.1	52.0	2.6	1.0	4.1	1.6	6.5	2.1
2009-2011	10.7	4.5	3961.6	11.9	1.1	6.3	4.2	2.5
2009-2012	2.5	4.2	126.5	3.2	5.5	1.4	3.3	4.7
2009-2013	1.2	1.6	2.6	48.0	136.8	1.1	10.8	3.9
2009-2014	3.7	55.5	27.7	1.3	29.2	8.0	12.1	14.0
2009-2015	14.8	146.0	153.8	23.9	3.2	3.9	115.1	45.4
2009-2016	101.8	39.6	43.1	4.2	140.1	3.2	8.5	7.4
2009-2017	4.0	11.7	315.3	1.1	215.8	5.8	1.5	1.8
2009-2018	2.8	3.2	24.9	41.2	2.0	2.5	7.4	12.0
2010-2011	2.5	1.8	60.9	5.8	3.6	2.9	2.2	1.0
2010-2015	10.9	76.6	32.5	79.8	1.4	1.3	4.2	11.7
2010-2016	5.3	5.6	20.0	3.8	2.1	2.2	1.3	5.1
2011-2012	1.7	1.1	178.1	10.2	17.9	7.2	65.0	22.8
2011-2013	4.1	2.9	222.4	19.8	28.9	7.4	1.0	1.9
2011-2014	2.1	6.7	1.7	10.3	44.0	29.6	10.0	4.3
2011-2015	3.9	17.3	6.1	1.6	4.0	77.1	429.6	54.4
2011-2017	1.7	5.6	40.7	10.4	94.9	12.0	2.6	1.1
2011-2018	7.1	1.8	2343.1	49.2	2.5	1.7	40.6	7.4
2012-2013	2.7	2.0	16.4	178.5	4.2	1.6	16.4	11.7
2012-2014	1.3	11.9	5.7	2.8	32.0	315.5	155.0	15.9
2012-2015	24.1	6.1	3.7	17.4	2.1	4.3	297.8	43.8
2012-2018	27.6	1.8	48.0	532.4	5.6	20.4	10.0	1.9
2013-2014	2.6	78.4	19.3	12.8	4.7	12.2	4.9	3.7
2013-2015	34.1	78.1	4552.1	53.2	1.2	20.6	53.4	6.4
2013-2016	162.8	24.5	56.9	5.5	16.0	2.8	3.5	4.0
2013-2017	5.6	61.4	318.9	4.6	40.9	8.4	22.7	4.3
2014-2016	3.7	6.5	3.4	3.6	7.0	56.5	1.8	3.6
2014-2017	2.2	1.0	3.0	1.2	1.5	3.6	8.2	63.4
2014-2018	7.8	1.7	27.0	77.9	137.5	232.0	634.2	1598.9
2015-2016	6.1	11.9	15.5	1.7	1.2	34.7	4.6	2.7
2015-2017	9.5	1.2	3.5	17.0	3.5	1.2	45.0	12.3
2015-2018	28.0	1.4	91.7	53.0	2.8	25.3	189.8	41.6
2016-2017	1.5	2.8	4.2	3.3	69.7	9.9	4.9	5.3
2016-2018	81.0	1.1	13.4	6.3	4.0	1.1	144.5	8.8
2017-2018	6.3	2.1	473.6	25.5	27.0	30.1	5.8	72.9

E. Factores de Bayes del análisis posteriori de la ChI_{sat} de la temporada de lluvias para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2006	6.2	4.0	17.3	1.5	25.7	216.7	1.8	1.5
2003-2007	3.0	55.4	5.9	17.5	1.6	14.4	1.3	3.2
2003-2008	2.6	1.1	94.4	50.4	2581.8	64.9	5.8	9.2
2003-2009	2.0	30.5	3.8	2.7	2.5	5.8	3.4	1.7
2003-2011	2.9	1.9	37.0	28.0	4.7	5.0	2.7	4.6
2003-2012	3.0	26.5	1.2	14.2	2.4	249.9	6.0	3.0
2003-2014	5.4	86.9	5.6	9.1	9.5	2.2	2.6	1.8
2003-2015	3.0	48.7	2.7	5.4	1.2	82.6	1.9	1.3
2003-2017	2.0	1.1	1.0	18.3	3.6	633.6	2.1	1.0
2003-2018	6.7	43.2	10.6	84.6	7.1	1.7	6.5	6.2
2004-2014	1.3	8.3	40.0	3.8	4.7	1.0	9.3	8.7
2004-2016	1.8	7.3	3.6	9.8	5.2	1.6	1.5	313.9
2004-2017	2.1	251.3	3.8	1.6	2.0	4.5	1.6	20.6
2005-2008	9.3	4.9	3.3	4.7	1028.4	10.7	5.7	1.9
2005-2014	2.2	211.6	4.9	10.7	11.9	4.5	8.5	22.5
2005-2015	1.1	71.5	4.6	5.4	1.7	1.4	5.2	2.8
2005-2017	2.0	72.9	4.2	10.1	3.9	2.2	10.1	9.8
2006-2007	61.6	2.4	22.8	9.1	26.6	63.8	2.3	1.5
2006-2008	12.4	3.9	3.9	28.6	240.8	120.2	75.6	37.7
2006-2009	11.2	2.5	5.5	5.2	12.2	39.6	6.0	1.6
2006-2010	1.6	1.5	10.5	13.4	19.5	44.9	31.8	7.3
2006-2011	10.6	71.0	3.0	17.0	7.0	9.3	9.8	8.5
2006-2012	15.6	3.1	6.9	49.3	66.0	317.6	5.5	2.6
2006-2014	3.9	10.2	13.6	21.3	26.7	44.1	11.1	4.3
2006-2015	2.0	3.6	10.8	9.3	35.9	333.4	4.9	1.2
2006-2017	3.8	3.5	4.9	15.9	33.2	681.4	1.2	1.6
2006-2018	5.3	5.3	1.5	54.4	2.3	2.4	2.5	11.4
2007-2008	8.5	4.8	7.8	26.8	127.3	21.5	23.1	5.9
2007-2011	6.2	10.2	45.6	6.8	5.5	2.0	7.8	2.7
2007-2014	17.7	17.3	7.0	5.7	14.2	43.7	3.7	3.7
2008-2009	4.2	5.1	19.4	13.3	58.5	24.0	1.9	8.0
2008-2010	9.5	5.0	4.5	3.5	45.4	289.3	22.6	4.2
2008-2011	1.8	1.6	3.5	136.0	2.0	6.5	1.8	13.8
2008-2012	5.5	5.9	21.9	3.6	73.4	13.8	1.4	2.0
2008-2013	6.0	4.3	32.2	22.9	8.4	53.1	7.9	84.3
2008-2014	12.0	30.6	189.7	20.7	142.1	79.5	10.9	20.5
2008-2015	17.1	8.2	115.2	15.8	14.6	46.5	2.9	14.8
2008-2016	14.5	4.6	13.9	20.9	52.4	27.1	14.2	8.5
2008-2017	8.8	1.1	6.9	18.0	18.9	35.2	10.7	12.6

2008-2018	18.3	21.4	3.3	17.3	81.2	37.1	12.3	56.6
2009-2013	1.9	2.0	33.5	13.2	5.4	2.5	3.5	1.3
2009-2014	10.5	20.7	356.4	1.2	6.6	35.7	2.9	2.5
2009-2015	3.8	5.8	253.2	4.2	3.2	2.1	6.0	1.6
2009-2018	11.4	2.9	7.1	6.1	51.4	26.1	6.4	5.7
2010-2014	1.2	230.8	3.0	10.5	10.6	19.8	25.0	7.8
2010-2017	2.8	30.4	1.3	10.1	1.5	6.7	20.7	6.3
2011-2014	9.3	20.5	45.3	10.9	6.4	6.6	2.4	7.7
2011-2018	13.8	16.0	1.9	7.5	7.0	7.0	5.8	44.0
2012-2013	1.0	1.1	16.3	57.5	3.8	4.5	2.1	2.3
2012-2014	12.8	6.8	9.2	14.2	36.5	48.1	2.8	3.5
2012-2017	1.1	32.7	1.4	8.0	5.6	115.5	4.8	3.3
2012-2018	20.8	1.4	14.6	2.3	79.9	10.3	11.2	12.7
2013-2018	29.4	1.3	28.4	34.5	9.2	8.0	6.5	13.9
2014-2015	1.7	18.4	67.3	2.2	19.9	54.4	1.4	1.9
2014-2016	2.8	26.1	5.7	3.6	1.4	1.7	5.4	48.8
2014-2017	3.1	4361.6	3.9	6.5	13.2	23.9	8.4	1.8
2015-2016	3.8	6.1	3.0	4.3	39.3	7.9	4.0	1.2
2015-2017	2.1	94.2	2.3	1.5	1.9	5.3	2.5	1.3
2016-2018	56.2	47.8	11.2	23.4	3.8	3.8	6.0	20.7
2017-2018	7.1	36.4	6.7	6.4	11.3	5.0	2.8	10.8

F. Factores de Bayes del análisis posteriori de la Chl_{sat} de la temporada de frentes fríos para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo ($BF > 30$). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2007	60.3	3.9	2.9	5.0	2.1	1.3	3.0	2.1
2003-2015	38.3	1.2	2.9	1.1	1.8	3.0	4.9	1.6
2003-2018	1.8	2.6	13.0	1.6	26.1	312.9	17.7	17.0
2004-2005	4.8	12.3	1.6	3.2	38.5	3.3	1.1	1.7
2004-2006	13.0	5.4	1.5	2.7	32.6	3.0	4.0	4.2
2004-2007	224.6	9.7	14.8	8.9	3.2	1.1	1.4	4.5
2004-2011	4.0	2.8	7.1	1.5	53.3	1.4	1.0	2.0
2004-2018	1.4	12.0	4.1	1.2	73.5	3.5	9.4	11.6
2005-2006	9.0	24.8	1.1	264.3	2.2	1.9	5.7	4.2
2005-2010	30.9	14.7	4.8	6.5	3.2	4.5	1.7	2.1
2005-2014	19.3	288.7	16.0	1.2	2.7	12.1	2.3	1.6
2005-2015	10.2	25.4	2.2	3.5	36.0	56.8	2.3	4.8
2005-2016	589.5	45.2	4.4	1.2	1.8	4.7	1.0	1.7
2005-2017	4.6	35.8	3.2	20.2	2.2	1.2	10.8	2.6
2006-2007	19.8	3.6	5.4	39.1	34.9	5.9	3.9	12.1
2006-2010	4.1	4.6	3.6	5.5	3.6	3.5	40.1	40.2

2006-2012	5.6	1.1	11.1	282.3	12.2	8.1	3.1	14.4
2006-2015	7.7	1.5	2.0	4.9	778.8	10.2	7.2	4.6
2007-2011	61.9	3.2	4.0	2.8	3.6	3.2	1.2	1.5
2007-2013	3.7	57.9	1.6	1.5	3.5	1.3	1.0	1.2
2007-2015	1.8	13.4	2.7	52.8	1.2	2.5	1.6	1.2
2007-2018	50.3	5.1	35.1	15.6	6.7	19.0	4.9	8.9
2008-2012	1.2	3.1	20.7	31.4	1.7	1.0	1.7	2.5
2008-2014	4.4	819.8	13.4	2.6	10.5	1.1	5.1	3.0
2008-2016	37.6	101.2	2.6	2.0	2.6	1.3	1.2	1.6
2009-2018	5.5	68.0	7.5	1.1	22.3	7.4	1.3	1.7
2010-2014	3.2	82.0	1.1	4.8	1.7	1.6	2.0	3.6
2010-2016	40.5	5.6	3.4	3.5	2.2	2.3	5.4	1.0
2011-2015	58.3	1.8	3.5	1.3	3.4	1.4	1.8	1.1
2012-2016	41.1	1.2	21.4	1.3	2.7	1.6	2.3	1.8
2012-2017	1.6	1.6	92.2	24.2	8.0	45.4	1.5	1.2
2014-2016	14.8	34.8	5.7	12.9	1.2	1.4	4.6	6.0
2014-2017	3.7	82.3	22.1	2.7	2.0	42.9	5.4	3.4
2015-2017	5.0	1.5	1.2	1.4	38.2	4.0	1.9	3.3
2016-2017	47.6	4.0	4.0	2.2	1.6	6.3	2.4	1.3

G. Factores de Bayes del análisis posteriori de la SST de la temporada de secas para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2004	15.3	6.9	7.0	9.5	28.3	16.6	20.6	31.7
2003-2005	19.7	18.4	7.1	9.2	17.7	19.8	32.5	17.5
2004-2006	14.5	16.2	47.2	7.4	549.0	74.2	30.3	35.9
2004-2007	1.8	1.8	8.8	3.6	13630.7	6.6	509.4	155.5
2004-2008	1.3	1.3	2.0	2.0	53.5	9.5	2.7	6.1
2004-2011	2.7	4.9	21.5	13.5	37.9	6.1	20.7	65.0
2004-2012	17.4	8.1	197.7	69.5	217.4	43.1	650.1	252.3
2004-2013	5.1	1.9	17.8	12.3	41.2	11.2	346.1	63.3
2004-2015	5.1	8.4	13.0	15.2	69.8	8.3	15.5	45.4
2004-2016	152.0	390.6	557.8	222.4	91.2	125.4	189.1	45.3
2004-2017	84.1	121.5	34.2	14.6	155.5	204.4	119.3	56.2
2004-2018	13.2	19.8	2719.3	249.8	4491.0	314.1	621.0	235.0
2005-2012	8.8	3.3	5.0	38.9	11.4	9.7	20.4	41.4
2005-2016	20.5	13.1	8.2	23.8	91.6	65.1	23.7	24.2
2005-2017	136.4	5.3	5.6	11.7	65.4	71.1	84.4	41.7
2005-2018	4.6	3.6	3.5	7.8	30.4	26.2	21.1	19.0
2006-2007	6.5	7.7	33.5	4.2	12.3	10.7	1.9	1.4
2006-2008	209.5	15.7	14.0	12.0	5.4	1.4	2.2	1.6

2006-2012	7.9	2.7	15.5	242.2	20.7	9.4	29.6	336.4
2006-2016	68.9	71.2	146.6	1917.0	16.7	32.2	60.5	30.6
2006-2017	9.9	8.4	10.5	6.4	12.7	26.1	50.9	30.4
2006-2018	5.5	4.0	27.2	261.7	1488.7	721.8	1359.3	184.4
2007-2012	64.0	16.9	76.3	81.1	39.2	23.7	278.6	230.2
2007-2016	29.0	61.8	141.1	181.7	32.2	69.2	37.2	14.4
2007-2017	316.0	166.0	61.6	18.8	42.5	710.0	26.4	32.5
2007-2018	36.5	103.2	152.2	153.4	758.5	133.2	71.8	61.1
2008-2012	18.9	5.0	33.2	1344.8	34.4	4.5	9.1	13.2
2008-2016	105.9	49.2	2753.0	789.0	41.8	118.1	31.9	9.9
2008-2017	25.4	29.1	15.0	10.4	42.9	28.5	20.6	5.3
2008-2018	19.0	8.7	39.3	94.7	669.2	39.8	62.6	28.5
2009-2010	21.0	9.4	17.8	40.7	50.3	39.7	52.6	24.9
2009-2016	21.0	19.9	22.4	11.1	70.4	32.0	12.3	11.5
2010-2016	21.2	14.0	20.9	24.7	79.5	45.1	36.6	42.0
2011-2016	9.6	28.1	71.6	48.2	6.2	8.0	16.6	11.0
2011-2018	4.4	3.5	12.6	84.7	13.5	39.6	62.9	76.0
2012-2013	4.8	2.9	12.4	9.8	7.1	4.4	15.4	54.6
2012-2014	8.7	4.2	3.3	4.7	31.0	9.1	8.1	29.3
2013-2016	7.7	11.7	98.3	23.7	92.0	31.3	76.9	26.6
2013-2017	9.0	5.7	6.1	2.6	16.7	8.9	10.9	10.9
2013-2018	2.9	3.9	47.9	39.2	39.5	21.6	93.4	267.6
2015-2018	1.2	1.7	2.6	3.4	3.9	26.6	42.0	13.0

H. Factores de Bayes del análisis posteriori de la SST de la temporada de lluvias para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2004	15.8	3.3	3.8	2.2	25.3	87.2	48.7	22.2
2003-2015	14.9	32.8	3.3	1.7	1.2	3.5	9.7	7.1
2004-2006	62.5	16.3	25.5	9.0	69.2	90.9	32.1	39.7
2004-2007	21.8	13.2	34.0	7.9	16.7	13.5	38.9	39.6
2004-2008	9.3	4.2	4.6	2.1	165.5	41.1	48.3	31.6
2004-2009	2.8	4.0	44.6	1.0	3.5	4.2	9.5	2.2
2004-2010	70.5	27.1	40.0	1.4	67.0	45.0	31.2	12.1
2004-2011	167.2	148.1	87.2	55.3	18.0	12.9	28.1	30.7
2004-2012	16.1	46.3	208.3	13.1	17.4	19.4	25.0	23.6
2004-2017	6.4	6.9	16.7	58.2	1.4	2.3	1.3	1.6
2004-2018	18.2	13.4	36.1	25.4	3.6	4.9	9.2	5.9
2005-2008	1.4	1.8	1.5	3.2	52.8	2.9	3.3	14.9
2005-2010	39.2	775.3	652.0	9.4	41.8	33.3	17.0	57.1
2005-2011	25.5	62.9	20.2	815.8	17.5	14.5	14.6	33.3

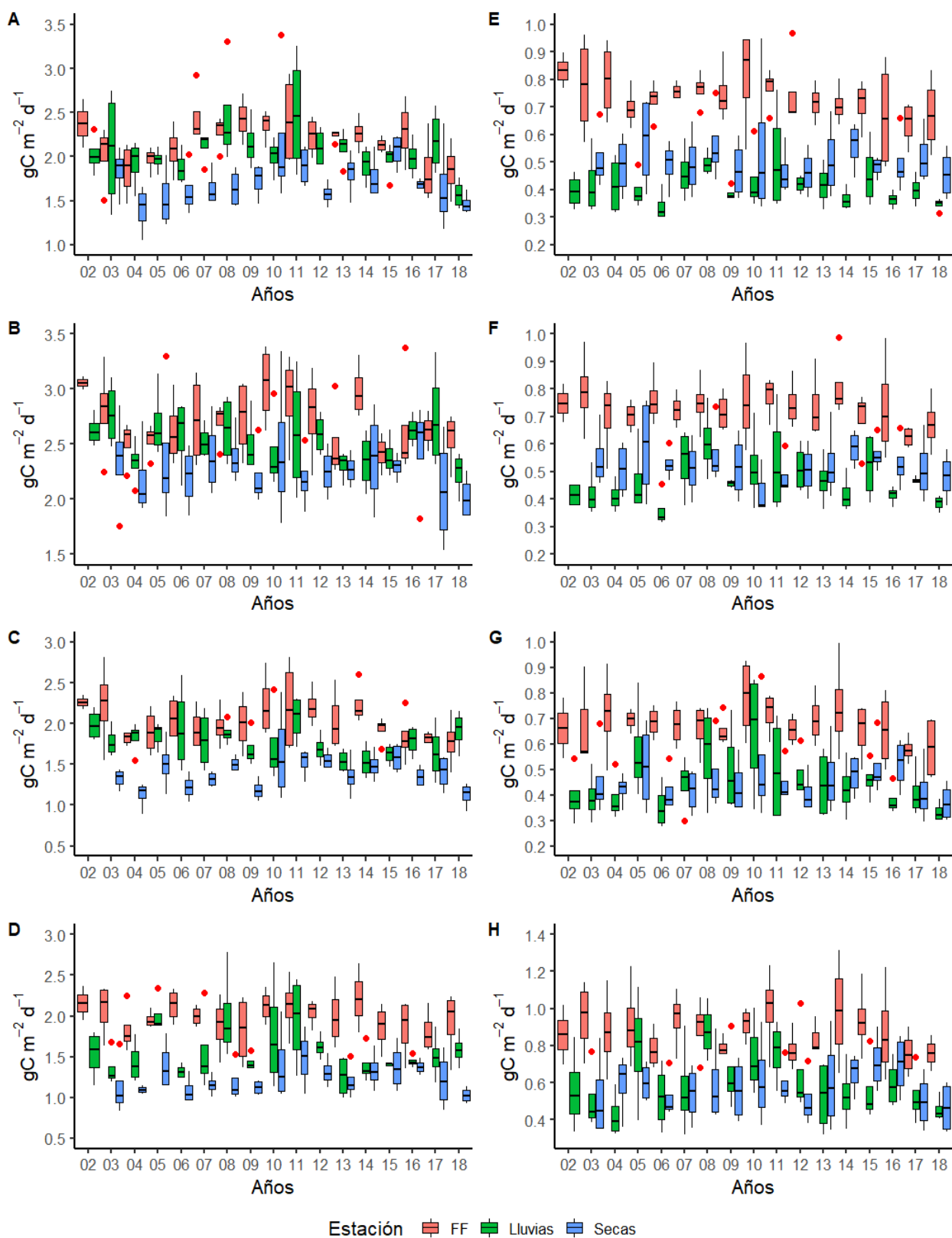
2005-2012	46.4	4.0	3.5	6.5	33.1	23.6	16.4	10.8
2005-2017	95.3	32.3	20.6	17.1	5.3	8.7	10.3	1.4
2006-2009	3.9	13.4	8.7	18.0	10.9	23.0	27.1	82.3
2006-2016	52.5	33.2	46.9	59.1	14.4	12.0	17.1	28.0
2006-2017	62.5	22.5	67.4	26.0	8.7	10.3	11.4	15.4
2007-2009	12.1	50.1	10.3	4.1	72.8	32.6	102.2	525.3
2007-2013	75.9	7.3	5.8	11.7	1.3	1.2	1.6	1.6
2007-2016	801.7	115.4	73.3	101.5	156.1	104.1	90.0	60.3
2007-2017	181.5	27.9	58.7	24.0	12.2	10.0	26.9	40.1
2007-2018	13.5	9.2	3.8	3.4	56.9	33.6	40.7	8.7
2008-2011	101.2	15.8	18.4	7.7	4.9	6.1	4.7	2.8
2009-2011	4.7	40.1	24.8	50.7	10.4	8.7	11.1	30.0
2009-2012	3.6	57.6	8.8	34.3	591.4	26.7	14.8	61.9
2009-2016	12.5	54.9	26.3	11.0	17.4	8.2	9.3	7.5
2009-2017	25.6	10.9	122.6	18.1	4.1	4.2	3.3	1.5
2009-2018	4.7	98.8	3.1	13.0	1.4	6.8	7.8	6.6
2010-2011	8.1	7.8	3.3	39.3	1.7	1.9	1.1	1.7
2010-2017	84.9	124.5	118.7	13.9	26.5	22.5	18.2	13.1
2011-2013	27.1	57.4	22.7	17.0	4.7	7.3	3.3	10.4
2011-2014	14.3	148.0	70.3	13.1	49.8	66.2	137.0	82.5
2011-2015	1.2	5.3	5.4	5.1	7.2	5.6	7.1	11.2
2011-2016	20.7	75.6	55.4	30.8	19.3	23.6	43.3	92.4
2011-2017	79.8	426.1	209.1	2334.8	23.5	23.8	47.2	68.7
2012-2016	31.9	60.6	88.4	60.2	77.3	57.4	40.8	69.5
2012-2017	266.8	27.4	74.6	41.0	20.9	44.0	109.1	113.2
2012-2018	2.0	2.9	2.0	1.6	34.6	19.3	8.2	6.3
2013-2015	12.4	16.8	90.6	19.3	3.0	2.3	6.9	10.4
2013-2016	10.2	37.2	51.3	15.7	87.5	79.9	200.1	54.4
2013-2018	117.1	6.0	4.4	9.7	8.7	5.6	26.5	4.2
2014-2017	37.8	18.7	23.7	30.2	4.9	5.4	7.2	4.2
2015-2016	33.0	136.8	288.2	35.3	7.2	5.7	6.4	5.1
2016-2018	233.9	136.0	139.0	142.4	22.2	22.7	32.4	9.9
2017-2018	195.0	21.9	90.4	45.7	3.4	6.0	6.5	3.4

I. Factores de Bayes del análisis posteriori de la SST de la temporada de frentes fríos para cada serie de la zona nerítica interior y exterior. Los años con evidencias fuertes y decisivas se presentan de color rojo (BF>30). Se omitieron los años que tuvieron en todas las series un factor de Bayes menor a 30.

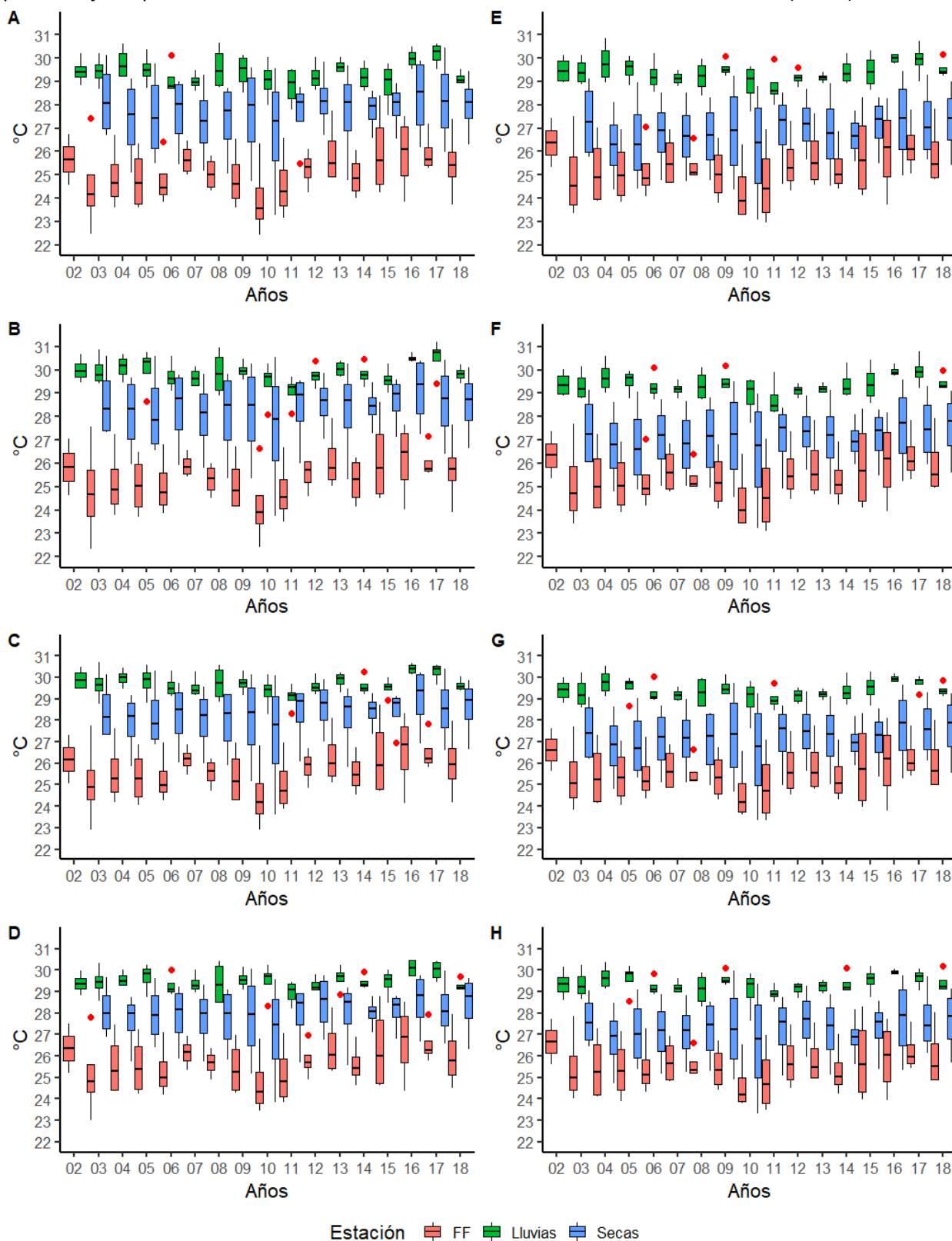
Año	T1ZI	T2ZI	T3ZI	T4ZI	T1ZE	T2ZE	T3ZE	T4ZE
2003-2010	20.4	18.7	17.1	4.8	28.4	23.5	36.2	36.2
2003-2015	21.5	11.4	15.3	15.3	49.3	16.5	5.3	4.3
2003-2018	32.7	25.1	35.9	22.4	48.6	38.8	42.1	40.6
2004-2010	92.7	63.7	502.8	93.3	127.8	125.2	38.6	17.0
2004-2011	73.6	98.8	270.3	139.4	23.3	38.4	78.2	79.7
2004-2013	495.7	516.7	634.2	351.8	70.2	106.8	18.7	6.7
2004-2015	28.5	34.3	20.0	26.8	31.2	18.1	8.2	9.9
2004-2017	51.8	14.3	21.6	21.0	46.4	46.6	20.5	12.7
2004-2018	19.7	15.3	24.8	15.8	50.3	52.7	36.8	17.7
2005-2010	17.1	10.9	24.1	59.3	148.7	78.5	44.4	19.7
2005-2011	4.5	4.4	9.4	61.8	23.9	15.1	21.2	63.1
2005-2013	180.0	111.0	190.4	229.2	748.9	196.6	31.0	12.0
2005-2015	50.2	30.2	23.3	22.7	25.0	15.6	5.9	7.9
2005-2016	31.3	16.0	14.3	21.0	23.8	33.2	14.4	27.9
2005-2017	45.6	19.3	39.3	22.1	141.0	159.1	46.1	24.3
2005-2018	8.7	11.7	24.4	25.8	101.6	62.4	38.6	21.4
2006-2010	14.9	10.2	12.5	24.4	72.6	86.3	727.8	403.5
2006-2013	242.3	247.9	84.4	252.0	33.0	30.4	48.7	38.4
2006-2015	25.7	41.2	17.1	15.7	7.5	5.7	3.4	3.5
2006-2016	19.4	27.4	21.8	32.8	9.8	10.3	6.1	4.8
2006-2017	453.1	34.1	511.9	292.8	427.6	863.1	484.7	98.9
2006-2018	7.9	7.1	9.2	16.6	72.2	56.6	67.3	29.6
2007-2009	18.1	17.1	12.2	11.7	56.1	20.1	51.1	35.1
2007-2010	36.9	24.5	32.3	40.1	168.0	94.6	57.9	51.0
2008-2017	17.7	12.6	17.9	18.7	24.0	32.3	47.5	24.6
2009-2010	17.6	13.4	18.8	25.0	44.1	73.0	36.7	30.3
2009-2013	417.5	532.3	142.8	209.4	135.9	63.4	24.2	17.8
2009-2015	54.4	33.2	33.1	21.1	15.5	9.4	4.5	3.5
2009-2016	41.6	20.2	25.0	37.8	21.2	20.6	8.8	6.1
2009-2017	87.4	32.9	49.1	40.2	353.7	209.3	97.5	88.7
2009-2018	6.0	7.7	11.9	15.4	53.4	39.7	29.2	12.1
2010-2011	61.7	17.2	25.1	53.8	6.0	5.7	4.7	4.0
2010-2012	19.4	14.6	21.1	38.4	611.9	738.8	212.7	126.6
2010-2013	417.9	183.1	656.6	2624.9	2412.0	3420.9	3007.3	1543.6
2010-2014	12.3	13.2	15.9	20.7	153.1	117.0	173.0	99.3
2010-2015	135.9	59.8	127.9	78.0	108.9	54.0	22.2	19.3
2010-2016	33.3	18.0	28.3	49.1	56.7	60.8	34.6	23.1
2010-2017	88.5	45.9	89.3	150.2	470.1	889.5	1057.5	660.5
2010-2018	272.0	435.1	778.1	1331.3	29377.0	1754696.8	4796.7	546.0

2011-2012	7.0	6.7	9.8	12.4	18.9	20.1	36.9	50.7
2011-2013	765.4	3902.8	38471.5	6852.6	141.8	164.4	89.5	63.1
2011-2015	81.6	49.2	65.8	59.8	1649.9	416.1	77.2	67.5
2011-2016	22.3	16.3	24.6	39.1	184.2	238.0	94.5	74.4
2011-2017	61.2	50.2	124.9	68.5	83.5	72.7	49.2	53.1
2011-2018	50.5	71.2	79.4	595.3	102.6	74.1	142.3	262.3
2012-2014	19.2	7.6	17.3	19.8	15.6	82.6	45.5	34.0
2012-2017	13.8	8.0	11.2	31.0	18.7	26.4	13.8	8.7
2013-2014	14.1	9.8	11.0	16.5	14.8	16.4	56.0	59.5
2013-2018	5.1	5.7	6.3	27.7	3.6	3.6	46.2	3.6
2014-2017	31.5	15.6	28.2	43.9	68.6	78.4	150.3	86.3
2014-2018	7.4	5.1	4.5	4.8	33.8	61.8	123.3	41.6

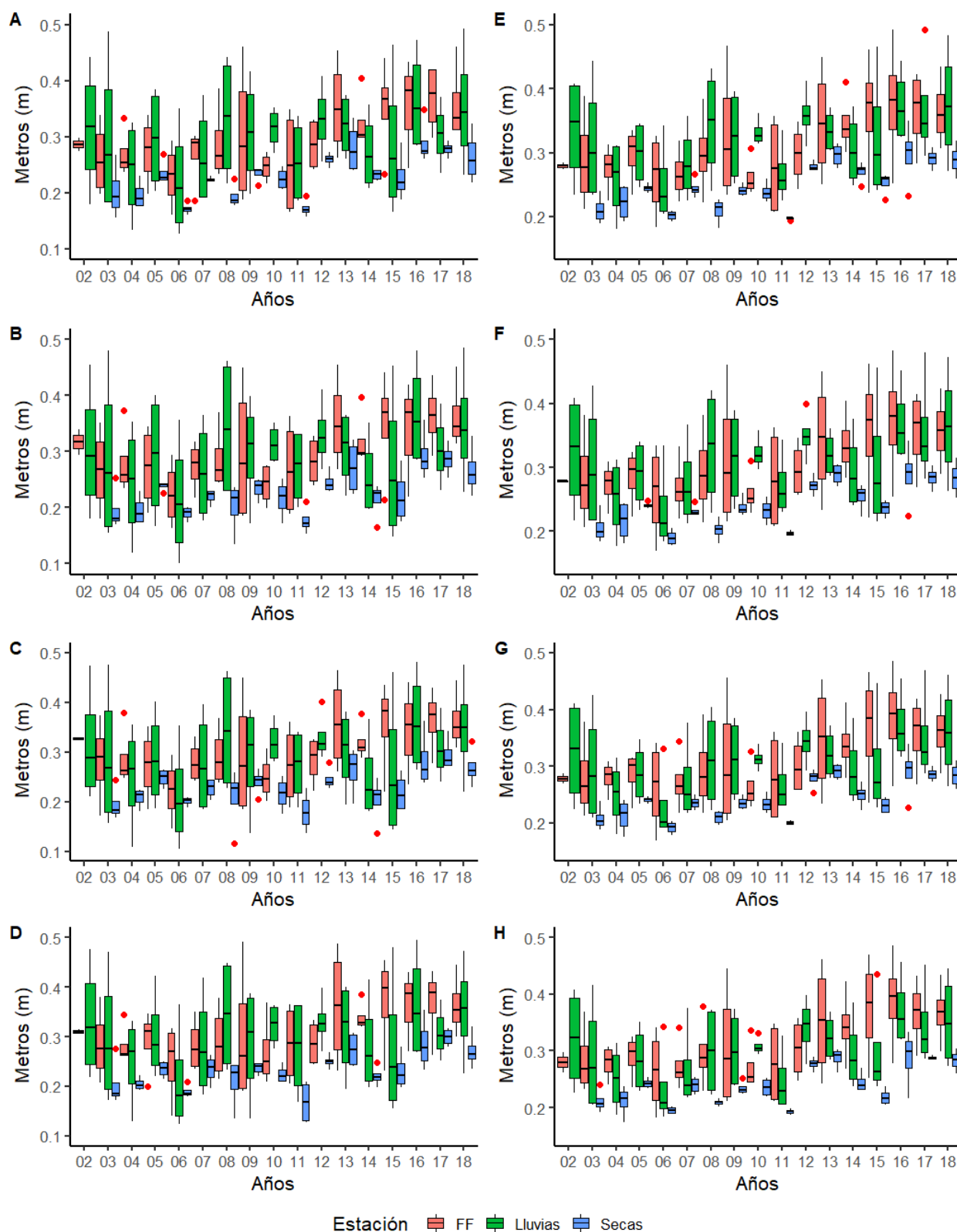
J. Valores de PP para las series temporales de cada transecto durante la estación de frentes fríos (FF), lluvias y secas. A-D corresponden a las series T1ZI-T4ZI y E-H a las series T1ZI-T4ZI respectivamente. Los puntos rojos representan valores extremos. Los años abarcan desde 2002 hasta 2018 (02-18).



K. Valores de SST para las series temporales de cada transecto durante la estación de frentes fríos (FF), lluvias y secas. A-D corresponden a las series T1ZI-T4ZI y E-H a las series T1ZI-T4ZI respectivamente. Los puntos rojos representan valores extremos. Los años abarcan desde 2002 hasta 2018 (02-18).



L. Valores de SSH para las series temporales de cada transecto durante la estación de frentes fríos (FF), lluvias y secas. A-D corresponden a las series T1ZI-T4ZI y E-H a las series T1ZI-T4ZI respectivamente. Los puntos rojos representan valores extremos. Los años abarcan desde 2002 hasta 2018 (02-18).



Anexo 6.

A. Obtención de datos e imágenes de SSH desde la página COPERNICUS.

COPERNICUS es el programa de observación de la tierra de la unión europea, el cual ofrece servicios basados en observaciones satelitales e in situ. Entre los datos que ofrece se encuentra la temperatura superficial del mar, altura superficial del mar, salinidad, profundidad de la capa de mezcla, etc., los cuales son derivados de modelos y observaciones.

El primer paso es entrar a la pagina principal de COPERNICUS (<https://www.copernicus.eu/en>) y seleccionar el icono “Marine”.



Después nos dirigirá a una página donde se encuentran las características de los datos oceánicos/marinos ahí contenidos. Una vez en la página, se selecciona el catalogo (“Catalogue”) que se encuentra en el texto.

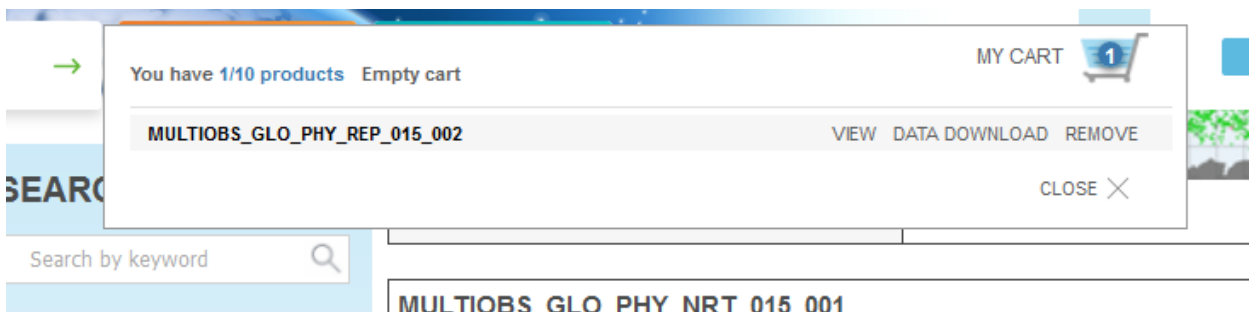


The products delivered by the Copernicus marine environment monitoring service are provided fr interactive catalogue. A downloadable pdf version of the catalogue of products is also available on t
These products encompass a description of the current situation (Analysis), the variability at prediction of the situation a few days ahead (Forecast), and the provision of consistent retros analysis).

En el catálogo se observan una variedad de set de datos presentados en forma de productos satelitales, los cuales son calculados a partir de modelos con observaciones in situ y satelitales. En el lado izquierdo de la pagina se encuentran una serie de opciones para agilizar la búsqueda, mientras que del lado derecho se desplegaran los sets de datos correspondientes a los criterios establecidos. En este caso se seleccionó la altura de la superficie del mar, océanos globales y una cobertura temporal de 1992 hasta 2019. Los criterios de búsqueda pueden cambiarse dependiendo de los intereses de cada usuario.

Se selecciona el set de datos que satisfaga nuestras necesidades, para ello se selecciona el icono parecido “Add to car”. Además de las características generales que se muestran, si se selecciona el encabezado del set de datos (en este caso el encabezado es: MULTIOBS_GLO_PHY_REP_015_002) nos desplegara la información más detallada sobre el modelo, obtención de datos, características y tamaño de la malla (píxeles).

Una vez seleccionado el icono “Add to car” se desplegará una ventana secundaria. Esta ventana nos indica que nuestro set de datos se selecciono y nos da tres opciones.



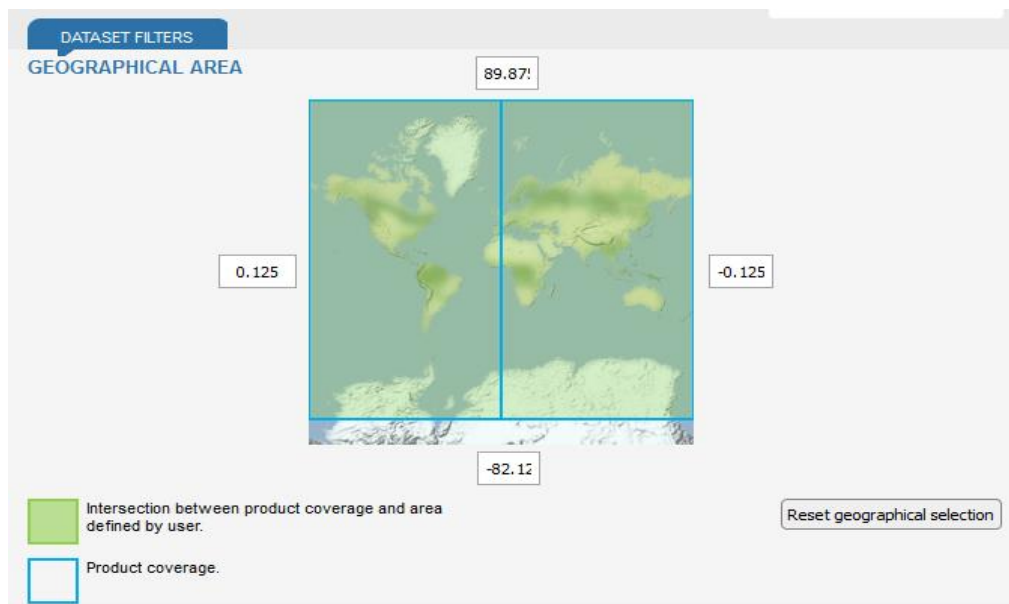
Para poder ingresar a la descarga de datos es necesario registrarse, el proceso es sencillo y la respuesta de admisión no es superior a tres días hábiles.

The screenshot shows a 'DATA ACCESS' login page. On the left, there is a 'MY CART' section with a shopping cart icon and a list of products: 'MULTIOBS_GLO_PHY_RE P_015_002'. The main section is for logging in, with a 'Log In' link. Below the link, there is a text input field for 'USERNAME' and a password input field for 'PASSWORD'. There is an eye icon with the text 'Show' next to the password field. Below the password field, there is a checkbox labeled 'Remember Me' and a 'LOGIN' button. At the bottom, there is a link for 'Forgot username? - Forgot password?'.

Con el acceso permitido, se eligen el tiempo o cobertura de los datos. En el ejemplo, los lapsos son mensuales y semanales. Posteriormente se despliega una página donde se eligen las características de las imágenes que deseamos descargar. “Geographical area” nos permite hacer recortes sobre las imágenes o especificar una región en vez de obtener una imagen global. “Time Range” nos sirve para elegir el rango de tiempo que se desea. “Depht” nos permite elegir a que profundidad deseamos los valores, esto es posible debido a que las imágenes son generadas por modelos y, a su vez, estos modelos ya han sido validados con datos *in situ*. Por ultimo el apartado “Variables” nos permite elegir cuales variables/datos queremos que se encuentren en nuestra imagen.

Por ultimo se selecciona el icono “Download” y se descarga la imagen en formato “.nc”. Este tipo de formato puede ser procesado por la programática SeaDAS de la NASA para la obtención de valores y datos. Las instrucciones de uso de SeaDAS pueden encontrarse en el apartado de anexos de la siguiente publicación:

Aguilar, C. D. (2017). Efectos de eventos estacionales e interanuales en la biomasa y producción fitoplanctónicas frente a la península de Yucatán (Tesis de maestría). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C., pp 88.



TIME RANGE

(Default = Last date available)

search :
START DATE
2018-11-15 00:00:00

search :
END DATE
2018-11-15 00:00:00

2018-11-15 00:00:00
2018-10-15 00:00:00
2018-09-15 00:00:00
2018-08-15 00:00:00
2018-07-15 00:00:00
2018-06-15 00:00:00
2018-05-15 00:00:00

2018-11-15 00:00:00
2018-10-15 00:00:00
2018-09-15 00:00:00
2018-08-15 00:00:00
2018-07-15 00:00:00
2018-06-15 00:00:00
2018-05-15 00:00:00

DEPTH

(Default = Surface depth)

START DEPTH
-1

END DEPTH
1

VARIABLES

(Default = All variables) Uncheck All

DOWNLOAD	NAME	DESCRIPTION	STANDARD NAME	UNITS
☒	to	temperature	sea_water_tempe rature	degrees_C
☒	so	salinity	sea_water_salinit y	0.001
☒	zo	absolute height	geopotential_heig ht	m
☒	ugo	geostrophic zonal velocity from thermal wind equation	geostrophic_east ward_sea_water_ velocity	m s-1
☒	vgo	geostrophic meridional velocity from thermal wind equation	geostrophic_nort hward_sea_water_ velocity	m s-1
☒	m1otst	Mixed layer depth from density threshold equivalent to a 0.2C decrease	ocean_mixed_lay er_thickness_defi ned_by_sigma_th eta	m


[DOWNLOAD](#)