



INFORME OCEANOGRÁFICO ANUAL

No. III - 2024

INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA,
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
-INSIVUMEH-

GUATEMALA, ABRIL DE 2025

Departamento de Investigación y Servicios Hídricos

Sección de Oceanografía

seccion.oceanografia@insivumeh.gob.gt

www.insivumeh.gob.gt

Coordinador de la Sección de Oceanografía

MSc. María Renee Contreras Merida

Personal de la Sección

Lic. Andrea Alejandra Vega Dávila

Ing. Victor José Gómez Ovalle

Lic. Ana Gabriela Dávila Recinos

Lic. Andrea José Paz Barillas

Tec. Luis Fernando Icu Son

Autoridades

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

Director General

Ing. Agr. Edwin Aroldo Rojas Domingo

Subdirector General

Ing. Agr. Mario Rene Mejía Clara

Jefe del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos

MSc. Francisco Andrés Roque Sosa

Índice general

1. Introducción	9
2. Objetivos.....	10
2.1. General.....	10
2.2. Específicos.....	10
3. Siglas y abreviaturas.....	11
4. Símbolos	12
5. Glosario.....	13
6. Sitios de Monitoreo	17
7. Fuentes de Información.....	21
7.1. Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica – OBPG	21
7.1.1. Terra	21
7.1.2. Aqua.....	22
7.1.3. Suomi NPP.....	23
7.1.4. NOAA 20.....	24
7.2. Coral Reef Watch	24
7.2.1. Temperatura Superficial del Mar	24
7.2.2. Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar	25
7.3. NOAA Coastwatch program.....	26
7.3.1. SMAP	26
7.4. Estaciones Mareográficas	27
7.5. Efemérides.....	27
7.6. Carta Batimétrica General de los Océanos – GEBCO	28

7.7. Centro de predicción de Clima – CPC	28
8. Batimetría.....	29
8.1. Aspectos generales	29
9. Concentración de Clorofila- a en el mar	31
9.1. Aspectos generales	31
9.2. Registros	31
10. Temperatura Superficial del Mar.....	54
10.1. Aspectos generales	54
10.2. Registros	54
10.3. Comparación de los valores registrados de TSM para la región del Pacífico y Atlántico guatemalteco con la Climatología histórica 1990 – 2021	61
11. Salinidad Superficial del Mar	64
11.1. Aspectos Generales	64
11.2. Registros	64
12. Marea Astronómica.....	71
12.1. Aspectos generales	71
12.2. Registros	73
13. Efemérides Lunares.....	76
13.1. Aspectos generales	76
13.2. Registros	76
14. Efemérides Solares.....	78
14.1. Aspectos generales	78
14.2. Registros	78
15. Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar	82
15.1. Aspectos generales	82
15.2. Registros	83
16. Anomalía del Nivel del Mar.....	84
16.1. Aspectos generales	84
16.2. Registros	84
16.3. Análisis para la región cercana de Bahía de Amatique y El Quetzalito	91
17. Acidez del Océano (pH).....	94
17.1. Aspectos generales	94

17.2. Registros	94
18. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L).....	101
18.1. Aspectos generales	101
18.2. Registros	101
19. Producción Primaria Neta (mg C m⁻³ día⁻¹).....	108
19.1. Aspectos generales	108
19.2. Registros	108
20. Análisis Fitoplanctónico.....	115
20.1. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de marzo.	117
20.2. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de mayo	122
20.3. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de julio	127
21. Análisis de Variables Fisicoquímicas.....	132
22. Anexos	137
Referencias	140

1. Introducción

Como parte de las funciones que tiene el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), se encuentra el monitoreo sistematizado de la actividad hidrometeorológica del país, el cual incluye a los fenómenos oceanográficos. Con estos monitoreos se busca enriquecer las bases de datos y sistemas de información geográfica, contribuir con la modernización y especialización del sector educativo, y optimizar actividades del sector productivo.

Es por ello que, a través de la sección de Oceanografía del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos del INSIVUMEH, se pone a disposición de la población general, la información estadística de las variables monitoreadas y recopiladas durante el año 2024 para los diferentes sitios de monitoreo. Las variables que se presentan son batimetría del pacífico guatemalteco, obtenida de la “Carta Batimétrica General de los Océanos (GEBCO, por sus siglas en inglés), siendo esta una base de datos batimétricos disponible para todo público; temperatura superficial del mar (TSM), anomalía de la temperatura superficial del mar (ATSM), Anomalía del Nivel del Mar (ANM), salinidad superficial del mar (SSM) y concentración de clorofila- α en el mar, utilizando información proveniente de las misiones satelitales NASA/NOAA. Además, se incluye el calendario de efemérides solares y lunares, obtenido a través de un paquete del lenguaje de programación “R”, este se basa en ecuaciones simplificadas del movimiento de los cuerpos celestes que componen el sistema solar. En esta edición, se incluye una nueva serie de variables biofísicas monitoreadas para los litorales del país, siendo estas: Acidez del océano (pH), Concentración de oxígeno disuelto y Producción primaria neta. Así mismo, se incluye el primer análisis dilucidando la composición actual de la comunidad fitoplanctónica en las costas de Escuintla.

Para cada conjunto de datos, se presenta información general de las fuentes de información, descripción detallada de las variables y la importancia de su monitoreo, así como cuadros y graficas que resumen la información presentada.

2. Objetivos

2.1. General

Generar la información estadística registrada durante el año 2024 de las variables oceanográficas que la Sección de Oceanografía del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos de INSIVUMEH monitorea.

2.2. Específicos

1. Presentar al público en general un documento de fácil acceso que presente de forma resumida y estructurada, el comportamiento de la concentración de clorofila- α , efemérides lunares, nivel de marea, salinidad superficial del mar, temperatura superficial del mar y anomalía de la temperatura superficial del mar en sitios de interés durante el año 2024.
2. Presentar a la comunidad científica y población en general la labor que realiza la Sección de Oceanografía, sirviendo como plataforma para la cooperación interinstitucional, buscando que todas aquellas organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que cuenten con datos oceanográficos, puedan sumarse a futuros volúmenes de este reporte.
3. Implementar un informe anual que refleje el monitoreo diario, así como reportar las condiciones oceanográficas en ambos litorales del país.

3. Siglas y abreviaturas

ATSM	Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar
ANM	Anomalía del Nivel del Mar
CPC	Climate Prediction Center
CRW	Coral Reef Watch
E	Este
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
EOS	Earth Observation System
EOS-AM	Earth Observation System - At Morning
EOS-PM	Earth Observing System (afternoon pass)
EOSDIS	Earth Observing System Data and Information System
FAN	FloreCIMIENTO Algal Nocivo
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
GIBS	Global Imagery Browse Service
IHO	International Hydrographic Organization
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO
JPSS	Joint Polar Satellite System
L3	Level 3 product
LMSL	Local Mean Sea Level
MIRAS	Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis
MM	Media Mensual
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
N	Norte
NetCDF	Network Common Data Form
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
O	Oeste
OBPG	Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica
RAE	Real Academia Española
S	Sur
SLA	Sea Level Anomaly
SNPP	Suomi National Polar-Orbiting Partnership
SMAP	Soil Moisture Active Passive
SMOS	Soil Moisture and Ocean Salinity
SSM	Salinidad Superficial del Mar
SST	Sea Surface Temperature
TIR	Thermal infrared
TSM	Temperatura Superficial del Mar
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suit
VNIR	Visible and near-infrared
WGS84	World Geodetic System 1984

4. Símbolos

NOMBRE	SÍMBOLOS
Centímetro	<i>cm</i>
Centímetro cúbico	<i>cm³</i>
Coeficiente de determinación	<i>R²</i>
Error cuadrático medio	<i>RMSE</i>
Grados	<i>°</i>
Grados Celsius	<i>°C</i>
Kilómetros	<i>Km</i>
Nanómetros	<i>nm</i>
Metros	<i>m</i>
Metros cúbicos	<i>m³</i>
Metros sobre el nivel medio del mar	<i>msnm</i>
Miligramos	<i>mg</i>
Temperatura	<i>T</i>
Unidades Prácticas de Salinidad	<i>PSU</i>

5. Glosario

- **Análisis Armónico:** “Método basado en la suposición que el movimiento de ascenso y descenso de la marea en un lugar cualquiera, puede ser expresado matemáticamente como la sumatoria de una serie de términos armónicos que cumplen ciertas condiciones astronómicas” (SOHA, 1992).
- **Atmósfera:** “Envoltura gaseosa que rodea la Tierra” (WMO, 1992).
- **Arrecife de Coral:** “Estructura calcárea constituída por organismos marinos. Generalmente se localiza entre los 30° de latitud norte y de latitud sur, a menos de 50 metros de profundidad. Puede formar isla” (INEGI, 1986).
- **Bajamar:** “Momento del ciclo de la marea en que el agua del mar desciende a la mínima altura” (Perillo & Piccolo, 2017).
- **Balance hídrico:** “Balance de agua basado en el principio de que, durante un cierto intervalo de tiempo, el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de la cuenca o masa de agua” (WMO, 1992).
- **Batimetría:** “Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isóbatas, así como de la distribución de animales y vegetales marinos en sus zonas isobáticas.” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).
- **Biomasa:** “Cantidad de materia orgánica de una especie, nivel trófico o comunidad viva por unidad de superficie o de volumen de agua” (INEGI, 1986).
- **Ciclo biogeoquímico:** “El reusó de materia orgánica entre organismos vivos y su ambiente. Toma este nombre por la importancia del rol de la química y la geología en este ciclo” (Bear et al., s.f.).
- **Cambio Climático:** “Hace referencia a una variación en el estado del clima identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más extensos” (IPCC, s.f.).
- **Característica eurihalina:** “Organismos que toleran un rango grande de concentraciones de salinidad” (Bear et al., s.f.).
- **Ciclo del agua:** “Sucesión de etapas que atraviesa el agua desde la atmósfera; evaporación a partir del suelo, mar o las aguas continentales, condensación en forma de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación” (WMO, 1992).
- **Clima:** “Síntesis de las condiciones meteorológicas en un lugar determinado, caracterizada por estadísticas a largo plazo (Valores medios, varianzas, probabilidades de valores extremos, etc) de los elementos meteorológicos en dicho lugar” (WMO, 1991).

- **Climatología:** “Estudio del estado físico del medio de la atmósfera y de sus variaciones estadísticas en el espacio y en el tiempo, tal como se reflejan en el comportamiento meteorológico en un periodo de muchos años” (WMO, 1991).
- **Clorofila:** “Grupo de pigmentos verdes que se encargan de captar energía lumínica para la actividad fotosintética” (Garrison, 2019).
- **Clorofila α :** “Un tipo de pigmento fotosintético encontrado en los cloroplastos de las plantas y algas” (Bear et al., s.f.).
- **Convección termohalina:** “Movimientos verticales del agua marina, producidos por cambios de temperatura y salinidad en las capas superiores. Cuando la capa superior se hace más pesada que las subyacentes provoca un desequilibrio vertical” (INEGI, 1986).
- **Datum:** “Conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas y un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia) para definir el sistema de coordenadas geográfico” (IIEG, 2019).
- **Efemérides:** “Conjunto de datos que describen la posición de un objeto celeste en función del tiempo” (IIEG, 2019).
- **El Niño:** “Calentamiento anómalo del agua oceánica frente a las costas occidentales sudamericanas, acompañado habitualmente de fuertes lluvias en las regiones costeras de Perú y Chile” (WMO, 1992).
- **Equinoccios:** “Los dos puntos en la esfera celeste donde el ecuador celeste corta a la eclíptica; también las horas en que el Sol cruza el ecuador en estos puntos. El equinoccio vernal es el punto donde el Sol cruza el ecuador de sur a norte y ocurre alrededor del 21 de marzo. La longitud celeste se calcula hacia el este desde equinoccio vernal. El equinoccio otoñal es el punto donde el Sol cruza el ecuador de norte a sur y ocurre alrededor del 23 de septiembre” (SOHA, 1992).
- **Error cuadrático medio:** “Definido matemáticamente como la raíz cuadrada del cociente entre la suma de los cuadrados de los errores aleatorios y el número de errores menos uno, se minimiza con una solución por el método de mínimos cuadrados. Da una medida estadística de la dispersión de las posiciones calculadas en torno a la "posición mejor ajustada". A menor Error Cuadrático Medio mayor precisión" (IIEG, 2019).
- **Estación mareográfica:** “Lugar en el cual se llevan a cabo observaciones y registros periódicos de las mareas” (INEGI, 1986).
- **Fitoplancton:** “Grupo de plancton que está constituido por algas microscópicas” (Sverdrup & Kudela, 2019).
- **Infrarrojo cercano visible:** Región del espectro de luz con longitud de onda entre los 400 y 1300 nm (Savitri et al., 2021).
- **In situ:** “En el sitio, sobre el terreno” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).

- **Isóbata:** “Curva para la representación cartográfica de los puntos de igual profundidad en océanos y mares, así como en lagos grandes” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).
- **Litoral:** “Zona costera que se extiende mar adentro, desde el lugar donde se manifiesta la influencia del oleaje en el fondo marino hasta donde aparece un rasgo fisiográfico como un acantilado o una duna, o hasta donde hay vegetación terrestre establecida” (INEGI, 1986).
- **Mar:** “Masa de agua, generalmente poco profunda y con comunicaciones estrechas con las aguas y mares adyacentes, cuyas orillas bañan las costas del mismo continente” (INEGI, 1986).
- **Marea Astronómica:** “El ascenso y descenso del nivel de los mares y demás cuerpos que resulta principalmente de la atracción gravitacional de la luna y el sol sobre la tierra” (INEGI, 1986).
- **Marea de sizigia:** “Es la que se produce cuando la Luna, la Tierra y el Sol se encuentran alineados, con la Tierra en el medio en Luna llena y la Luna en el medio en Luna nueva. Es también llamada marea viva y está entre las mareas más altas” (Perillo & Piccolo, 2017).
- **Microondas:** “Onda electromagnética cuya longitud está comprendida en el intervalo del milímetro al metro y cuya propagación puede realizarse por el espacio y por el interior de tubos metálicos” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).
- **Océano:** “Vasto cuerpo de agua salada intercomunicante que ocupa las grandes depresiones de la tierra y que circunda las tierras emergidas” (INEGI, 1986).
- **Oceanografía:** “Es la ciencia que estudia el océano, su naturaleza física, química, geológica y biológica. En sentido estricto del término, es la descripción del medio ambiente marino” (INEGI, 1986).
- **Radar:** “Método electrónico para determinar desde una estación la dirección y distancia de un objeto. La distancia se mide cronometrando el tiempo empleado por los impulsos del transmisor en recorrer la distancia de ida y vuelta al objeto lejano. El término radar deriva del inglés Radio Detection And Ranging” (WMO, 1992).
- **Pleamar:** “Momento del ciclo de la marea en que el agua del mar asciende a la máxima altura” (Perillo & Piccolo, 2017).
- **Pigmento fotosintético:** “Una molécula que absorbe luz para procesos fotosintéticos, a través del cual empieza el proceso de la fotosíntesis” (BEAR et al., s.f.).
- **Píxel:** “El elemento individual más pequeño de una imagen codificada electrónicamente (incluidos los componentes espacial y espectral) registrada por un sensor de satélite” (WMO, 1992).
- **Radiómetro:** “Instrumento que mide la intensidad de las radiaciones” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).
- **Representación raster:** “Es la manera de representar a los Objetos Espaciales mediante arreglos bidimensionales regulares de valor (matriz de datos) de algún tema” (IIEG, 2019).

- **Salinidad:** Se refiere a la concentración de sal disuelta en agua, históricamente expresada en g/kg o partes por ciento, aunque también se utiliza la Unidad Práctica de Salinidad (PSU, por sus siglas en inglés).
- **Salinidad superficial del mar:** Se refiere a la concentración de sal disuelta en agua en la capa superficial del mar (NASA, s.f.).
- **Saturación del agua en el suelo:** “Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire” (Shaxson & Barber, 2005).
- **Sesgo:** “Error sistemático en el que se puede incurrir cuando al hacer muestreos o ensayos se seleccionan o favorecen unas respuestas frente a otras” («REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española», 2025).
- **Teledetección:** “Recogida y registro de datos a distancia, por oposición a las medidas realizadas en el lugar (*in situ*); por ejemplo, las observaciones de la atmósfera por radar y satélite” (WMO, 1992).
- **Temperatura de la superficie del agua:** “Temperatura de la capa superficial de una masa de agua (un lago, un río, un mar)” (WMO, 1992).
- **Unidad práctica de salinidad:** “La salinidad práctica de una muestra de agua de mar, se define como la razón entre la conductividad eléctrica de una muestra de K15 a una temperatura de 15 °C y a una presión normal de una atmósfera, y la conductividad eléctrica de una solución de cloruro de potasio (KCl), en la que la fracción en masa de KCl es de $32,4356 \times 10^{-5}$, a la misma temperatura y presión. El valor K15 exactamente igual a 1 corresponde, por definición, a una salinidad práctica exactamente igual a 35” (SOHA, 1992).
- **Variabilidad climática:** “Desviaciones de las estadísticas climáticas a lo largo de un período de tiempo dado (por ejemplo, un mes, estación o año determinados) respecto a estadísticas climáticas a largo plazo relacionadas con el mismo período del calendario. (En este sentido, la variabilidad climática se mide por esas desviaciones, denominadas habitualmente anomalías.)” (WMO, 1992).
- **Vientos alisios:** “Vientos persistentes sobre extensas regiones, generalmente en la atmósfera inferior, que soplan desde un anticiclón subtropical hacia las regiones ecuatoriales. Las direcciones predominantes son: del NE para los alisios del hemisferio Norte y del SE para los del hemisferio Sur.” (WMO, 1992).
- **WGS84:** ““World Geodetic System of 1984 (Sistema Geodésico Mundial de 1984). Elipsoide matemático utilizado por el sistema de posicionamiento global (GPS)” (IIEG, 2019).

6. Sitios de Monitoreo

Con el fin de monitorear diariamente las distintas variables oceanográficas de interés en la mayor parte del territorio nacional, considerando que no es posible cubrir en su totalidad cada punto costero en ambos litorales y que en la mayoría de casos la resolución espacial de la información obtenida no es lo suficientemente alta como para poder distinguir entre algunas zonas cercanas, se definieron un conjunto de coordenadas generales. Dichas coordenadas sirven como referencia para hablar de un sitio de monitoreo, también referido como sitio de interés, y a la vez, en el caso de utilizar información rasterizada permite seleccionar el píxel más cercano que cubra dicho punto de referencia (Figura 6.1).

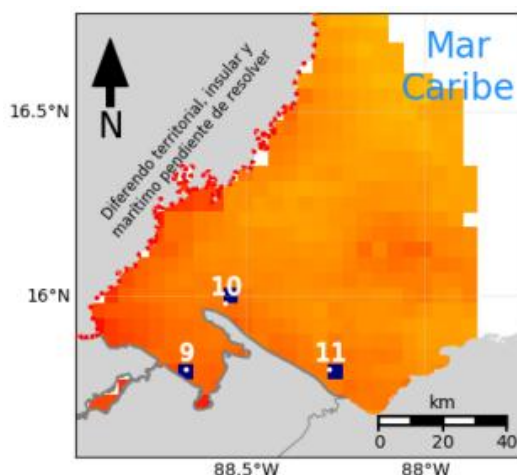


Figura 6.1: Píxeles asociados a cada sitio, según la resolución del raster utilizado

En total se han definido 11 sitios de interés, 8 para el litoral Pacífico (Figura 6.2) y 3 para el Litoral Atlántico (Figura 6.3), con una distribución equidistante. Los criterios para agregar puntos de monitoreo son: la distancia entre los puntos y su cercanía con algunas de las principales playas del país. La distancia toma importancia ya que usualmente los datos en formato rasterizado tienen una resolución finita. Es por eso que la intención de dichos puntos es que dentro de las diferentes fuentes de datos puedan diferenciarse entre sí. A continuación, se ilustra la información de los sitios de monitoreo (Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1: Coordenadas definidas para cada sitio de interés, en donde se muestra el Departamento en donde se encuentra, el nombre del sitio de interés, la abreviatura (abr.) que se le asocia y sus coordenadas

No.	Departamento	Sitio	abr.	Latitud	Longitud
1	San Marcos	Ocós	ocs	14.5	-92.2
2	Retalhuleu	Champerico	chp	14.26	-91.89
3	Suchitepéquez	Tahuexco	thx	14.07	-91.65
4	Escuintla	Tecoate	tcj	13.97	-91.36
5	Escuintla	Sipacate	spc	13.92	-91.15
6	Escuintla	Puerto San José	psj	13.9	-90.8
7	Santa Rosa	Monterrico	mtr	13.88	-90.5
8	Santa Rosa	Las Lisas	lls	13.79	-90.27
9	Izabal	Bahía de Amatique	bha	15.8	-88.67
10	Izabal	Punta de Manabique	pum	15.98	-88.56
11	Izabal	El Quetzalito	qtz	15.8	-88.27

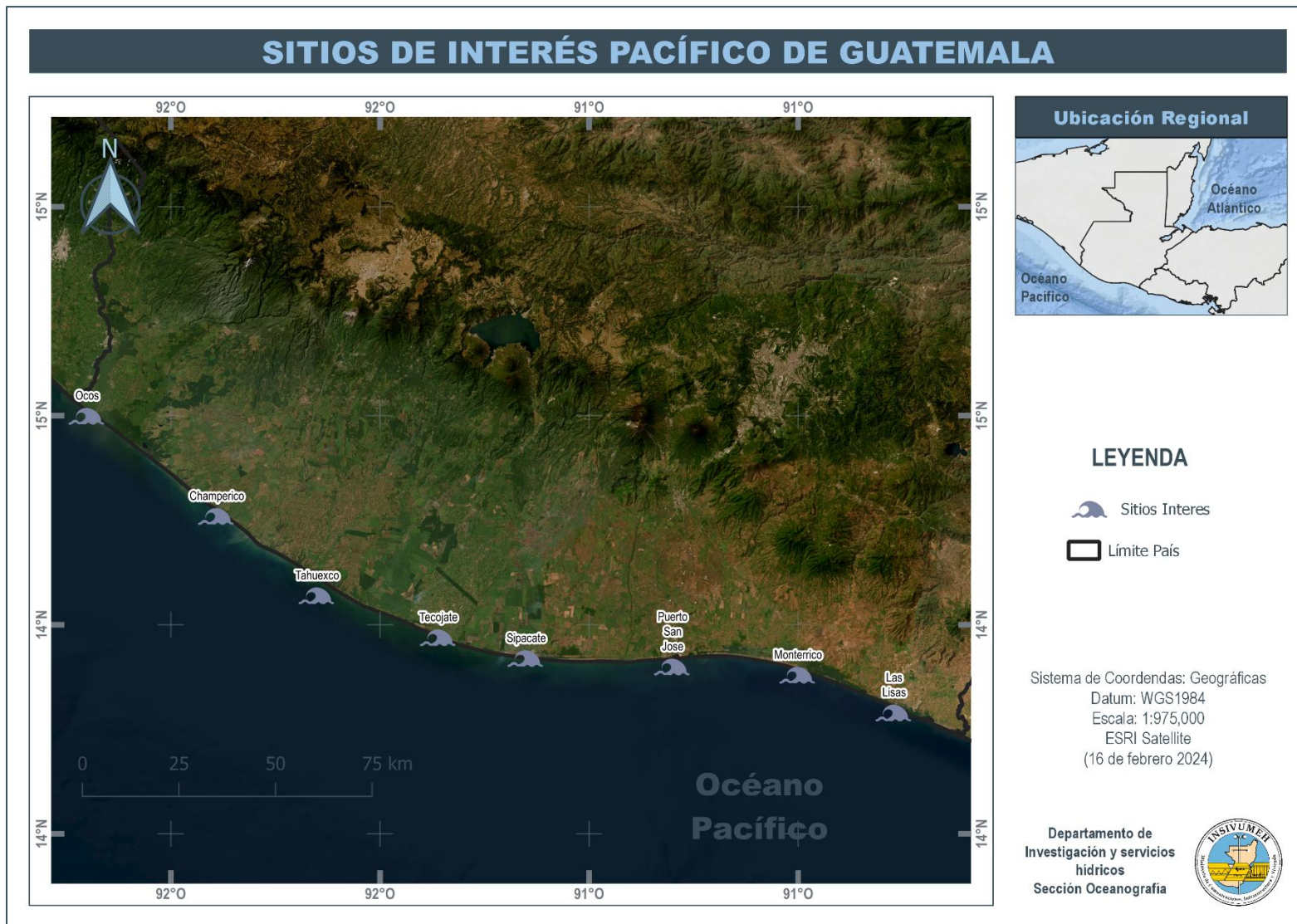


Figura 6.2: Sitios de interes en el Pacífico de Guatemala

SITIOS DE INTERÉS ATLÁNTICO DE GUATEMALA

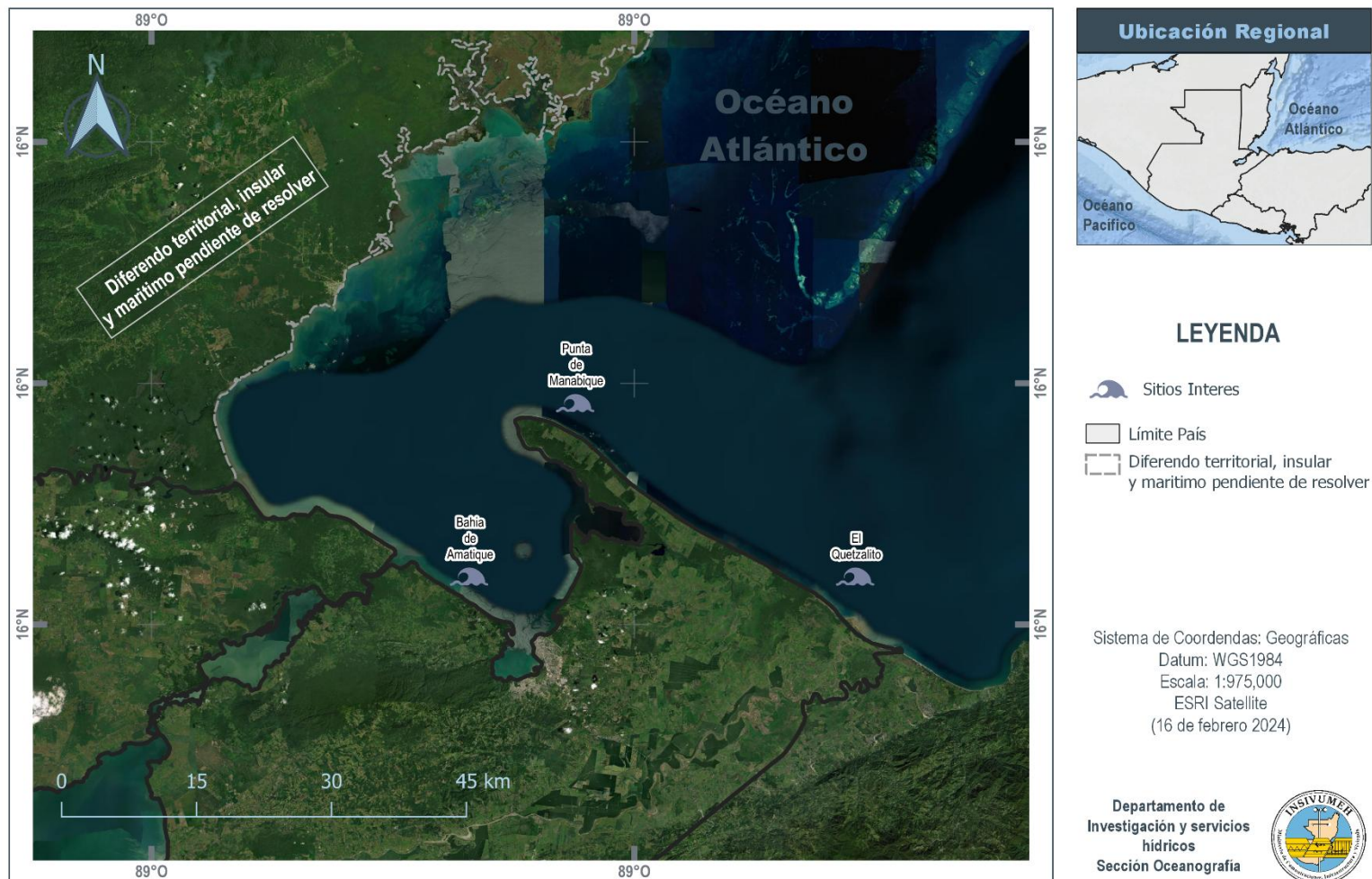


Figura 6.3: Sitios de interes en el Atlántico de Guatemala

7. Fuentes de Información

7.1. Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica – OBPG

El Grupo de Procesamiento de Biología Oceánica (OBPG, por sus siglas en inglés) actúa como el centro de archivos para los datos de biología oceánica producidos o recopilados en el marco del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS, por sus siglas en inglés). Dicho grupo se encarga de recopilar, procesar, calibrar y validar los datos obtenidos de misiones operativas de teledetección por medio de satélites desde 1996 (Bailey, s.f.-b).

Dentro de las herramientas que provee el OBPG para acceder a los datos, se encuentra el “Navegador de datos de nivel-3” (Bailey, s.f.-a), desde el cual se puede descargar datos de diversos satélites y variables oceanográficas de interés.

A continuación, se brinda una breve descripción de los cuatro satélites de los cuales se descargan datos de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a utilizando el Navegador de datos de nivel 3 desde la plataforma Ocean Color de la OBPG.

7.1.1. Terra

Terra es un satélite conocido originalmente como EOS-AM 1 que fue lanzado en diciembre de 1999 y cuenta con 5 sensores para observar la Tierra. Dentro de estos sensores se encuentra un Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS, por sus siglas en inglés). MODIS fue diseñado para obtener imágenes atmosféricas, terrestres y oceánicas con un mismo instrumento («Modis Components», s.f.).

De los productos de nivel 3 (L3) disponibles a partir de los datos registrados por Terra, se utiliza la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila a, obteniendo de esta última los siguientes valores estadísticos de la validación de los datos registrados del satélite, contra los medidos *in situ*, realizado por el OBPG (Cuadro 7.1).

Cuadro 7.1: Validación de mediciones satelitales contra datos *in situ* para Clorofila- α del satélite Terra, mostrando el nombre del dato analizado (Producto), el número de muestras (#), el valor de R^2 entre los valores calculados con los datos satelitales y los datos *in situ* (R^2), el valor de la Raíz Cuadrática Media del Error (RMSE), el rango de datos calculados (Rango Terra) y el rango de datos medidos (Rango *in situ*) (Bailey, 2014).

Producto	#	R^2	RMSE	Rango Terra	Rango <i>in situ</i>
chlor_a	1167	0.75432	0.33462	0.03276 - 135.68965	0.000100 - 50.84000

Se considera importante mencionar que en el año 2018 se hizo una recalibración (Bailey, 2014) y hay datos de validación más actualizados, para dicha validación no se encuentran los valores de clorofila- α .

7.1.2. Aqua

Aqua, también conocido como EOS-PM 1, es un satélite que fue lanzado en mayo de 2002 y cuenta con 6 sensores para recopilar información sobre el ciclo del agua en la Tierra. Este a su vez también es capaz de medir otras variables como la cubierta vegetal terrestre, el fitoplancton y la materia orgánica disuelta en los océanos («Aqua earth-observing satellite mission», s.f.). Dentro de los instrumentos equipados en Aqua se encuentra un sensor MODIS, similar al instalado en Terra. Ambos cuentan con 36 bandas espectrales, de las cuales desde la 8 hasta la 16 son específicamente para color del océano, fitoplancton y biogeoquímica (Frazier, s.f.).

Aqua ha estado orbitando por más de 20 años y ya superó su vida útil. En enero de 2022 comenzó a estar a la deriva, pero se espera que el satélite continúe en operaciones al menos hasta el año 2027 cuando comiencen las labores de desmantelamiento («AquaStatus aqua.nasa.gov», s.f.). Su estado actual es completamente operativo y sin problemas actuales en los sistemas. A continuación, se presentan los valores estadísticos de la validación de los datos registrados del satélite Aqua, contra los medidos *in situ*, realizados por el OBPG (Cuadro 7.2).

Cuadro 7.2: Validación de mediciones satelitales contra datos *in situ* para Clorofila- α del satélite Aqua, mostrando el nombre del dato analizado (Producto), el número de muestras (#), el valor de R^2 entre los valores calculados con los datos satelitales y los datos *in situ* (R^2), el valor de la Raíz Cuadrática Media del Error (RMSE), el rango de datos calculados (Rango Terra) y el rango de datos medidos (Rango *in situ*) (Bailey, 2014).

Producto	#	Sesgo medio	Error Absoluto medio	Rango Aqua	Rango <i>in situ</i>
chlor_a	1347	1.16723	1.68849	0.02107 – 58.28675	0.01900 – 58.09900

7.1.3. Suomi NPP

El Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) es un satélite meteorológico que fue lanzado en octubre de 2011. Fue diseñado para dar continuidad a las misiones anteriores del Sistema de Observación de la Tierra (EOS, por sus siglas en inglés) y como prototipo para el Sistema Conjunto de Satélites Polares (JPSS, por sus siglas en inglés) («Suomi NPP (National Polar-orbiting Partnership)», s.f.). El satélite cuenta con 5 sensores para vigilar información del medio ambiente y del clima del planeta, dentro de los cuales está el conjunto de radiómetros de imágenes infrarojas/visibles (VIIRS, por sus siglas en inglés). Su estado actual es completamente operacional y sin problemas actuales en los sistemas. Su vida útil ha sido extendida hasta 2026.

De los productos de nivel 3 (L3) disponibles a partir de los datos registrados por SNPP, se utiliza la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a. De esta última, se tienen los siguientes valores estadísticos de la validación de los datos registrados del satélite, contra los medidos *in situ*, realizado por el OBPG (Cuadro 7.3).

Cuadro 7.3: Validación de mediciones satelitales contra datos *in situ* para Clorofila-a del Satélite SNPP, mostrando el nombre del dato analizado (Producto), el número de muestras (#), el valor del Sesgo medio entre los valores calculados con los datos satelitales y los datos *in situ* (Sesgo medio), el valor del Error Absoluto medio (Error Absoluto medio), el rango de datos calculados (Rango SNPP) y el rango de datos medidos (Rango *in situ*) («VIIRS-SNPP Ocean Color Reprocessing 2022.0», 2022).

Producto	#	Sesgo medio	Error Absoluto medio	Rango SNPP	Rango <i>in situ</i>
chlor_a	322	1.24363	1.58734	0.02731 – 87.18279	0.01900 – 58.09900

7.1.4. NOAA 20

NOAA 20 es un satélite conocido originalmente como JPSS-1 y que cambió su nombre después de ser lanzado en noviembre de 2017. Forma parte del JPSS y cuenta con la misma órbita que SNPP, pero con una separación temporal de 50 minutos. En conjunto, VIIRS observa la superficie terrestre dos veces por día, cruzando el ecuador aproximadamente 14 veces por día por cada satélite. («VIIRS Overview», s.f.). Cuenta con 22 bandas espectrales que varían entre el infrarrojo cercano visible (VNIR, por sus siglas en inglés) y el infrarrojo térmico (TIR, por sus siglas en inglés). Su estado actual es completamente operacional y sin problemas actuales en los sistemas. De los productos de nivel 3 (L3) disponibles a partir de los datos registrados por SNPP, se utiliza el producto de Concentración de Clorofila- α .

7.2. Coral Reef Watch

El sistema de Vigilancia de Arrecifes de Coral (CRW, por sus siglas en inglés) es un conjunto de productos diseñados para monitorear y evaluar el riesgo de blanqueamiento de corales. Dicho sistema brinda información sobre Temperatura Superficial del Mar (TSM), Anomalía de la TSM, puntos calientes de blanqueo de coral, grados de calentamiento semanales y áreas de alerta de blanqueamiento. Actualmente se encuentra en su versión v3.1 (publicada en agosto de 2018) la cual al contar con una climatología mejorada permite tener una resolución de 5 km por píxel y con registros desde 1985 hasta la actualidad (Watch, s.f.).

De CRW se extraen datos de TSM y de la anomalía de la TSM. A continuación, se describe brevemente la metodología de reanálisis de ambas variables.

7.2.1. Temperatura Superficial del Mar

Los datos de TSM, denominados CoralTemp por el CRW, se obtienen a partir de la combinación de tres conjuntos de datos satelitales de nivel 4 (Earth Science Data Systems, 2016): 1) “SST and Sea Ice Reanalysis” de la oficina meteorológica del Reino Unido, con datos de enero de 1985 a noviembre de 2002; 2) “Geo-Polar Blended SST reanalysis” de la NOAA con datos de noviembre 2002 a octubre 2016; y 3) “Geo-Polar Blended SST” (Harris et al., 2017) de la NOAA con datos de octubre de 2016 a la actualidad.

Los valores de CoralTemp proporcionan una medida de la temperatura nocturna del océano en la superficie del mar a 0.2 metros de profundidad (Watch, s.f.). Esto se debe a que durante la noche, las temperaturas del agua y cerca de la superficie son verticalmente uniformes y con ello se evitan los efectos del calentamiento diurno y la contaminación en los datos por el resplandor solar (Watch, s.f.).

7.2.2. Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar

Para determinar la normal climática, con la cual comparar y determinar una anomalía, CRW utiliza los datos diarios globales de los años 1985 a 2012 de CoralTemp v3.1. Para cada año, se calculan las doce medias mensuales por píxel, y con las 336 medias obtenidas en total se calcula una climatología mensual por píxel, capturando así la variabilidad interanual de la TSM (Heron et al., 2014).

Partiendo de esta climatología de CRW, se puede calcular el valor diario de la Anomalía de la temperatura superficial del mar mediante la siguiente ecuación:

$$ATSM = TSM - DC \quad (1)$$

Donde ATSM es el valor para la Anomalía, TSM es el valor para el día del cálculo y DC es la climatología diaria correspondiente para el día del cálculo derivada de la media mensual (MM). Dicho valor se asigna al día 15 del mes correspondiente y los días comprendidos entre esas fechas se obtienen mediante una interpolación lineal. Cabe aclarar que las anomalías son menos fiables en latitudes altas, donde las nubes son más persistentes y por lo tanto se cuenta con menor cantidad de datos disponibles.

Los valores de anomalía muy pequeños (± 0.2 °C) se consideran como climatológicamente normales, ya que, por la precisión y exactitud de los instrumentos satelitales pueden presentarse ciertas variaciones (Watch, s.f.).

7.3. NOAA Coastwatch program

El programa de vigilancia costera de la NOAA (NOAA Coastwatch Program), es una plataforma diseñada para brindar fácil acceso a datos satelitales para aplicarlos en temas oceánicos, costeros y de aguas interiores en beneficio de la sociedad («NOAA Coastwatch Program», s.f.). Busca ser una interfaz de datos satelitales e *in situ* globales y regionales, para el uso de personas interesadas, investigadores, meteorólogos y tomadores de decisiones de la NOAA y externos.

Dentro de las herramientas que provee para la búsqueda de datos se encuentra el Portal de datos CoastWatch (CoastWatch, 2018). Este es un portal que permite visualizar distintas capas de diversas variables oceanográficas que pueden desactivarse en el panel de “Capas de datos Coastwatch” y también puede fijarse la fecha de visualización. Los datos disponibles en el portal pueden descargarse como conjuntos de datos o también en formato NetCDF.

7.3.1. SMAP

La misión Humedad del Suelo Activo Pasivo (SMAP, por sus siglas en inglés) fue diseñada para comprender de mejor forma el agua terrestre, midiendo la saturación del agua en el suelo por su importancia en el ciclo del agua sobre la Tierra. Fue lanzada en enero de 2015 y sus instrumentos comenzaron con observaciones en abril del mismo año. El satélite está compuesto por dos instrumentos, un radar de banda L (activo) y un radiómetro de banda L (pasivo). Ambos instrumentos comparten una misma bocina de alimentación y un reflector de malla.

Aunque su diseño original era para medir humedad, su radiómetro también permite medir la Salinidad Superficial del Mar (SSM) con un ancho de barrido de 25 km (Fore et al., 2019). De los productos de nivel 3 (L3) disponibles a partir de los datos registrados por el programa SMAP, se utiliza el producto de Salinidad Superficial del Mar.

De los productos de nivel 3 (L3) disponibles a partir de los datos registrados por el programa SMAP, se utiliza el producto de Salinidad Superficial del Mar –SSM-. Los datos de SSM tienen una precisión de 0.5 – 1.5 PSU (Unidades Prácticas de Salinidad) para una sola observación y de 0.1 PSU para una media de 10-30 días para un área de océano abierto de 200 x 200 km («SMOS Overview - Mission Background», s.f.).

7.4. Estaciones Mareográficas

Actualmente INSIVUMEH cuenta con tres estaciones mareográficas ubicadas en Izabal, Escuintla y Retalhuleu (Cuadro 7.4).

La estación cuenta con un sensor OTT RLS, un sensor de radar de no contacto, con tecnología de pulso, el cual mide el promedio del nivel del mar a cada minuto. Se encuentra conectado a un registrador de datos OTT netDL que registra los datos, y los transmite a través de un transmisor de satélite OTT HDR 1200. Después de transmitidos, los datos son almacenados en la página del Sea Level Station Monitoring Facility («Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) (2025): Sea level station monitoring facility», 2025), y posteriormente descargados para su procesamiento.

Cuadro 7.4: Información de las estaciones mareográficas propiedad de INSIVUMEH.

No.	Departamento	Sitio	Latitud	Longitud	Inicio de operaciones
1	Izabal	Comando Naval del Caribe	15.6946	-88.6220	Diciembre – 2014
2	Escuintla	Comando Naval del Pacifico	13.9222	-90.8010	Junio – 2023
3	Retalhuleu	Empresa Portuaria Nacional de Champerico	14.2966	-91.9157	Marzo – 2024

7.5. Efemérides

La información de las efemérides lunares se realiza con base en el paquete “suncalc” para acceder a dicho paquete se utiliza el lenguaje de programación “R” (Thieurmél & Elmarhraoui, 2023). Dicho paquete proporciona información sobre la posición y fase del sol, así como posición y fases lunares, partiendo de las ecuaciones descritas en la página “[Astronomy Answers](#)”. Para obtener información de fase lunar y fracción de iluminación se utiliza la función “getMoonIllumination”, la cual clasifica según el valor de fase del día actual asignando entre 0.0 a 1.0 (Cuadro 7.4).

Cuadro 7.4: Clasificación de fases lunares, mostrando el nombre de la Fase Lunar y el valor asignado por la función “getMoonIllumination” (Benoit Thieurmél, 2022).

Fase Lunar		Valor
Luna Nueva		0.00
Cuarto Creciente		0.25
Luna Llena		0.5
Cuarto Menguante		0.75

Según el valor que se calcula con la librería “suncalc” se retorna el nombre de la fase para cada fecha. Con la función “GetMoonTimes”, luego de fijar la Latitud y Longitud deseada, se extrae la información de la hora de puesta y salida con los parámetros “set” y “rise”. Por defecto, estos buscarán la información respecto a la hora local del usuario y es dada en UTC+0. Para la obtención de datos se utilizó la versión de <suncalc> “0.5.1” (Thieurmél & Elmarhraoui, 2023).

7.6. Carta Batimétrica General de los Océanos – GEBCO

La Carta Batimétrica General de los Océanos es una organización sin fines de lucro que funciona bajo los auspicios de la Organización Hidrográfica Internacional (IHO, por sus siglas en inglés) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (IOC, por sus siglas en inglés). El objetivo del GEBCO es proporcionar la información más fiable de batimetría y que esté disponible para todo público (GEBCO, 2020).

Lanzado en abril 2024, el grid “GEBCO_2024” es un modelo global del terreno para el océano y para la superficie terrestre en una cuadrícula de 15 segundos de arco, consta de 43200 filas x 86400 columnas, dando 3.732.480.000 puntos de datos. Los valores de los datos se encuentran registrados en el centro de los píxeles, eso quiere decir que se refieren a elevaciones (en metros) en el centro de las celdas de la cuadrícula (GEBCO, 2024). Los valores de GEBCO son relativos al sistema WGS84 y se obtienen mediante la aplicación de algoritmos e interpolaciones de conjuntos de datos procedentes de varios repositorios internacionales y nacionales e iniciativas cartográficas regionales. Por lo anterior, debe considerarse que los datos del GEBCO_2024 pueden llegar a diferir de mediciones locales más precisas.

7.7. Centro de predicción de Clima – CPC

El Centro de Predicción del Clima (CPC, por sus siglas en inglés), es un servicio climático de los Estados Unidos cuya misión es brindar productos e información en tiempo real para predecir y describir las variaciones climáticas que permitan aumentar la resiliencia de la sociedad al clima. Fue fundado en 1986 por la NOAA y es conocida por sus pronósticos para Estados Unidos en las condiciones de “El Niño” y “La Niña” en el Pacífico tropical, los cuales pone a disposición de los usuarios del sector público, industria privada y la comunidad internacional (NOAA, 2001b). Dentro de los productos que ofrece, está el monitoreo de episodios fríos y calientes por temporada (NOAA, 2001a), donde se muestra el registro histórico del Índice Oceánico del Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Esta información se actualiza automáticamente el primer jueves de cada mes, por lo que los valores del ONI pueden cambiar hasta dos meses después de que se publique el valor inicial (NOAA, 2001a).

8. Batimetría

8.1. Aspectos generales

La importancia de realizar estudios batimétricos, conocer la profundidad y la forma del fondo marino radica en que de esta dependen diversos procesos físicos y nos pueden ayudar a comprender de mejor manera la circulación oceánica, las mareas, la previsión de tsunamis, los recursos pesqueros, el transporte de sedimentos, etc. (GEBCO, 2020).

Dentro de los términos de uso del GEBCO_2024 (GEBCO 2024), se indica:

- La información de **GEBCO NO** debe usarse para la navegación ni para ningún otro propósito que impliquen la seguridad en el mar.
- La cuadrícula de GEBCO se basa en datos batimétricos de muchas fuentes diferentes de calidad y cobertura variables.
- No se puede asumir ninguna responsabilidad aceptada por GEBCO, IHO, COI, o por quienes participen en su creación o publicación cualquier pérdida, lesión o daño consecuente que surja de su uso o para determinar la idoneidad de la rejilla GEBCO para cualquier uso particular.
- Como la información de GEBCO es un producto de información creado por interpolación de medidas de datos, la resolución de la cuadrícula del GEBCO puede ser significativamente diferente a la de la resolución de los datos medidos subyacentes.

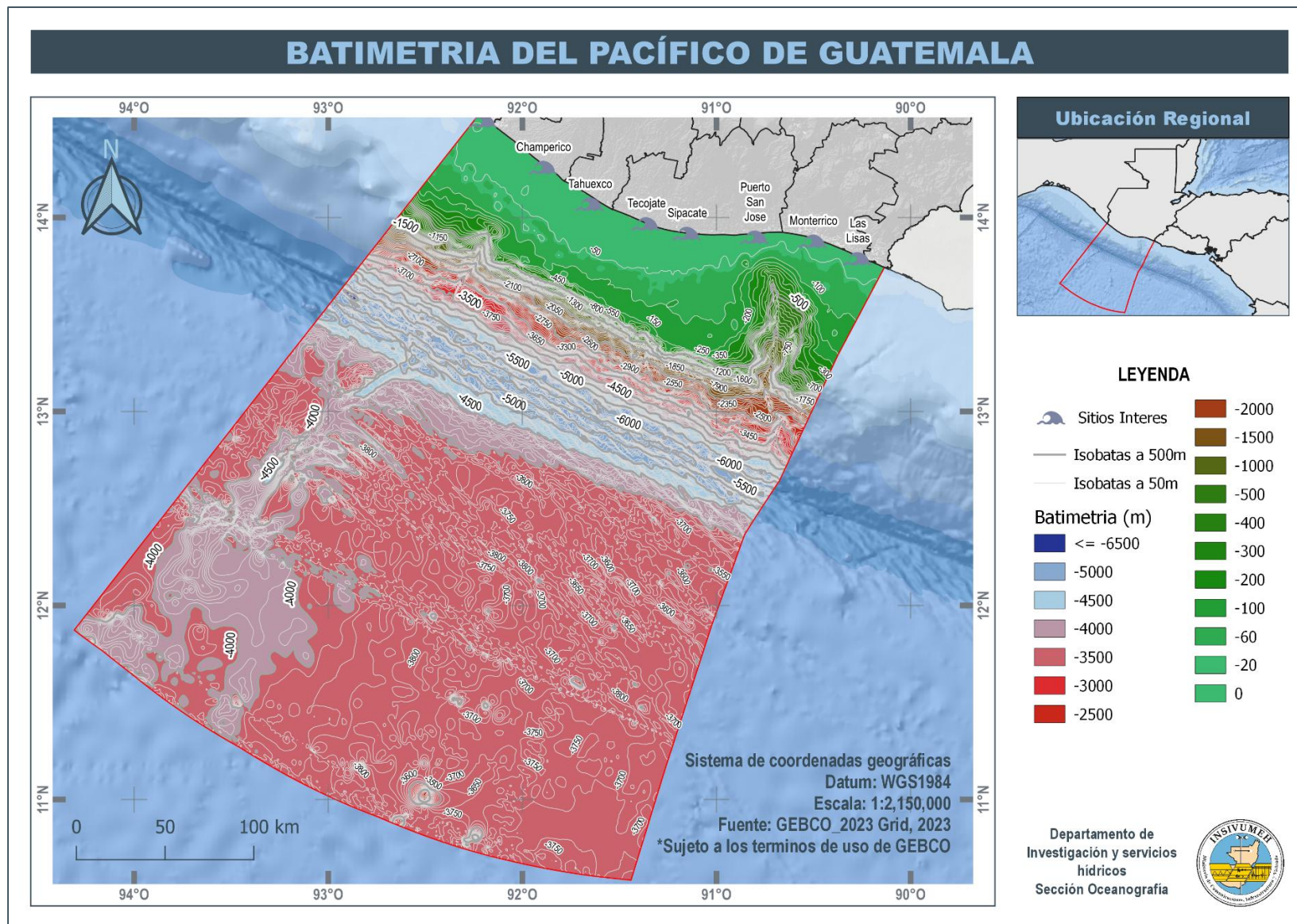


Figura 8.1: Mapa batimétrico del Pacífico guatemalteco

9. Concentración de Clorofila- a en el mar

9.1. Aspectos generales

La clorofila-a es un pigmento fotosintético que se encuentra dentro de las algas microscópicas, y su función consiste en captar la energía lumínica que posteriormente será transformada en energía química (Walsham et al., 2022). El monitoreo de las concentraciones de clorofila-a en el mar a través de sensores remotos, se utiliza para tener un indicador de la biomasa de fitoplancton. A los incrementos abruptos en las poblaciones de microalgas en un período de tiempo corto se les conoce como florecimientos algales, los cuales ocurren de forma natural en los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, existen algunos grupos de microalgas que además de generar oxígeno, producen metabolitos secundarios (Caruana & Amzil, 2018) que de ser consumidos por los humanos pueden causar intoxicaciones. Estos grupos de microalgas provocan florecimientos algales nocivos (FAN), que representan un riesgo para la salud del ser humano, así como de los ecosistemas (REMARCO, s.f.). En los últimos años, alrededor de las aguas costeras se ha notado un aumento en la frecuencia de estos eventos (Grattan et al., 2016), por lo que es de gran relevancia el monitoreo de esta variable oceanográfica.

9.2. Registros

A continuación, se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO) junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO) de clorofila α captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI-NPP y NOAA20 para los 11 puntos de interés.

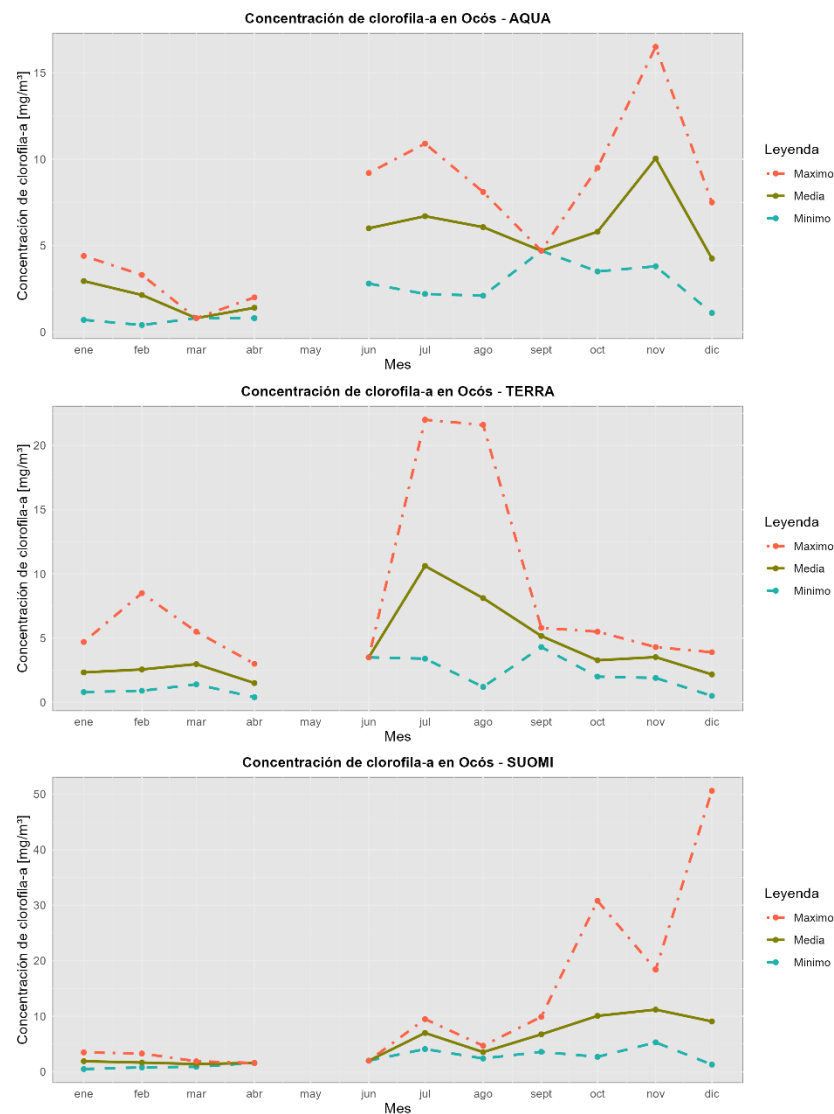
Cuadro 9.1. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Ocos.

Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.94	0.70	30	4.40	23
Febrero	2.14	0.40	1	3.30	4
Marzo	0.80	0.80	1	0.80	1
Abril	1.40	0.80	26	2.00	13
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	6.00	2.80	10	9.20	23
Julio	6.70	2.20	29	10.90	27
Agosto	6.07	2.10	7	8.10	16
Septiembre	4.70	4.70	10	4.70	10
Octubre	5.80	3.50	30	9.50	17
Noviembre	10.04	3.80	3	16.50	31
Diciembre	4.25	1.10	17	7.50	7

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.33	0.80	29	4.70	9
Febrero	2.56	0.90	15	8.50	19
Marzo	2.98	1.40	23	5.50	28
Abril	1.50	0.40	26	3.00	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	3.50	3.50	10	3.50	10
Julio	10.62	3.40	28	22.00	16
Agosto	8.11	1.20	26	21.60	16
Septiembre	5.17	4.30	8	5.80	13
Octubre	3.28	2.00	24	5.50	28
Noviembre	3.52	1.90	4	4.30	11
Diciembre	2.17	0.50	16	3.90	13

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.91	0.50	30	3.50	9
Febrero	1.66	0.80	27	3.30	5
Marzo	1.40	0.90	8	1.90	5
Abril	1.60	1.60	14	1.60	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.00	2.00	31	2.00	31
Julio	7.00	4.10	9	9.50	22
Agosto	3.55	2.40	12	4.70	17
Septiembre	6.75	3.60	18	9.90	2
Octubre	10.08	2.70	25	30.80	6
Noviembre	11.20	5.30	27	18.40	30
Diciembre	9.08	1.30	16	50.60	13



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.27	0.40	27	4.60	8
Febrero	1.91	0.40	1	4.00	4
Marzo	3.23	1.10	11	4.90	27
Abril	2.00	2.00	15	2.00	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	3.00	3.00	25	3.00	25
Julio	8.09	4.30	14	18.30	24
Agosto	5.60	2.70	12	11.20	22
Septiembre	4.45	3.40	12	6.80	6
Octubre	4.49	2.20	31	6.40	6
Noviembre	7.99	3.60	5	17.10	31
Diciembre	6.19	0.90	16	12.80	9

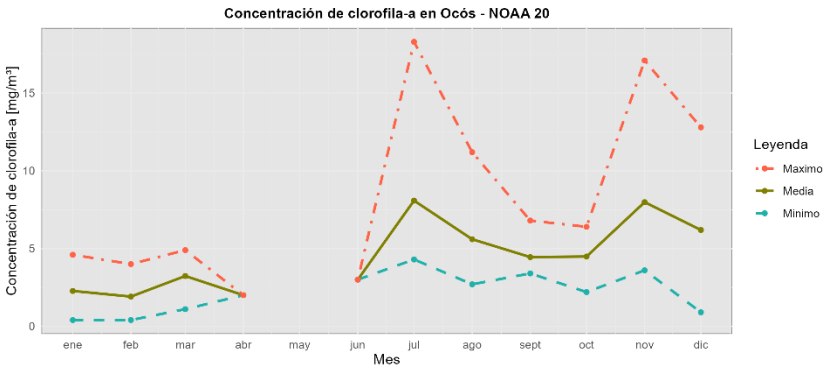


Figura 9.1: Tendencia de la clorofila α en Ocos, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades *mg/m³*

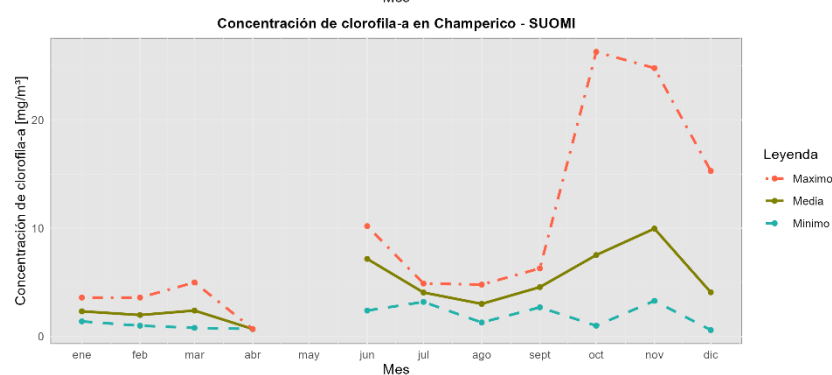
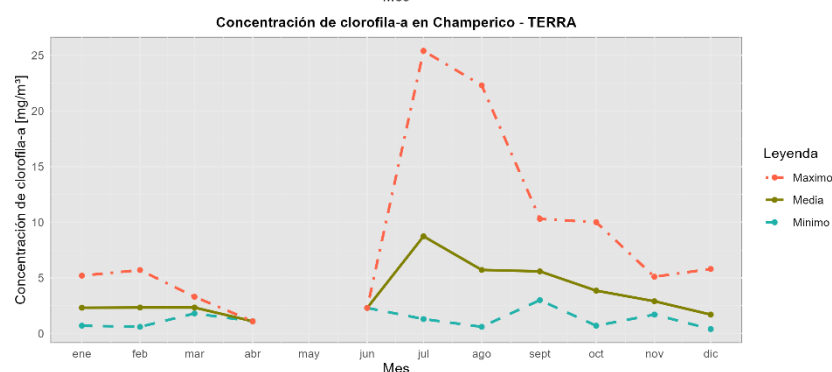
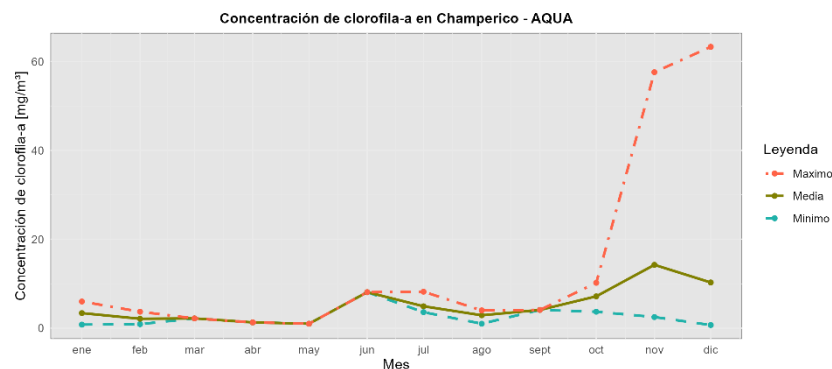
Cuadro 9.2. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Champerico.

Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.39	0.80	23	6.00	25
Febrero	2.12	0.90	11	3.70	4
Marzo	2.20	2.20	1	2.20	1
Abril	1.30	1.30	13	1.30	13
Mayo	1.00	1.00	25	1.00	25
Junio	8.10	8.10	23	8.10	23
Julio	4.93	3.60	22	8.20	14
Agosto	2.90	1.00	19	4.00	29
Septiembre	4.10	4.10	5	4.10	5
Octubre	7.16	3.70	25	10.20	17
Noviembre	14.25	2.50	10	57.60	29
Diciembre	10.28	0.70	15	63.30	3

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.31	0.70	22	5.20	26
Febrero	2.33	0.60	8	5.70	19
Marzo	2.33	1.80	23	3.30	5
Abril	1.10	1.10	15	1.10	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.30	2.30	10	2.30	10
Julio	8.73	1.30	28	25.40	11
Agosto	5.71	0.60	26	22.30	22
Septiembre	5.59	3.00	15	10.30	31
Octubre	3.85	0.70	29	10.00	17
Noviembre	2.90	1.70	16	5.10	24
Diciembre	1.70	0.40	22	5.80	5

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.33	1.40	14	3.60	9
Febrero	1.99	1.00	10	3.60	4
Marzo	2.40	0.80	30	5.00	27
Abril	0.70	0.70	14	0.70	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	7.18	2.40	29	10.20	26
Julio	4.07	3.20	22	4.90	16
Agosto	3.02	1.30	12	4.80	29
Septiembre	4.57	2.70	16	6.30	18
Octubre	7.53	1.00	29	26.30	6
Noviembre	9.97	3.30	27	24.80	28
Diciembre	4.09	0.60	15	15.30	6



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.82	0.90	23	3.80	9
Febrero	1.95	0.60	10	4.40	4
Marzo	2.10	0.80	1	3.60	27
Abril	1.15	0.90	15	1.40	10
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.80	2.80	10	2.80	10
Julio	5.31	1.80	21	12.30	2
Agosto	2.42	1.30	19	5.20	22
Septiembre	5.05	2.80	12	7.70	1
Octubre	3.49	1.80	26	8.20	6
Noviembre	5.34	1.80	5	9.10	23
Diciembre	3.65	1.00	14	8.50	3

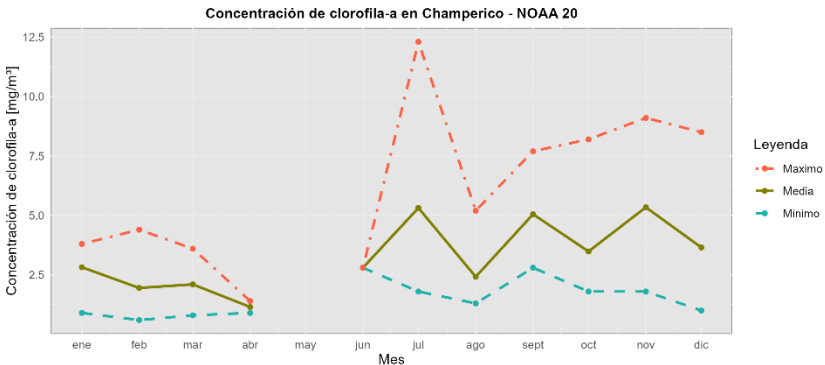


Figura 9.2: Tendencia de la clorofila α en Champerico, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

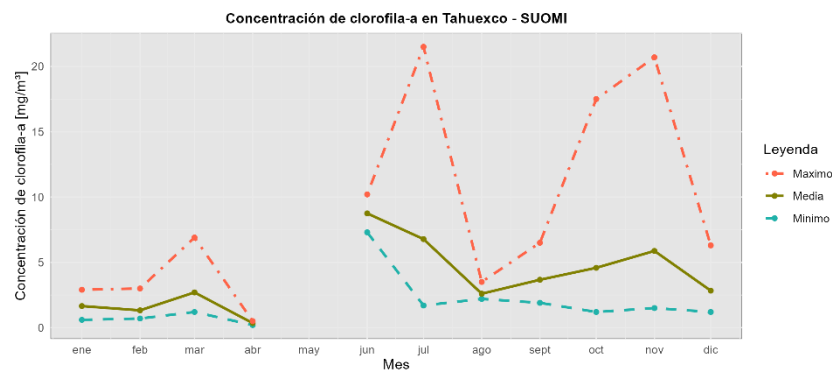
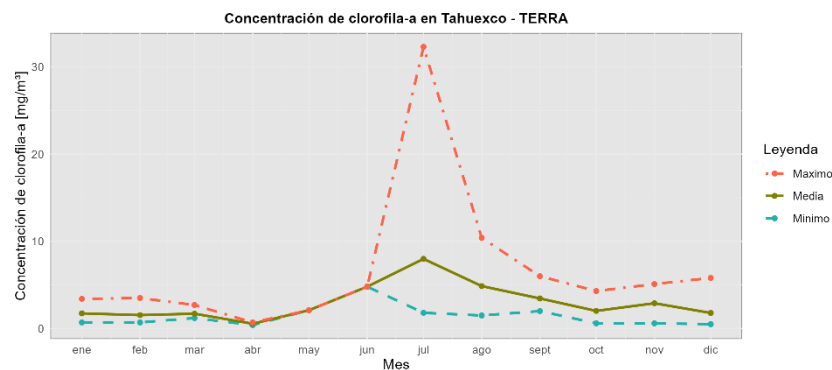
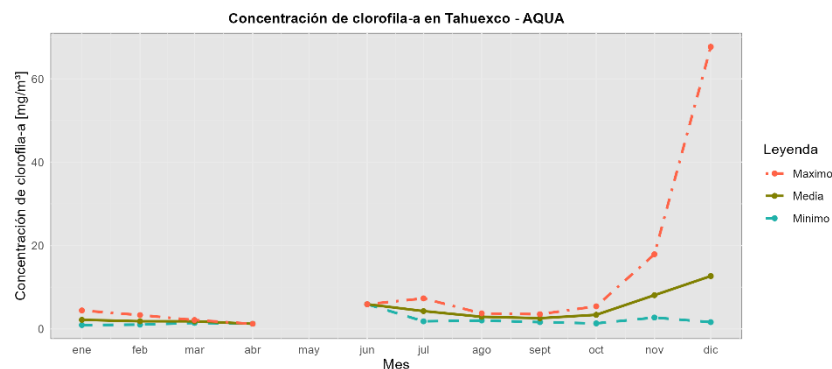
Cuadro 9.3. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Tahuexco.

Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.15	0.90	23	4.40	2
Febrero	1.81	1.00	13	3.30	4
Marzo	1.80	1.40	1	2.10	21
Abril	1.20	1.20	13	1.20	13
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	5.90	5.90	23	5.90	23
Julio	4.25	1.80	27	7.30	14
Agosto	2.88	2.00	22	3.70	27
Septiembre	2.55	1.60	17	3.50	3
Octubre	3.36	1.30	30	5.40	23
Noviembre	8.07	2.70	10	17.90	29
Diciembre	12.66	1.60	15	67.70	3

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.74	0.70	22	3.40	9
Febrero	1.54	0.70	10	3.50	19
Marzo	1.70	1.20	10	2.70	23
Abril	0.55	0.40	26	0.70	15
Mayo	2.10	2.10	14	2.10	14
Junio	4.80	4.80	23	4.80	23
Julio	7.99	1.80	1	32.30	11
Agosto	4.87	1.50	25	10.40	16
Septiembre	3.45	2.00	8	6.00	31
Octubre	2.02	0.60	29	4.30	15
Noviembre	2.90	0.60	4	5.10	26
Diciembre	1.79	0.50	16	5.80	5

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.65	0.60	16	2.90	1
Febrero	1.33	0.70	10	3.00	4
Marzo	2.70	1.20	8	6.90	27
Abril	0.35	0.20	31	0.50	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	8.75	7.30	31	10.20	26
Julio	6.78	1.70	8	21.50	23
Agosto	2.60	2.20	29	3.50	17
Septiembre	3.67	1.90	16	6.50	2
Octubre	4.58	1.20	29	17.50	6
Noviembre	5.88	1.50	9	20.70	24
Diciembre	2.83	1.20	29	6.30	9



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.77	0.70	27	2.90	9
Febrero	1.52	0.60	22	3.50	4
Marzo	1.74	0.70	1	4.30	27
Abril	0.53	0.40	16	0.60	5
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.95	1.40	10	4.50	25
Julio	4.32	1.20	27	7.80	14
Agosto	2.52	1.60	19	3.90	18
Septiembre	2.76	0.70	18	5.30	6
Octubre	2.81	1.30	31	5.30	8
Noviembre	4.71	2.20	10	8.60	24
Diciembre	3.67	1.10	24	10.10	19

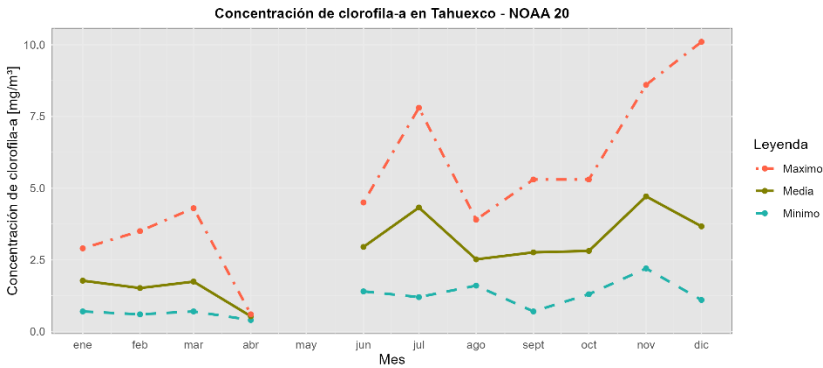


Figura 9.3: Tendencia de la clorofila α en Tahuexco, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

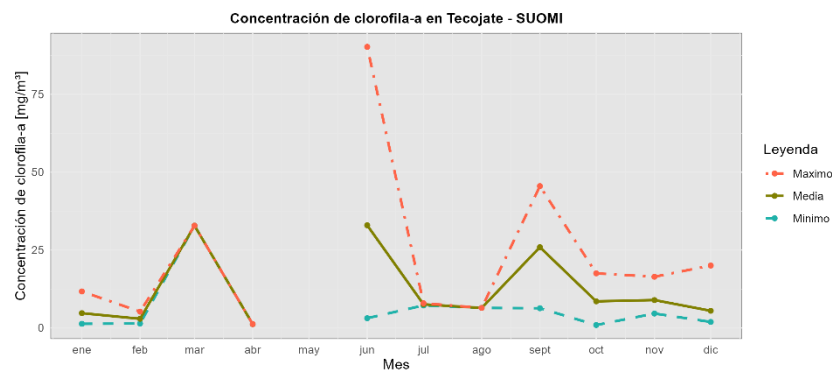
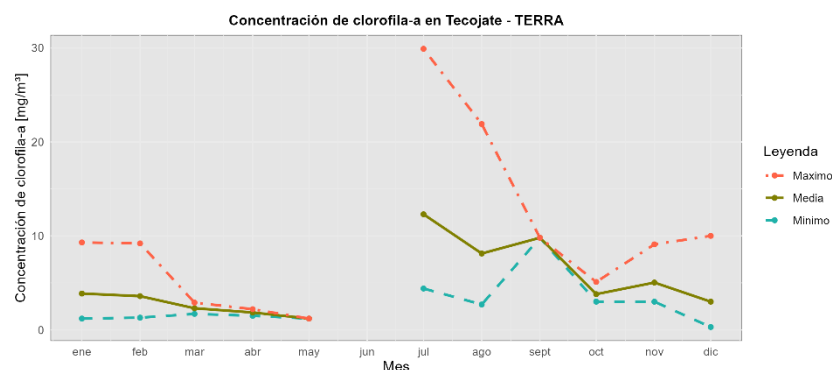
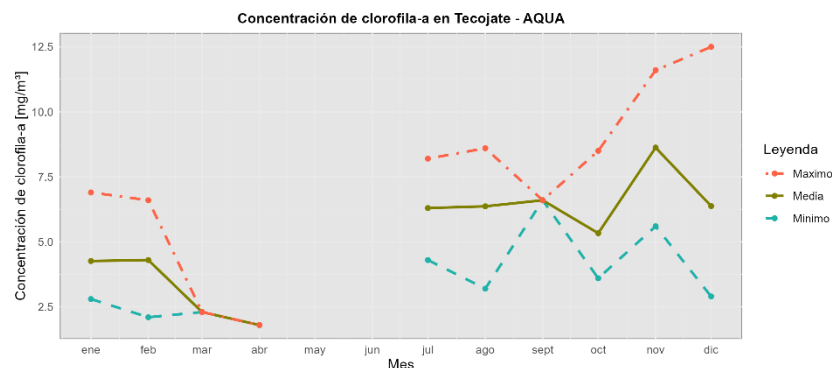
Cuadro 9.4. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Tecojate.

Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.26	2.80	25	6.90	18
Febrero	4.30	2.10	26	6.60	11
Marzo	2.30	2.30	1	2.30	1
Abril	1.80	1.80	13.00	1.80	13.00
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	-	-	-	-	-
Julio	6.30	4.30	22	8.20	16
Agosto	6.37	3.20	16	8.60	27
Septiembre	6.60	6.60	17	6.60	17
Octubre	5.33	3.60	30	8.50	7
Noviembre	8.63	5.60	28	11.60	31
Diciembre	6.38	2.90	5	12.50	10

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.87	1.20	22	9.30	19
Febrero	3.59	1.30	10	9.20	19
Marzo	2.30	1.70	10	2.90	5
Abril	1.85	1.50	15	2.20	26
Mayo	1.20	1.20	14	1.20	14
Junio	-	-	-	-	-
Julio	12.30	4.40	2	29.90	16
Agosto	8.13	2.70	14	21.90	22
Septiembre	9.80	9.80	13	9.80	13
Octubre	3.80	3.00	6	5.10	28
Noviembre	5.03	3.00	27	9.10	24
Diciembre	3.00	0.30	22	10.00	10

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.72	1.30	26	11.70	24
Febrero	2.91	1.40	22	5.20	4
Marzo	32.80	32.80	27	32.80	27
Abril	1.20	1.20	14	1.20	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	32.93	3.10	12	90.20	26
Julio	7.55	7.20	8	7.90	2
Agosto	6.40	6.40	17	6.40	17
Septiembre	25.90	6.30	16	45.50	18
Octubre	8.51	0.90	29	17.50	6
Noviembre	8.92	4.60	26	16.40	31
Diciembre	5.48	1.90	6	20.00	10



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.19	1.60	25	7.70	19
Febrero	3.34	2.00	30	5.60	4
Marzo	7.60	2.10	5	17.80	27
Abril	2.10	2.10	15	2.10	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	7.93	2.10	10	15.90	24
Julio	5.68	2.50	15	8.40	2
Agosto	4.24	1.40	8	10.10	18
Septiembre	6.40	6.40	12	6.40	12
Octubre	5.43	3.20	25	8.80	9
Noviembre	7.75	2.20	10	22.90	31
Diciembre	5.52	1.90	6	17.70	9

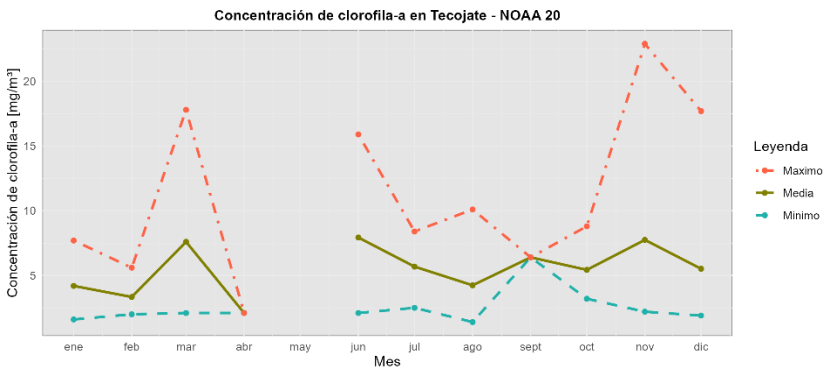


Figura 9.4: Tendencia de la clorofila α en Tecojate, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

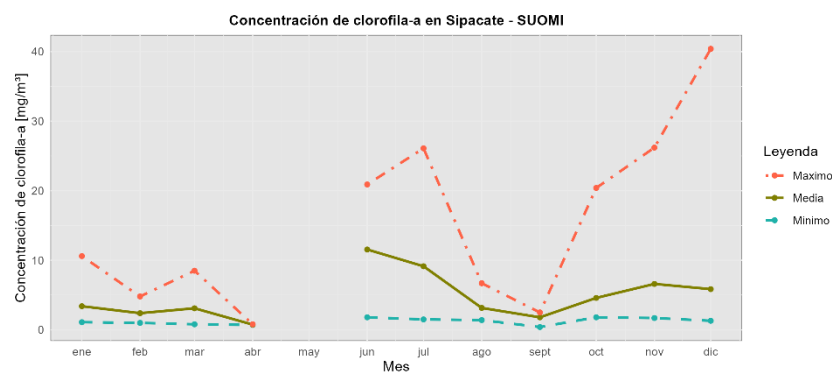
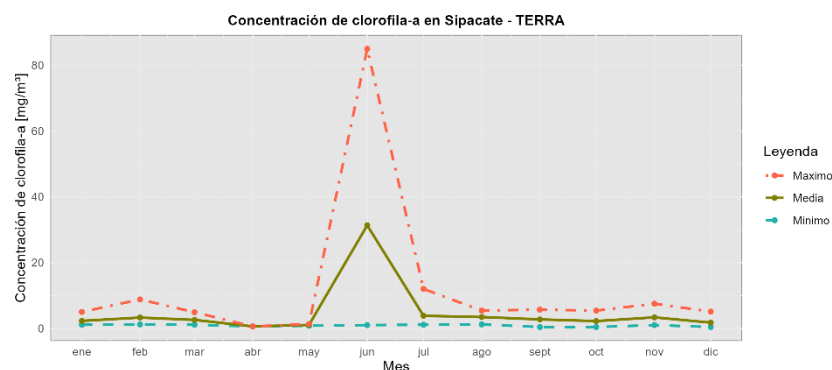
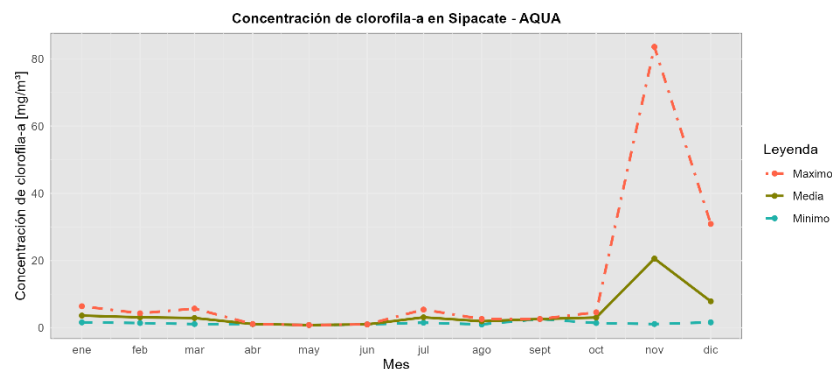
Cuadro 9.5. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Sipacate.

Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.61	1.60	10	6.40	23
Febrero	3.10	1.40	26	4.30	4
Marzo	2.90	1.10	1	5.70	8
Abril	1.10	1.10	1.00	1.10	1.00
Mayo	0.80	0.80	14	0.80	14
Junio	1.00	1.00	10	1.00	10
Julio	3.10	1.50	22	5.40	11
Agosto	1.94	1.00	29	2.60	27
Septiembre	2.60	2.60	17	2.60	17
Octubre	3.04	1.40	9	4.60	23
Noviembre	20.59	1.10	3	83.60	24
Diciembre	7.87	1.60	13	30.90	3

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.28	1.10	10	5.00	19
Febrero	3.28	1.20	23	8.80	19
Marzo	2.58	1.10	5	4.90	30
Abril	0.60	0.60	15	0.60	15
Mayo	1.05	0.80	19	1.30	14
Junio	31.33	1.00	10	85.00	25
Julio	3.82	1.10	23	12.00	16
Agosto	3.45	1.20	25	5.40	16
Septiembre	2.73	0.40	3	5.70	15
Octubre	2.22	0.40	29	5.40	12
Noviembre	3.34	1.00	3	7.50	31
Diciembre	1.75	0.40	16	5.10	10

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.39	1.10	14	10.60	24
Febrero	2.39	1.00	27	4.80	4
Marzo	3.10	0.80	3	8.50	27
Abril	0.75	0.70	14	0.80	9
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	11.55	1.80	9	20.90	26
Julio	9.14	1.50	22	26.10	2
Agosto	3.15	1.40	18	6.70	26
Septiembre	1.80	0.40	3	2.50	16
Octubre	4.59	1.80	18	20.40	6
Noviembre	6.60	1.70	10	26.20	24
Diciembre	5.85	1.30	16	40.40	9



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.92	1.40	14	6.70	24
Febrero	2.89	1.20	27	4.40	4
Marzo	2.73	0.80	2	8.80	27
Abril	1.03	0.70	15	1.40	5
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	6.00	1.00	10	12.40	24
Julio	3.53	1.20	22	14.10	2
Agosto	2.29	1.50	6	4.80	22
Septiembre	3.90	3.60	14	4.20	12
Octubre	3.41	2.00	9	4.90	30
Noviembre	5.28	1.10	5	12.60	24
Diciembre	3.56	1.30	14	11.40	9

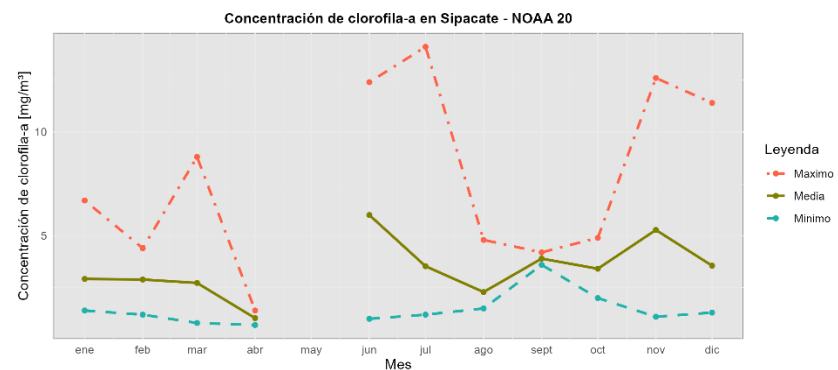


Figura 9.5: Tendencia de la clorofila α en Sipacate, utilizando los datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

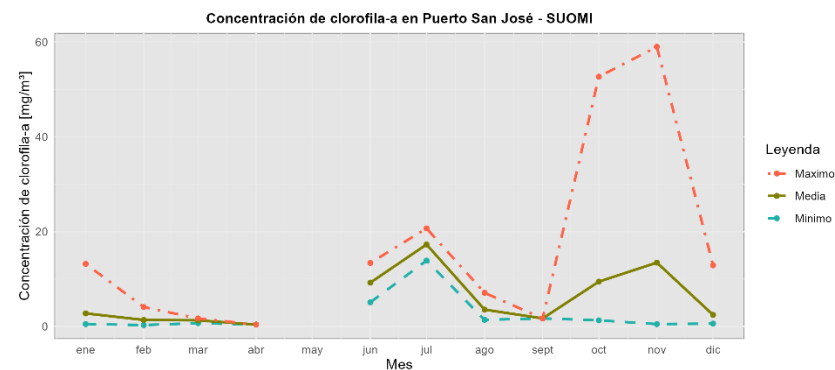
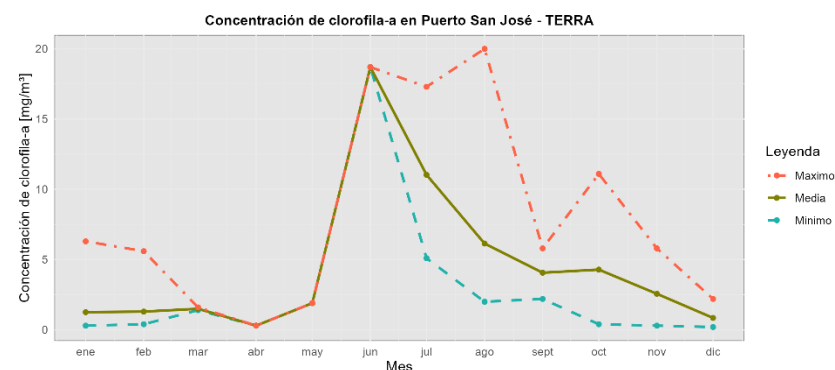
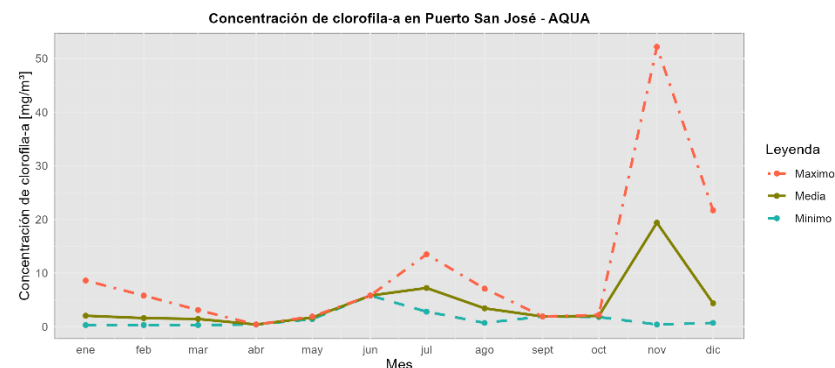
Cuadro 9.6. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Puerto San José.

Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.04	0.30	17	8.60	9
Febrero	1.60	0.30	22	5.80	6
Marzo	1.43	0.30	1	3.10	8
Abril	0.40	0.40	13	0.40	13
Mayo	1.70	1.40	18	1.90	14
Junio	5.80	5.80	10	5.80	10
Julio	7.22	2.80	28	13.50	22
Agosto	3.42	0.70	24	7.10	16
Septiembre	1.90	1.90	17	1.90	17
Octubre	2.00	1.80	9	2.20	25
Noviembre	19.40	0.40	31	52.20	24
Diciembre	4.37	0.70	28	21.70	3

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.26	0.30	22	6.30	9
Febrero	1.30	0.40	30	5.60	7
Marzo	1.50	1.40	30	1.60	5
Abril	0.30	0.30	15	0.30	15
Mayo	1.90	1.90	14	1.90	14
Junio	18.70	18.70	25	18.70	25
Julio	11.03	5.10	14	17.30	16
Agosto	6.14	2.00	10	20.00	16
Septiembre	4.07	2.20	13	5.80	3
Octubre	4.29	0.40	29	11.10	10
Noviembre	2.57	0.30	31	5.80	8
Diciembre	0.85	0.20	1	2.20	21

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.76	0.50	28	13.20	8
Febrero	1.38	0.30	27	4.10	7
Marzo	1.30	0.70	13	1.70	31
Abril	0.40	0.40	14	0.40	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	9.25	5.10	9	13.40	26
Julio	17.30	13.90	8	20.70	23
Agosto	3.56	1.40	26	7.10	17
Septiembre	1.70	1.70	3	1.70	3
Octubre	9.46	1.30	30	52.70	6
Noviembre	13.48	0.50	31	59.00	23
Diciembre	2.44	0.60	1	12.90	7



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.83	0.50	23	5.00	31
Febrero	1.59	0.30	27	6.40	7
Marzo	1.95	1.30	5	2.60	27
Abril	0.57	0.40	13	0.90	5
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	19.25	12.20	25	26.30	24
Julio	6.43	1.40	5	13.60	14
Agosto	4.43	1.40	6	7.60	22
Septiembre	3.92	1.80	12	5.40	1
Octubre	4.33	1.70	26	9.40	6
Noviembre	6.85	0.40	31	15.20	23
Diciembre	2.06	0.60	1	6.10	7

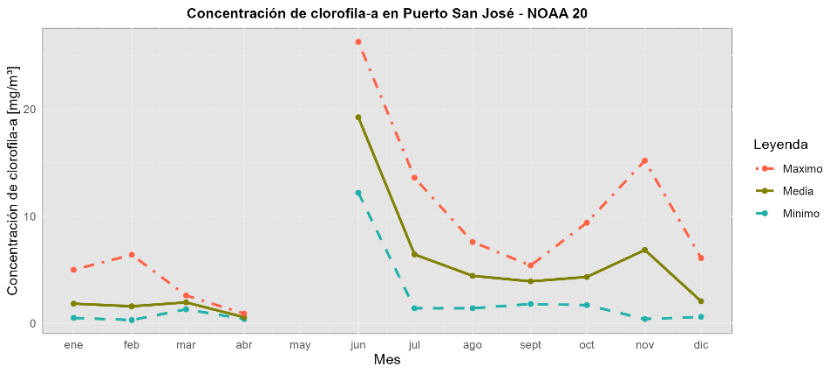


Figura 9.6: Tendencia de la clorofila α en Puerto San José, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m³

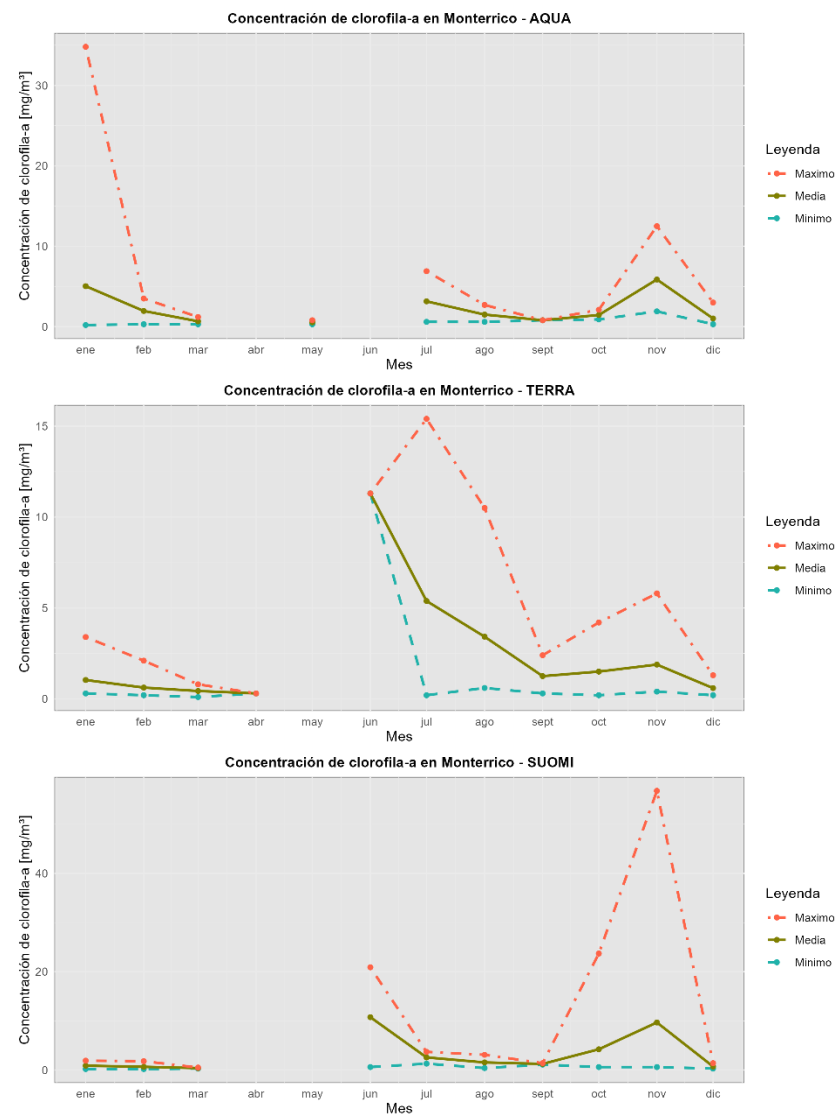
Cuadro 9.7. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Monterrico.

Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	5.04	0.20	3	34.80	18
Febrero	1.95	0.30	26	3.50	1
Marzo	0.67	0.30	1	1.20	28
Abril	-	-	-	-	-
Mayo	0.55	0.30	19	0.80	14
Junio	-	-	-	-	-
Julio	3.15	0.60	27	6.90	16
Agosto	1.50	0.60	27	2.70	19
Septiembre	0.80	0.80	17	0.80	17
Octubre	1.45	0.90	30	2.10	9
Noviembre	5.87	1.90	28	12.50	24
Diciembre	1.02	0.30	23	3.00	3

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.04	0.30	22	3.40	19
Febrero	0.62	0.20	19	2.10	7
Marzo	0.43	0.10	1	0.80	12
Abril	0.30	0.30	15	0.30	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	11.30	11.30	26	11.30	26
Julio	5.38	0.20	28	15.40	16
Agosto	3.42	0.60	27	10.50	22
Septiembre	1.25	0.30	4	2.40	8
Octubre	1.50	0.20	29	4.20	25
Noviembre	1.89	0.40	3	5.80	26
Diciembre	0.59	0.20	23	1.30	17

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.88	0.20	3	1.90	17
Febrero	0.65	0.20	15	1.80	6
Marzo	0.40	0.30	5	0.50	31
Abril	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	10.75	0.60	9	20.90	26
Julio	2.57	1.30	21	3.70	8
Agosto	1.55	0.40	29	3.10	21
Septiembre	1.25	1.10	17	1.40	13
Octubre	4.22	0.60	18	23.70	6
Noviembre	9.68	0.60	9	56.80	23
Diciembre	0.72	0.30	22	1.40	1



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.28	0.20	1	6.80	24
Febrero	0.76	0.20	15	1.90	4
Marzo	0.60	0.30	5	0.90	27
Abril	0.30	0.30	15	0.30	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	8.70	8.70	25	8.70	25
Julio	2.77	0.60	27	5.90	2
Agosto	1.63	0.40	3	7.30	22
Septiembre	0.80	0.30	1	1.30	18
Octubre	4.13	1.70	26	8.90	9
Noviembre	3.04	0.60	9	10.20	23
Diciembre	0.82	0.30	23	2.00	3

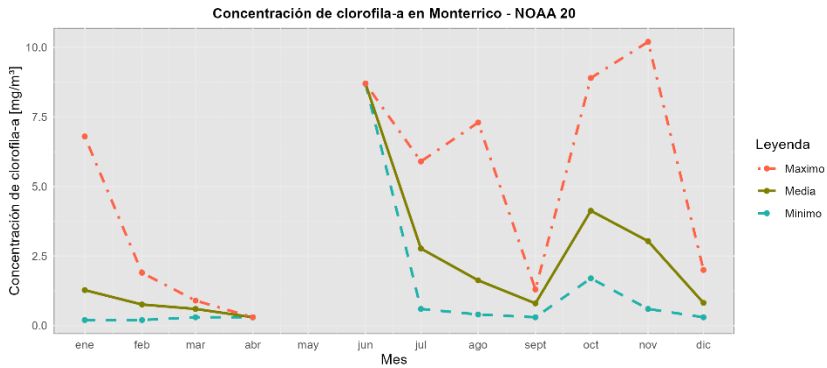


Figura 9.7: Tendencia de la clorofila α en Monterrico, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m³

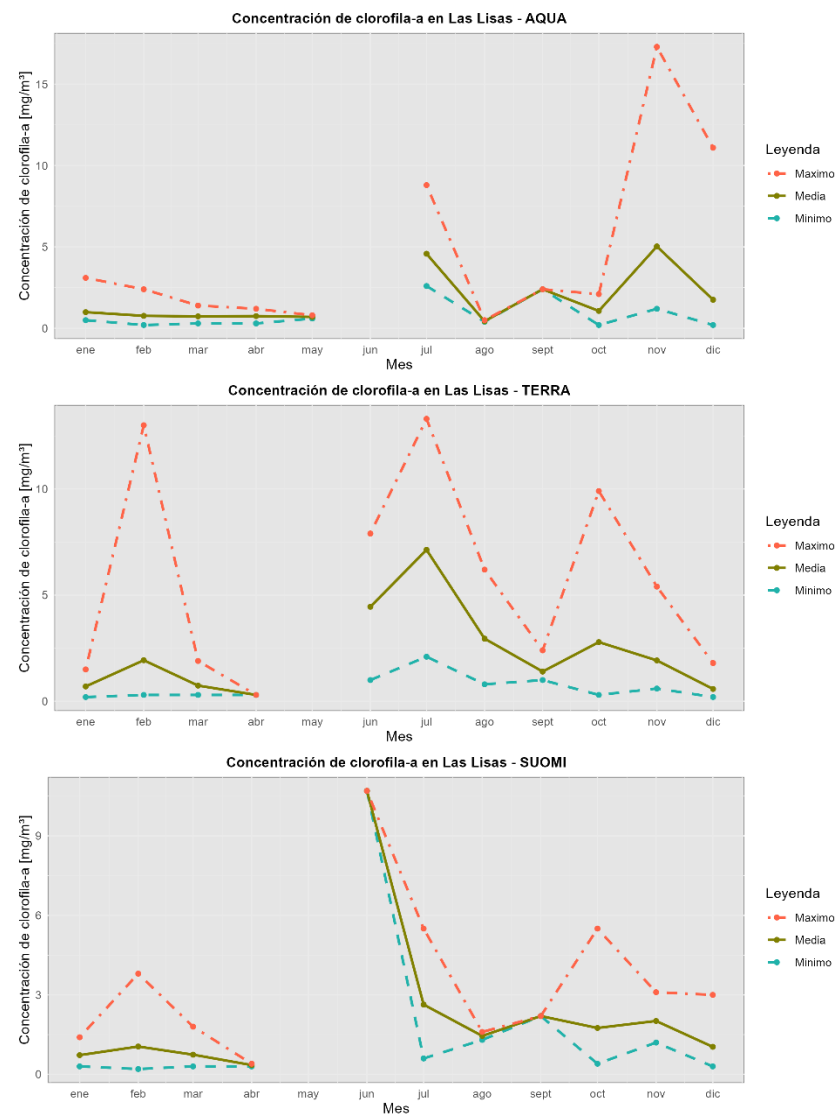
Cuadro 9.8. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Las Lisas.

Latitud: 13.79 N. **Longitud:** -90.27 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.99	0.50	3	3.10	16
Febrero	0.77	0.20	24	2.40	6
Marzo	0.73	0.30	1	1.40	28
Abril	0.75	0.30	26	1.20	13
Mayo	0.70	0.60	14	0.80	19
Junio	-	-	-	-	-
Julio	4.58	2.60	15	8.80	27
Agosto	0.43	0.40	22	0.50	28
Septiembre	2.40	2.40	23	2.40	23
Octubre	1.07	0.20	30	2.10	9
Noviembre	5.03	1.20	30	17.30	29
Diciembre	1.75	0.20	9	11.10	14

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.70	0.20	3	1.50	26
Febrero	1.93	0.30	1	13.00	22
Marzo	0.74	0.30	5	1.90	30
Abril	0.30	0.30	15	0.30	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	4.45	1.00	10	7.90	26
Julio	7.13	2.10	14	13.30	16
Agosto	2.95	0.80	5	6.20	19
Septiembre	1.40	1.00	27	2.40	8
Octubre	2.79	0.30	30	9.90	7
Noviembre	1.93	0.60	3	5.40	24
Diciembre	0.58	0.20	22	1.80	23

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.73	0.30	5	1.40	22
Febrero	1.05	0.20	24	3.80	21
Marzo	0.74	0.30	3	1.80	30
Abril	0.35	0.30	15	0.40	14
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	10.70	10.70	26	10.70	26
Julio	2.63	0.60	8	5.50	16
Agosto	1.45	1.30	18	1.60	12
Septiembre	2.20	2.20	23	2.20	23
Octubre	1.75	0.40	29	5.50	8
Noviembre	2.01	1.20	9	3.10	28
Diciembre	1.04	0.30	1	3.00	24



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.76	0.30	4	1.70	13
Febrero	1.01	0.20	5	3.30	22
Marzo	0.43	0.30	5	0.50	11
Abril	0.43	0.20	16	0.80	5
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	4.00	0.50	3	12.10	24
Julio	4.01	2.50	15	7.40	30
Agosto	1.98	0.50	25	4.40	19
Septiembre	1.38	0.90	23	2.40	18
Octubre	3.06	0.40	30	10.30	9
Noviembre	5.54	1.10	10	18.60	23
Diciembre	1.15	0.30	6	4.80	14

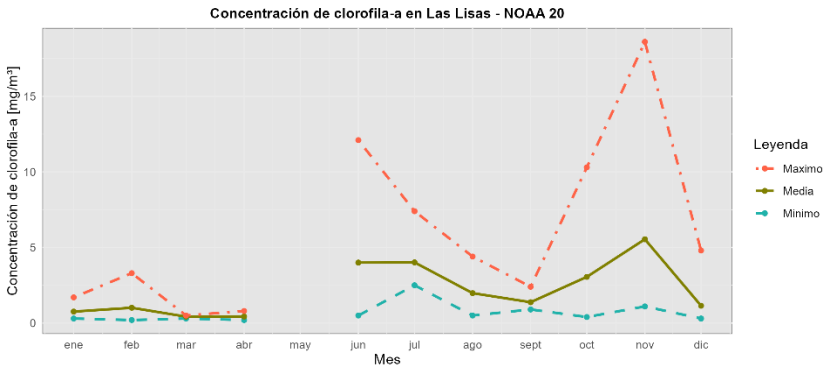


Figura 9.8: Tendencia de la clorofila α en Las Lisas, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

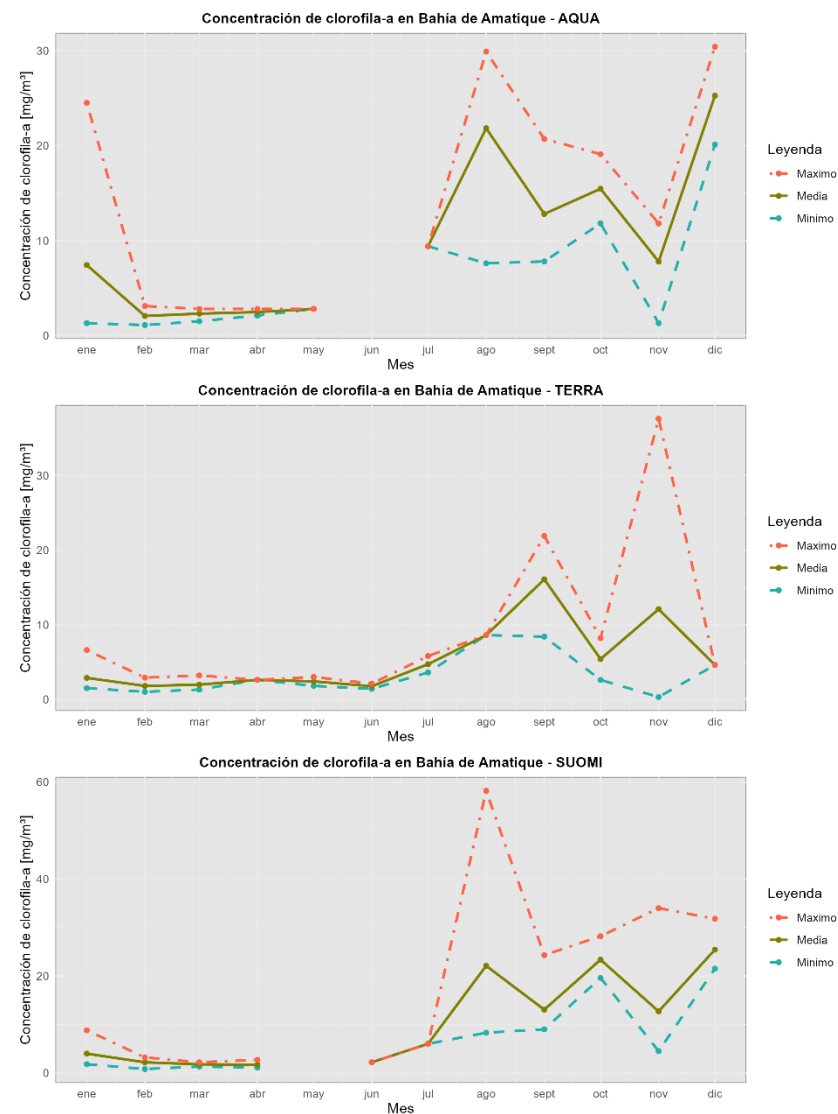
Cuadro 9.9. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Bahía de Amatique.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	7.42	1.30	24	24.50	16
Febrero	2.06	1.10	12	3.10	11
Marzo	2.30	1.50	8	2.80	3
Abril	2.47	2.10	26	2.80	15
Mayo	2.80	2.80	1	2.80	1
Junio	-	-	-	-	-
Julio	9.40	9.40	18	9.40	18
Agosto	21.83	7.60	18	29.90	22
Septiembre	12.80	7.80	30	20.70	23
Octubre	15.45	11.80	17	19.10	9
Noviembre	7.78	1.30	12	11.80	19
Diciembre	25.25	20.10	28	30.40	10

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	2.87	1.50	19	6.60	9
Febrero	1.79	1.00	10	2.90	2
Marzo	1.96	1.30	1	3.20	25
Abril	2.60	2.60	10	2.60	10
Mayo	2.40	1.80	1	3.00	4
Junio	1.75	1.40	3	2.10	28
Julio	4.70	3.60	9	5.80	27
Agosto	8.60	8.60	27	8.60	27
Septiembre	16.08	8.40	8	21.90	10
Octubre	5.40	2.60	3	8.20	7
Noviembre	12.08	0.30	4	37.60	13
Diciembre	4.60	4.60	5	4.60	5

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.98	1.80	23	8.80	5
Febrero	2.19	0.80	30	3.20	10
Marzo	1.77	1.30	23	2.20	3
Abril	1.70	1.10	24	2.70	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.20	2.20	26	2.20	26
Julio	6.00	6.00	23	6.00	23
Agosto	22.10	8.30	18	58.20	4
Septiembre	13.05	9.00	14	24.30	17
Octubre	23.37	19.60	7	28.20	8
Noviembre	12.70	4.50	31	34.00	19
Diciembre	25.43	21.50	28	31.80	11



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.41	1.10	19	12.30	6
Febrero	2.15	0.90	28	2.70	9
Marzo	2.09	1.10	8	2.90	1
Abril	1.92	1.40	19	2.40	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	2.60	2.40	3	2.90	2
Julio	6.65	3.10	2	10.40	18
Agosto	13.50	8.60	26	20.30	25
Septiembre	13.49	5.10	21	25.80	12
Octubre	10.38	4.80	15	18.10	4
Noviembre	8.81	2.40	30	28.10	9
Diciembre	25.30	3.00	19	54.40	28

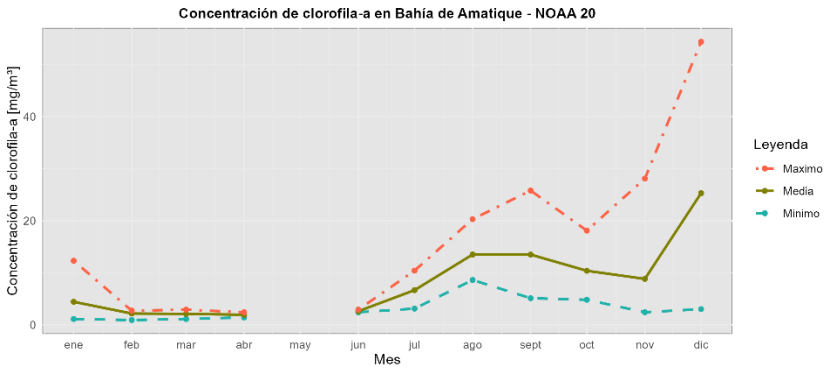


Figura 9.9: Tendencia de la clorofila α en Bahía de Amatique, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m³

Cuadro 9.10. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para Punta de Manabique.

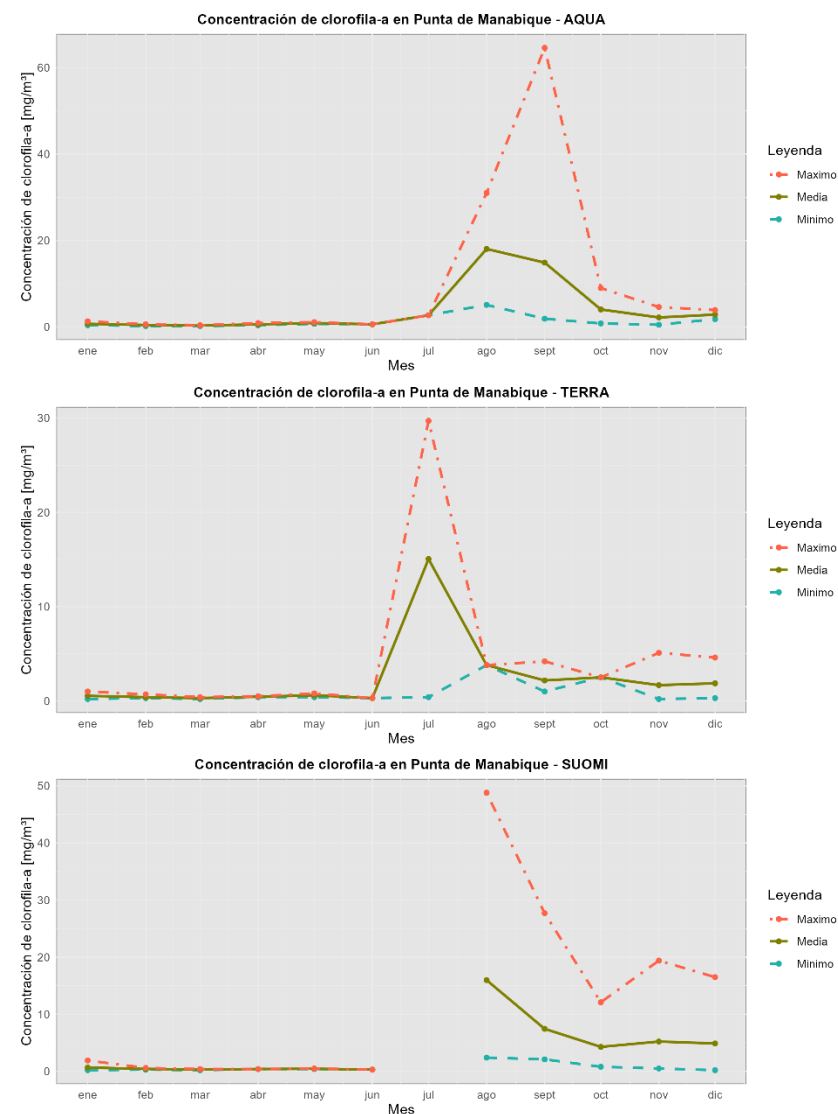
Latitud: 15.98 N.

Longitud: -88.56 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.71	0.40	16	1.30	5
Febrero	0.44	0.20	24	0.60	4
Marzo	0.31	0.20	25	0.40	3
Abril	0.58	0.40	6	0.90	18
Mayo	0.90	0.70	2	1.10	31
Junio	0.60	0.60	2	0.60	2
Julio	2.70	2.70	18	2.70	18
Agosto	18.05	5.10	4	31.00	16
Septiembre	14.89	1.90	29	64.60	20
Octubre	4.04	0.80	17	9.00	7
Noviembre	2.19	0.50	27	4.60	9
Diciembre	2.85	1.80	10	3.90	27

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.54	0.20	17	1.00	6
Febrero	0.40	0.30	8	0.70	4
Marzo	0.30	0.20	21	0.40	5
Abril	0.45	0.40	17	0.50	10
Mayo	0.60	0.40	4	0.80	31
Junio	0.30	0.30	25	0.30	25
Julio	15.05	0.40	9	29.70	16
Agosto	3.80	3.80	26	3.80	26
Septiembre	2.18	1.00	16	4.20	3
Octubre	2.50	2.50	7	2.50	7
Noviembre	1.68	0.20	9	5.10	5
Diciembre	1.87	0.30	3	4.60	27

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.66	0.20	30	1.90	9
Febrero	0.43	0.30	12	0.60	2
Marzo	0.30	0.20	25	0.40	3
Abril	0.40	0.40	9	0.40	9
Mayo	0.45	0.40	4	0.50	17
Junio	0.30	0.30	25	0.30	25
Julio	-	-	-	-	-
Agosto	15.98	2.40	18	48.80	12
Septiembre	7.44	2.10	23	27.70	16
Octubre	4.28	0.80	15	12.10	2
Noviembre	5.22	0.50	27	19.40	29
Diciembre	4.88	0.20	3	16.50	31



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.57	0.20	19	1.40	3
Febrero	0.39	0.30	23	0.60	2
Marzo	0.28	0.10	11	0.40	3
Abril	0.38	0.30	6	0.40	16
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	0.40	0.30	27	0.50	2
Julio	6.40	0.30	8	16.80	16
Agosto	12.84	2.10	22	58.60	5
Septiembre	6.95	1.80	26	22.90	1
Octubre	1.35	0.60	1	3.20	8
Noviembre	4.26	0.70	27	20.40	4
Diciembre	4.10	0.30	13	16.50	27

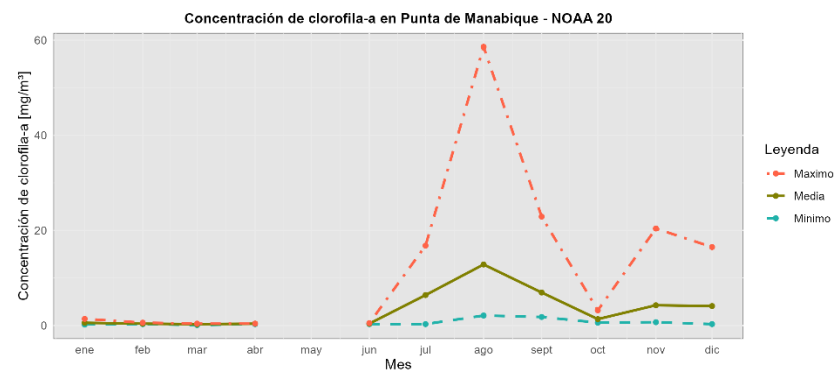


Figura 9.10: Tendencia de la clorofila α en Punta de Manabique, utilizando lo datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

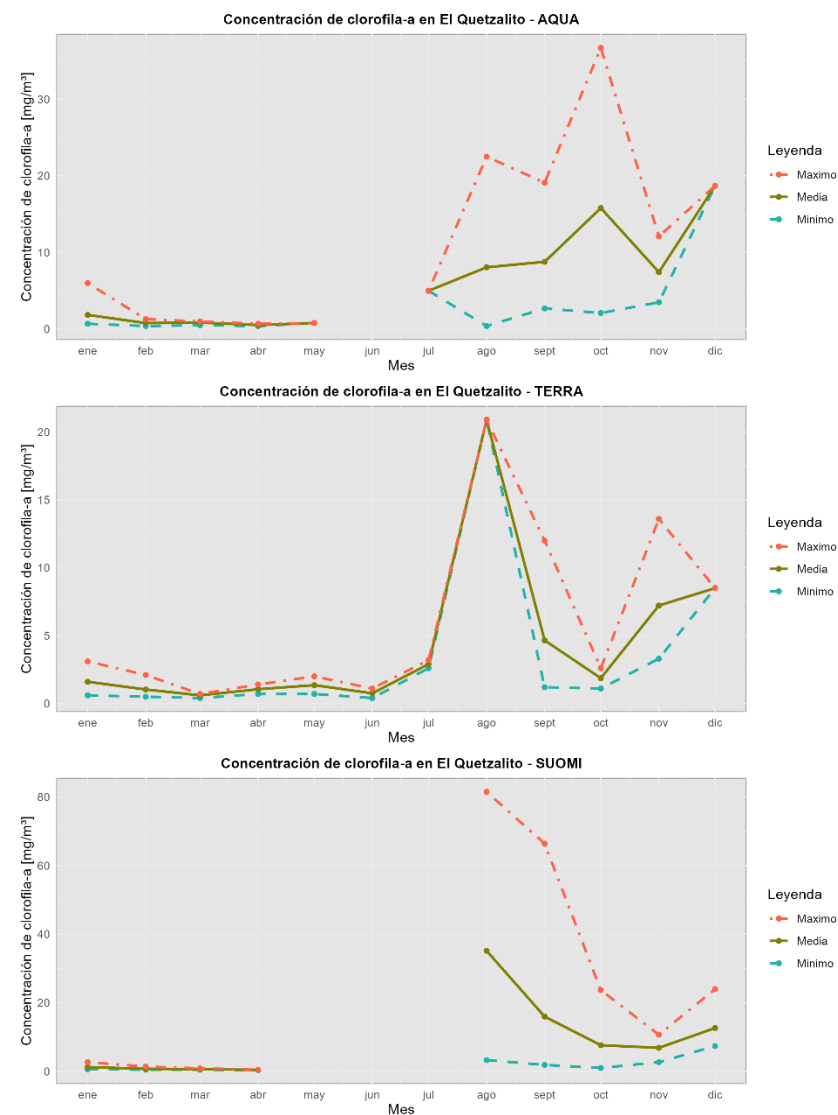
Cuadro 9.11. Valores de clorofila- α (mg/m^3) para El Quetzalito.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

AQUA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.86	0.70	12	6.00	11
Febrero	0.79	0.40	21	1.30	8
Marzo	0.85	0.50	23	1.00	1
Abril	0.53	0.40	26	0.70	15
Mayo	0.80	0.80	1	0.80	1
Junio	-	-	-	-	-
Julio	5.00	5.00	18	5.00	18
Agosto	8.07	0.40	3	22.50	22
Septiembre	8.78	2.70	2	19.10	10
Octubre	15.80	2.10	4	36.70	7
Noviembre	7.43	3.50	19	12.10	24
Diciembre	18.70	18.70	28	18.70	28

TERRA, SENSOR MODIS					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.60	0.60	12	3.10	11
Febrero	1.03	0.50	30	2.10	2
Marzo	0.60	0.40	25	0.70	7
Abril	1.05	0.70	15	1.40	10
Mayo	1.35	0.70	4	2.00	1
Junio	0.75	0.40	3	1.10	2
Julio	2.90	2.60	1	3.20	27
Agosto	20.90	20.90	4	20.90	4
Septiembre	4.65	1.20	16	12.00	12
Octubre	1.87	1.10	3	2.60	7
Noviembre	7.22	3.30	29	13.60	5
Diciembre	8.50	8.50	28	8.50	28

SUOMI-NPP, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.26	0.60	16	2.70	5
Febrero	0.76	0.50	7	1.40	3
Marzo	0.63	0.50	9	0.90	1
Abril	0.45	0.40	24	0.50	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-	-
Agosto	35.17	3.30	27	81.50	17
Septiembre	15.98	1.90	14	66.40	16
Octubre	7.64	1.00	9	23.70	30
Noviembre	6.88	2.70	10	10.70	9
Diciembre	12.65	7.40	29	24.00	28



NOAA 20, SENSOR VIIRS					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	1.35	0.60	13	3.20	5
Febrero	0.75	0.40	15	1.40	2
Marzo	0.68	0.40	11	0.90	1
Abril	0.57	0.50	6	0.60	15
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	1.20	0.70	3	1.90	26
Julio	4.40	4.40	18	4.40	18
Agosto	7.38	1.30	26	18.80	25
Septiembre	9.33	1.10	15	39.70	1
Octubre	2.38	1.30	9	3.70	4
Noviembre	8.65	0.60	13	36.30	9
Diciembre	12.83	2.70	10	18.80	11

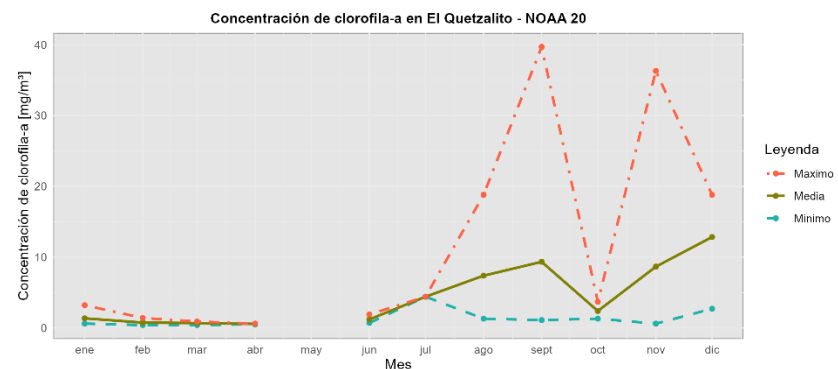


Figura 9.11: Tendencia de la clorofila α en EL Quetzalito, utilizando los datos captados por los satélites AQUA, TERRA, SUOMI y NOAA 20. Unidades mg/m^3

10. Temperatura Superficial del Mar

10.1. Aspectos generales

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) es fundamental en el control del clima (Iglesias et al., 2010), ya que se encuentra dentro de las condiciones que favorecen la formación y mantenimiento de ciclones tropicales, así como de las condiciones de habitabilidad para muchos organismos como el plancton, algas marinas, mamíferos marinos, peces, etc (COP25, 2019). Debido a esto, su importancia también se extiende para las actividades que se dedican a la extracción de productos del mar. Según pescadores artesanales de la costa sur de Guatemala, la pesca de diferentes especies varía según la temperatura del mar registrada en la zona.

La TSM presenta una relación con otros factores y fenómenos de interés, tales como los florecimientos algales nocivos (FAN), en donde se han hecho estudios mostrando que existe una correlación entre el aumento de la TSM y los FAN (Yu et al., 2007).

10.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de la TSM para los 11 puntos de interés captados por los satélites AQUA, TERRA, con el instrumento MODIS y el SUOMI NPP con su instrumento VIIRS, para su registro diurno y posteriormente el nocturno. Finalmente se muestran los datos estadísticos obtenidos del CRW, el cual se basa en datos satelitales nocturnos para el reanálisis. En todas las tablas se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 10.1. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Ocos según datos de reanálisis CRW.

Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.16	28.91	27	29.50	4
Febrero	28.58	28.26	16	29.03	2
Marzo	28.32	27.82	1	28.80	4
Abril	29.17	27.50	3	30.53	25
Mayo	30.60	30.26	9	31.13	31
Junio	30.23	29.48	26	31.14	1
Julio	30.23	29.44	1	30.71	31
Agosto	30.69	30.41	31	30.99	15
Septiembre	30.64	30.06	31	31.06	12
Octubre	29.71	29.07	16	30.56	31
Noviembre	29.58	28.51	30	30.47	1
Diciembre	28.94	28.35	1	29.25	12

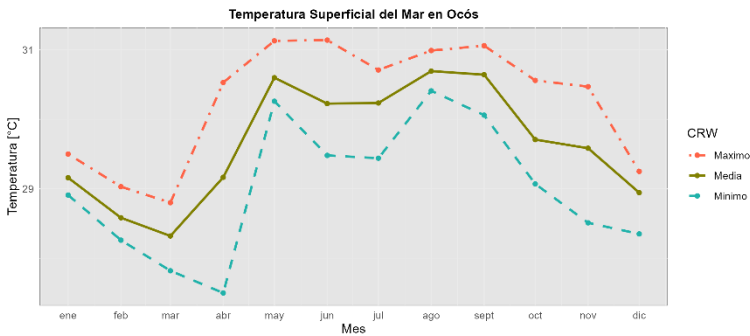


Figura 10.1: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Ocos, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.2. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Champerico según datos de reanálisis CRW.

Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.19	28.87	27	29.50	3
Febrero	28.72	28.31	14	29.33	2
Marzo	28.24	27.44	10	28.77	1
Abril	29.35	27.64	5	30.64	25
Mayo	30.62	30.27	13	31.00	20
Junio	30.21	29.36	24	31.18	3
Julio	30.28	29.33	1	30.86	31
Agosto	30.75	30.36	18	31.03	1
Septiembre	30.64	29.62	31	31.27	19
Octubre	29.52	28.72	12	30.53	28
Noviembre	29.52	28.42	27	30.26	3
Diciembre	28.96	28.61	3	29.40	12

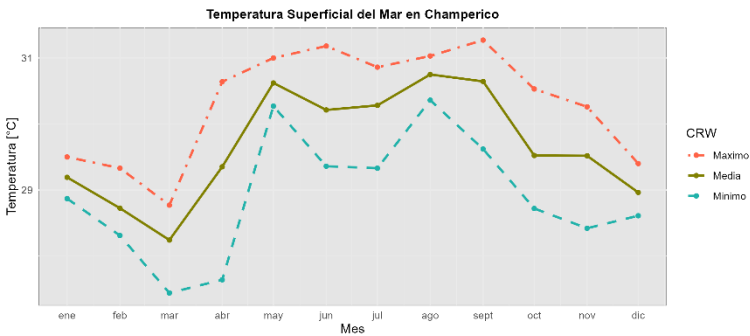


Figura 10.2: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Champerico, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.3. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Tahuexco según datos de reanálisis CRW.

Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.30	29.06	14	29.47	2
Febrero	28.71	28.20	24	29.41	2
Marzo	28.19	27.55	28	28.78	4
Abril	29.38	27.32	4	30.55	27
Mayo	30.57	30.19	10	31.03	25
Junio	30.10	29.31	24	31.02	3
Julio	30.16	29.25	1	30.85	17
Agosto	30.74	30.49	18	31.05	26
Septiembre	30.56	29.77	31	31.01	19
Octubre	29.45	28.61	12	30.39	28
Noviembre	29.32	28.19	31	30.06	1
Diciembre	28.75	28.26	1	29.32	12

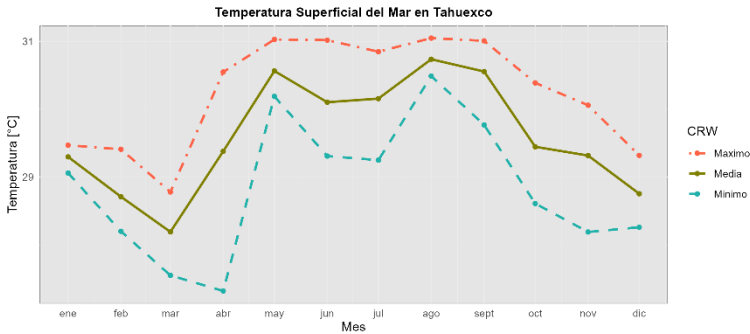


Figura 10.3: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Tahuexco, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.4. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Tecojate según datos de reanálisis CRW.

Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.36	29.14	15	29.66	30
Febrero	28.74	28.19	24	29.42	2
Marzo	28.11	26.77	29	28.75	4
Abril	29.33	27.25	4	30.63	27
Mayo	30.57	30.05	10	31.10	25
Junio	29.92	29.13	26	30.98	1
Julio	30.04	29.17	1	30.90	17
Agosto	30.73	30.37	4	31.18	26
Septiembre	30.50	29.49	31	31.07	18
Octubre	29.40	28.59	10	30.28	28
Noviembre	29.19	28.26	31	29.94	1
Diciembre	28.62	28.11	25	29.15	10

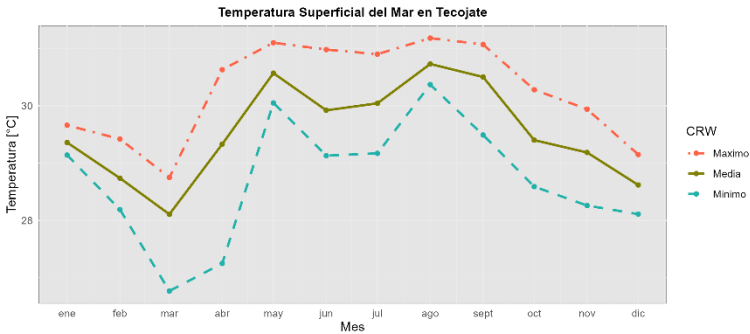


Figura 10.4: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Tecojate, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.5. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Sipacate según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.40	29.10	15	29.80	30
Febrero	28.72	28.19	24	29.40	1
Marzo	28.23	27.13	29	29.02	23
Abril	29.39	27.34	5	30.66	27
Mayo	30.64	30.11	2	31.33	21
Junio	29.85	29.03	24	31.02	1
Julio	30.00	29.18	1	30.64	1
Agosto	30.69	30.26	9	31.29	26
Septiembre	30.53	29.37	31	31.19	18
Octubre	29.43	28.53	4	30.35	29
Noviembre	29.19	28.27	31	29.89	1
Diciembre	28.59	28.15	1	29.17	15

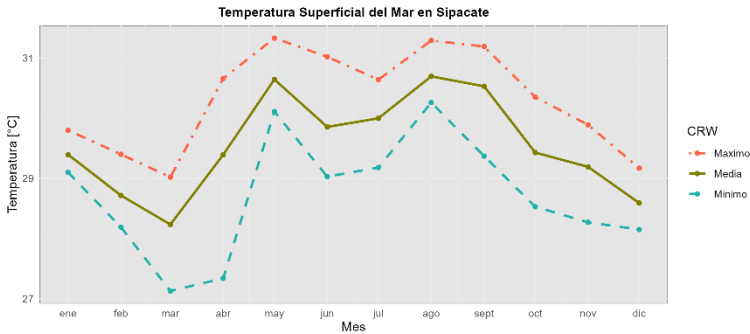


Figura 10.5: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Sipacate, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.6. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Puerto San José según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.35	29.13	15	29.83	29
Febrero	28.64	28.10	28	29.42	1
Marzo	28.44	27.20	29	29.49	23
Abril	29.65	27.85	5	30.66	27
Mayo	30.81	30.29	6	31.27	21
Junio	29.93	29.05	29	30.99	3
Julio	29.94	29.14	2	30.58	1
Agosto	30.61	30.07	9	31.26	26
Septiembre	30.50	29.47	31	31.14	21
Octubre	29.52	28.73	4	30.32	29
Noviembre	29.17	28.17	27	29.92	2
Diciembre	28.47	28.00	1	28.97	10

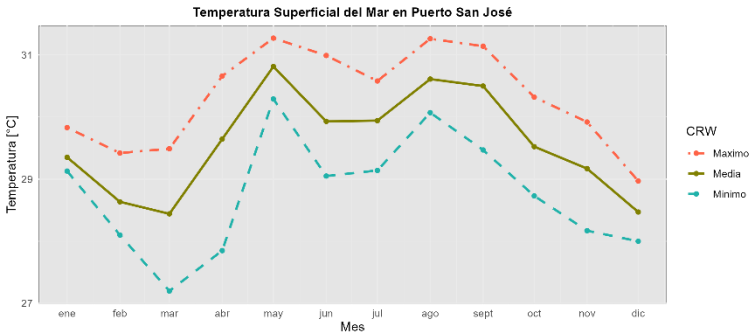


Figura 10.6: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Puerto San José, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.7. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Monterrico según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.31	29.09	7	29.75	29
Febrero	28.61	28.08	23	29.29	1
Marzo	28.65	27.74	29	29.54	21
Abril	29.69	28.11	5	30.54	27
Mayo	30.74	30.34	6	31.16	29
Junio	29.95	28.91	25	31.08	2
Julio	30.01	29.20	2	30.74	1
Agosto	30.50	29.97	18	30.92	22
Septiembre	30.53	29.68	31	30.99	19
Octubre	29.50	28.91	4	30.24	23
Noviembre	29.14	28.08	24	29.83	12
Diciembre	28.40	28.15	8	28.65	4

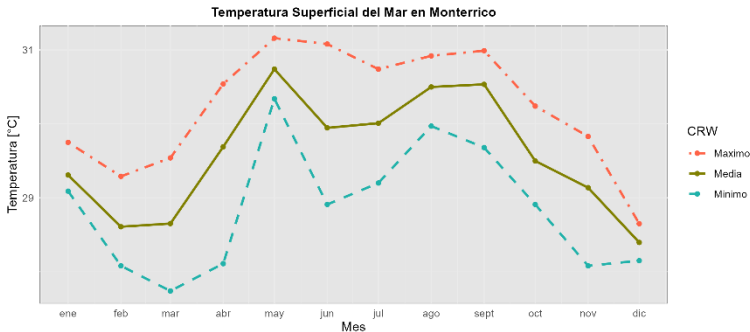


Figura 10.7: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Monterrico, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.8. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Las Lisas según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 13.79 N. **Longitud:** -90.27 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	29.32	28.90	4	29.87	29
Febrero	28.65	28.20	28	29.24	1
Marzo	28.80	28.14	29	29.71	22
Abril	29.73	28.62	1	30.55	31
Mayo	30.71	30.30	2	31.03	25
Junio	29.92	28.87	25	31.00	3
Julio	29.94	29.25	2	30.66	1
Agosto	30.48	30.15	18	30.91	22
Septiembre	30.49	29.69	31	30.97	18
Octubre	29.51	28.73	10	30.32	23
Noviembre	29.13	28.27	27	29.93	2
Diciembre	28.39	28.02	15	28.89	4

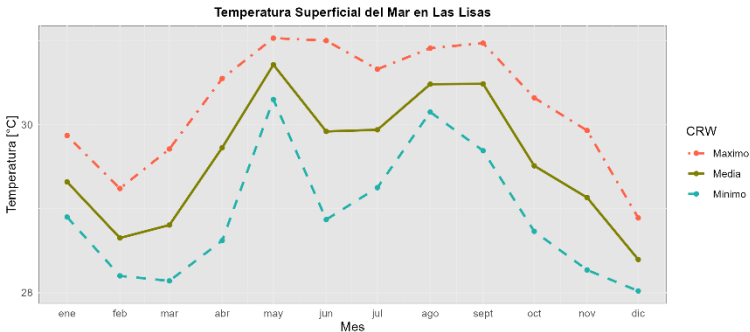


Figura 10.8: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Las Lisas, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.9. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Bahía de Amatique según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	27.81	26.62	4	28.50	28
Febrero	27.29	26.87	10	28.03	1
Marzo	29.11	27.84	1	30.04	28
Abril	29.31	28.75	18	29.75	31
Mayo	30.75	29.77	1	31.55	28
Junio	30.59	29.58	22	31.44	4
Julio	30.04	29.48	17	30.54	20
Agosto	30.53	29.67	3	30.93	8
Septiembre	31.34	30.82	7	32.02	18
Octubre	29.88	28.66	29	31.33	5
Noviembre	28.54	27.43	31	29.69	12
Diciembre	26.88	26.37	16	27.31	2

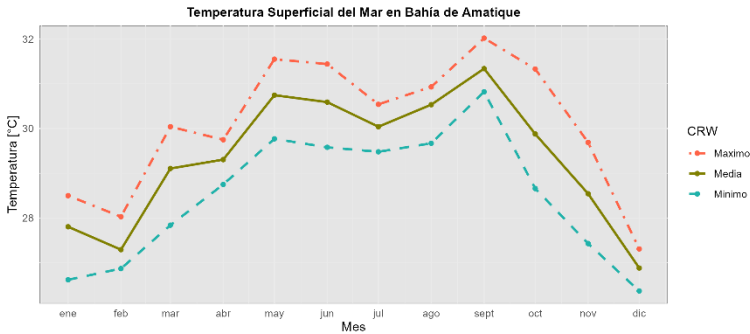


Figura 10.9: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Bahía de Amatique, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.10. Temperatura Superficial del Mar (°C) para Punta de Manabique según datos de reanálisis CRW.
Latitud: 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

MES	CRW				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	27.71	26.72	5	28.28	28
Febrero	27.27	26.91	10	27.76	1
Marzo	28.75	27.59	1	29.67	28
Abril	29.08	28.67	18	29.47	31
Mayo	30.43	29.44	1	31.21	28
Junio	30.45	29.53	22	31.03	3
Julio	29.98	29.59	13	30.27	19
Agosto	30.36	29.68	3	30.70	1
Septiembre	31.13	30.67	1	31.71	17
Octubre	29.87	28.69	29	31.33	5
Noviembre	28.58	27.56	31	29.50	12
Diciembre	26.78	26.32	25	27.53	2

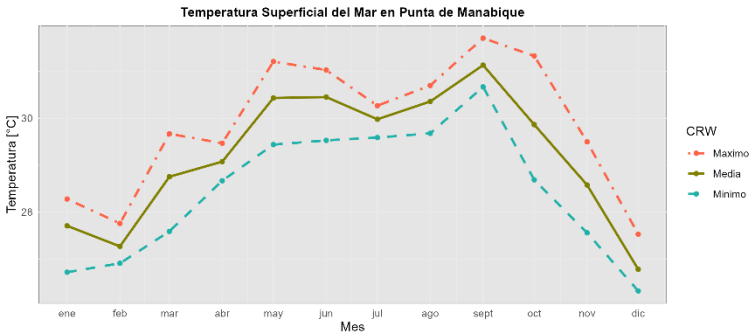


Figura 10.10: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en Punta de Manabique, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

Cuadro 10.11. Temperatura Superficial del Mar (°C) para El Quetzalito según datos de reanálisis CRW.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

MES	MEDIA	CRW			
		MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	27.63	26.69	3	28.23	28
Febrero	27.26	26.89	25	27.77	1
Marzo	28.62	27.52	1	29.55	28
Abril	28.95	28.66	18	29.34	3
Mayo	30.16	29.03	1	31.03	28
Junio	30.35	29.54	22	30.85	4
Julio	30.05	29.63	13	30.39	30
Agosto	30.46	29.93	3	30.90	13
Septiembre	31.14	30.61	1	31.76	17
Octubre	29.92	28.78	31	31.11	5
Noviembre	28.65	27.63	31	29.46	9
Diciembre	26.82	26.27	22	27.55	2

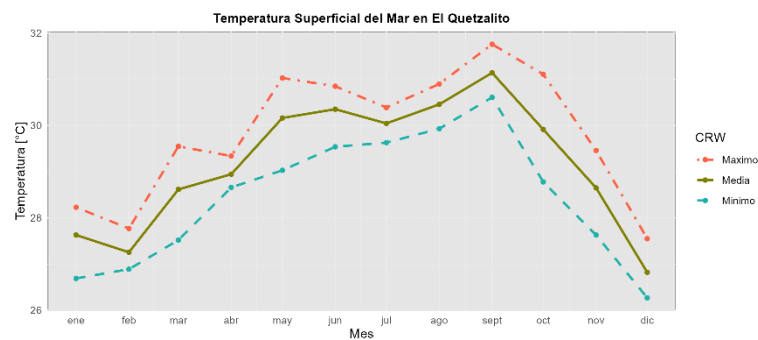
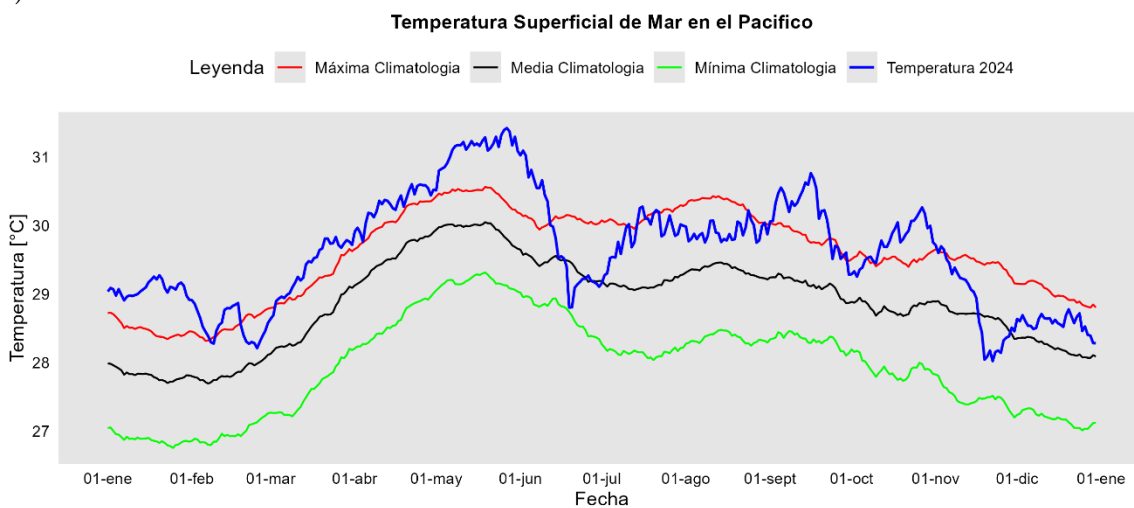


Figura 10.32: Tendencia de la Temperatura Superficial del Mar en El Quetzalito, utilizando los datos de reanálisis de CRW. Unidades (°C)

10.3. Comparación de los valores registrados de TSM para la región del Pacífico y Atlántico guatemalteco con la Climatología histórica 1990 – 2021

Para la región del Pacífico guatemalteco se presentaron valores de temperatura entre 28.02°C hasta 31.42°C, mientras que en la región del Atlántico se registraron valores entre 26.26°C hasta 31.79°C. En la Figura 10.33 se puede observar que estas temperaturas se encuentran por encima de los valores medios registrados para la climatología de los años 1990 hasta 2021, para el a) Pacífico y b) Atlántico.

a)



b)

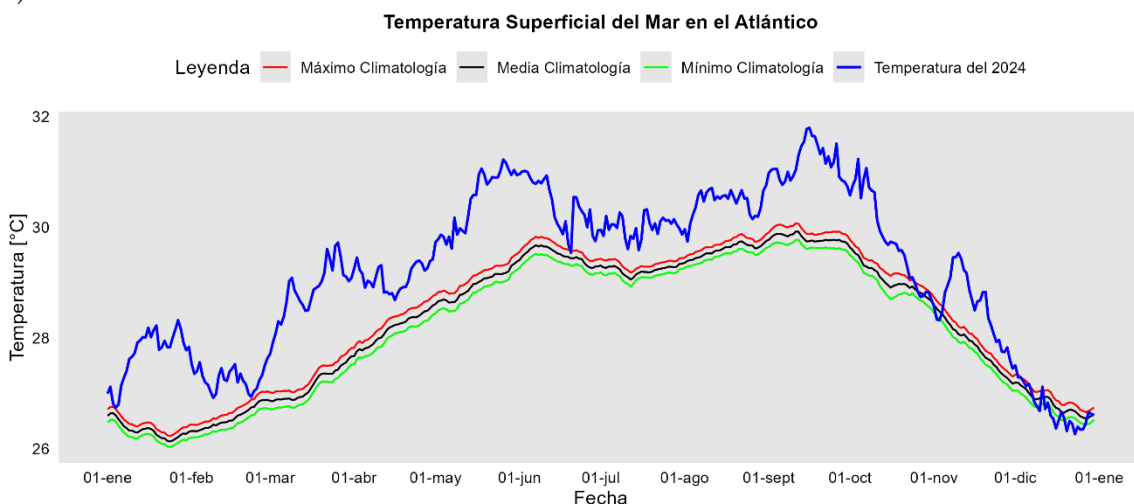


Figura 10.33 Gráfico de TSM para el a) Pacífico y b) Atlántico comparado con la climatología histórica 1990 - 2021

Se realizó un análisis de la TSM para ambas regiones costeras, enfocándose en los valores de TSM reportados durante el año 2024 y su comparación con la climatología 1990 hasta 2021. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los datos de TSM del Pacífico y Atlántico, presentaron distribuciones no normales ($p < 0.05$), por lo que se seleccionó la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon (conocida también como test de Mann-Whitney-Wilcoxon) para comparar dos grupos con distribuciones no normales (R Core Team, 2022). La prueba de rangos con signo de Wilcoxon realizada para el Pacífico (Cuadro 10.33), indicó que los valores comparados de TSM durante el año 2024 presentaron diferencias significativas con los registrados en la climatología.

Cuadro 10.33. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para comparación TSM en el Pacífico con la climatología 1990-2021.

Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon	
data: Climatología y TSM 2024	
V = 4643, , p-value < 2.2e-16	
Fuente: Datos propios.	

Esto se puede observar en la Figura 10.34, la cual presenta las frecuencias de las temperaturas superficiales del mar para la región del Pacífico y las de la climatología histórica 1990-2021, indicando que el valor más constante fue de 29.83°C y 29.2°C respectivamente. Esto indica que la TSM reportada para el 2024 se encuentra 0.63°C por arriba de la climatología histórica para la región.

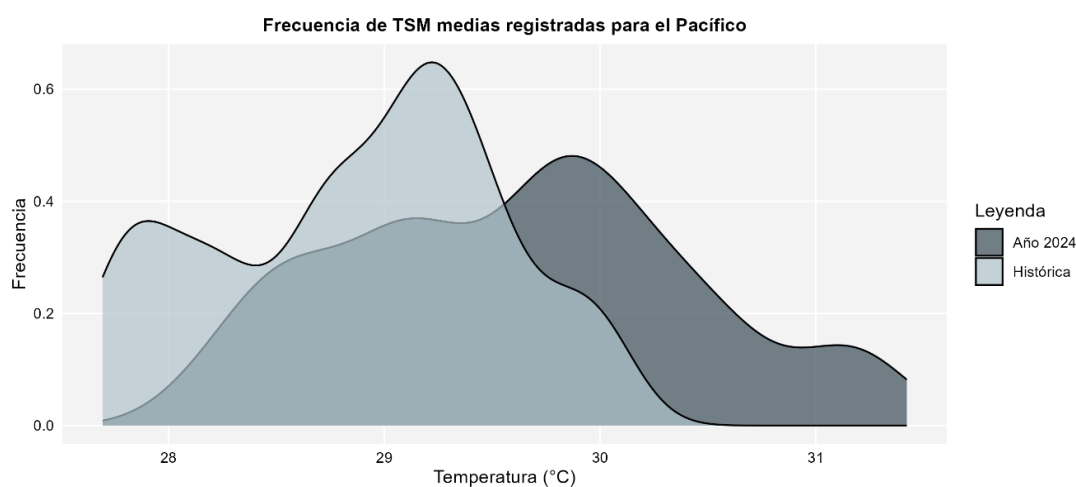


Figura 10.34 Gráfico de densidad para la Temperatura Superficial del mar y la climatología histórica 1990-2021 de la región del Pacífico guatemalteco.

Para la región del Atlántico, la prueba de rangos con signo de Wilcoxon indicó la presencia de diferencias significativas entre los valores de TSM durante el año 2024 con los registrados en la climatología (Cuadro 10.34). La Figura 10.35 presenta las frecuencias observadas, indicando que el dato más constante para el Atlántico respecto a la TSM en el 2024 fue de 30.38°C, mientras que para la climatología 1990-2021 fue de 29.28°C. Estos valores sitúan 1.1°C a la TSM 2024 por encima de la climatología para la región del Atlántico.

Cuadro 10.34: Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon para comparación TSM en el Atlántico con la climatología 1990-2021

Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon	
data: Climatología y TSM 2024	
V = 7.256, , p-value < 2.2e-16	

Fuente: Datos propios.

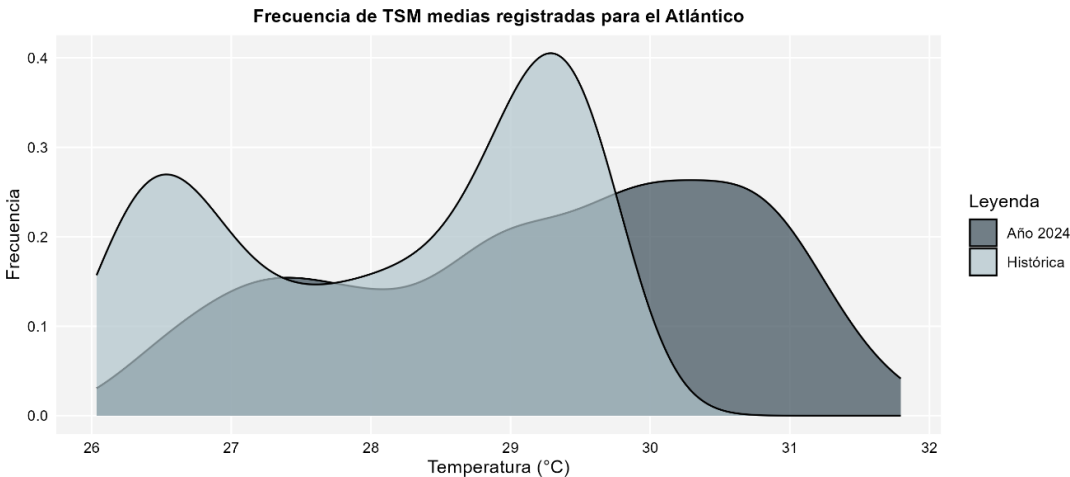


Figura 10.35 Gráfico de densidad para la Temperatura Superficial del mar y la climatología histórica 1990-2021 de la región del Atlántico guatemalteco.

Este incremento de la temperatura superficial del mar, en especial los niveles en la región del Atlántico, ha sido reportado que se debe a una serie de diversos factores como cambios en el flujo de calor, circulación oceánica, forzamiento radiativo, olas de calor, tendencias interanuales y decenales de temperatura y salinidad (Cheng et al., 2022; Cheng et al., 2024; Kuhlbrodt et al., 2024). La compleja interacción de todos estos factores en el sistema océano-climático presenta implicaciones para los diversos hábitats y ecosistemas de los océanos y zonas costeras (McLean et al., 2001). Es importante continuar con el monitoreo constante de estas variables, permitiendo identificar el grado de impacto de estos incrementos en temperatura en los recursos marinos en nuestras regiones.

11. Salinidad Superficial del Mar

11.1. Aspectos Generales

La salinidad es una variable oceanográfica importante para distintos procesos físicos y biológicos en el océano, como por ejemplo su impacto en la densidad oceánica, y circulación termohalina (Cessi, s.f.). En general, la salinidad es de gran interés ya que permite calcular el balance hídrico global, las tasas de evaporación y conocer el comportamiento de las corrientes marinas (Rani et al., 2021).

Otro impacto de las variaciones en la salinidad consiste en afectar el mecanismo osmorregulador de los peces, por lo que su comportamiento dependerá de las concentraciones de sal en la zona donde se encuentre y si este tiene características eurihalinas (soporta desde agua dulce hasta altas concentraciones salinas) o estenohalinas (soporta un rango pequeño de concentración de sal) (Arjona et al., 2007).

11.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de la Salinidad Superficial del Mar para los 8 puntos de interés del océano pacífico, captados por los satélites SMAP y SMOS y los 3 puntos de interés en el atlántico, captado por el satélite SMAP en donde se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 11.1. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Ocós.

Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.71	32.08	25	35.32	3
Febrero	33.83	32.50	6	35.10	12
Marzo	34.13	33.16	23	35.37	25
Abril	33.77	32.62	9	35.19	10
Mayo	34.24	32.41	1	36.31	14
Junio	33.64	31.04	20	35.90	7
Julio	33.25	32.08	4	35.10	9
Agosto	33.06	30.64	24	34.72	19
Septiembre	32.73	31.57	5	34.88	11
Octubre	32.57	31.26	2	33.88	5
Noviembre	32.78	31.62	11	33.25	4
Diciembre	33.28	31.80	9	35.07	26

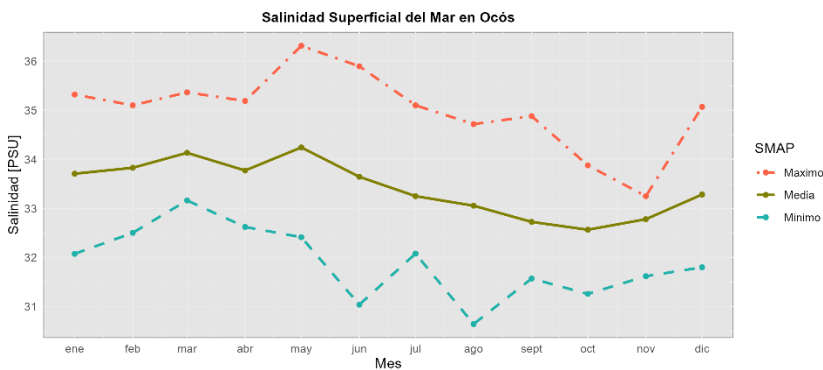


Figura 11.1: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Ocós, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.2. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Champerico.

Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.79	32.78	9	35.70	7
Febrero	33.94	32.80	6	34.89	8
Marzo	34.18	32.56	16	35.11	27
Abril	33.90	32.76	18	35.59	9
Mayo	34.27	32.37	15	36.06	20
Junio	33.91	31.63	20	35.39	15
Julio	33.13	31.28	11	35.26	10
Agosto	33.04	30.74	7	34.49	3
Septiembre	32.89	31.62	5	35.41	11
Octubre	32.90	31.47	2	34.46	12
Noviembre	32.88	32.00	11	33.83	6
Diciembre	33.27	31.70	14	34.88	26

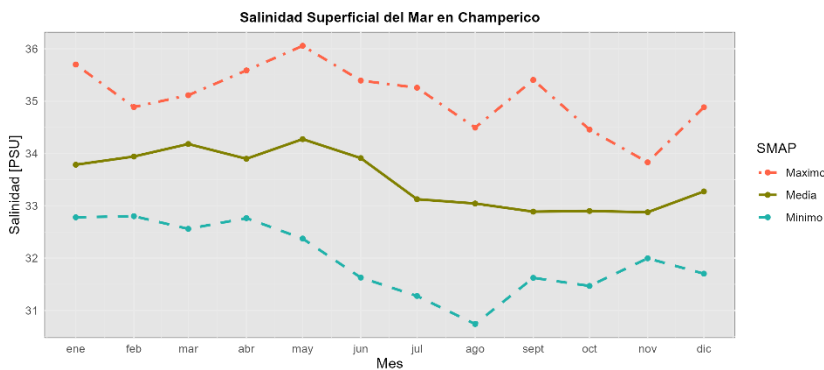


Figura 11.2: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Champerico, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.3. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Tahuexco.

Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.59	32.28	12	35.55	7
Febrero	34.08	32.36	6	35.61	8
Marzo	34.13	32.83	16	35.24	20
Abril	34.10	33.37	18	35.10	17
Mayo	34.40	32.23	28	35.82	14
Junio	34.04	32.00	20	35.26	7
Julio	33.34	31.90	3	35.00	6
Agosto	33.02	30.92	28	34.23	16
Septiembre	32.93	31.13	29	34.84	11
Octubre	32.81	31.06	13	34.33	12
Noviembre	32.78	31.73	14	33.93	12
Diciembre	33.24	31.73	17	34.95	26

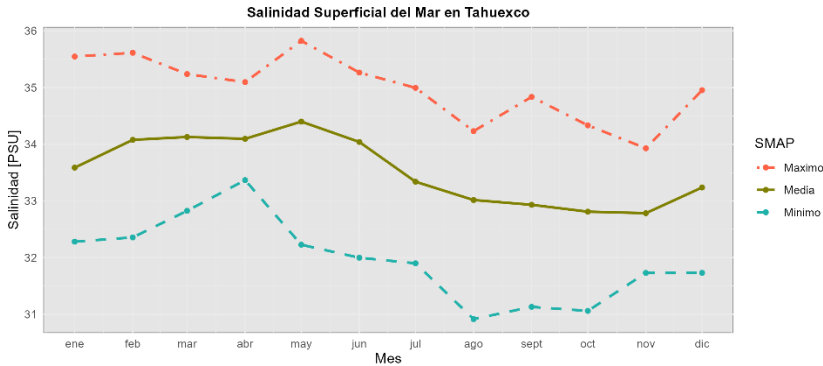


Figura 11.3: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Tahuexco, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.4. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Tecojate.

Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.63	32.28	12	35.55	7
Febrero	34.06	32.94	21	35.61	8
Marzo	34.04	32.43	16	35.03	17
Abril	34.23	33.23	7	35.10	17
Mayo	34.43	33.17	4	35.82	14
Junio	33.78	30.14	29	36.10	8
Julio	33.18	30.87	14	35.00	6
Agosto	32.98	30.73	28	34.52	19
Septiembre	32.92	31.07	29	34.84	11
Octubre	32.79	31.34	13	34.33	12
Noviembre	32.59	31.43	11	33.29	1
Diciembre	33.29	31.73	17	34.26	10

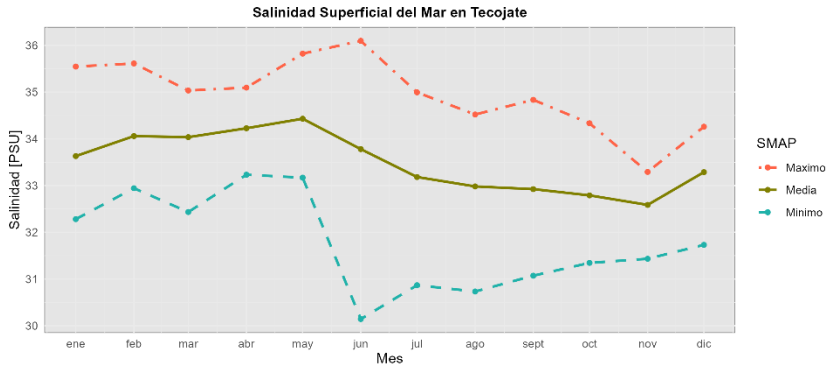


Figura 11.4: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Tecojate, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.5. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Sipacate.

Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.34	29.74	20	35.03	7
Febrero	33.98	32.70	21	35.49	22
Marzo	33.99	32.71	23	35.87	1
Abril	33.45	32.42	6	34.72	19
Mayo	34.25	32.98	27	35.13	14
Junio	33.63	29.36	20	35.51	13
Julio	33.18	31.80	23	35.56	7
Agosto	33.04	31.66	24	34.37	6
Septiembre	33.02	31.51	29	35.52	11
Octubre	32.84	31.06	1	33.87	22
Noviembre	32.52	29.84	3	33.61	1
Diciembre	33.29	31.80	9	34.81	3

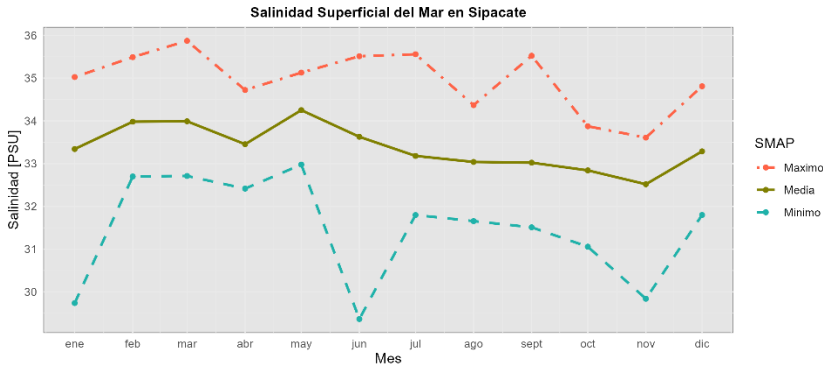


Figura 11.5: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Sipacate, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.6. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Puerto San José.

Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.36	29.74	20	35.03	7
Febrero	33.87	32.70	21	35.35	27
Marzo	34.09	32.39	16	36.14	1
Abril	33.57	32.42	6	34.50	19
Mayo	34.27	32.63	27	36.10	2
Junio	33.53	28.68	29	36.21	15
Julio	33.38	32.01	23	34.48	7
Agosto	32.87	31.46	28	34.06	5
Septiembre	32.88	31.51	29	34.40	11
Octubre	32.85	30.43	9	33.92	27
Noviembre	32.42	29.84	3	33.83	12
Diciembre	33.25	31.80	9	34.86	3

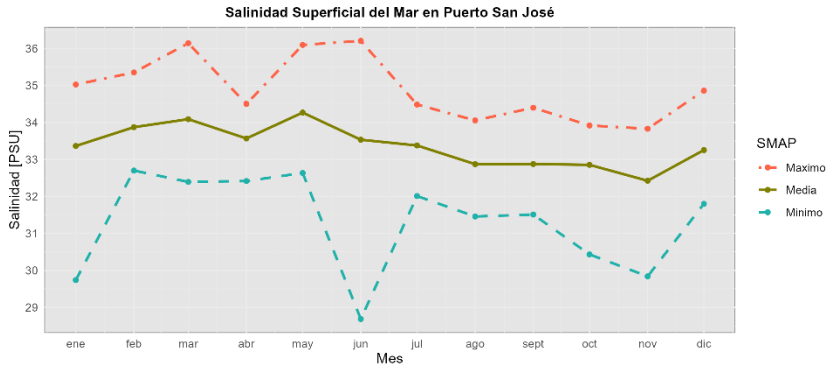


Figura 11.6: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Puerto San José, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.7. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Monterrico.

Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.37	31.46	4	34.51	26
Febrero	33.94	32.71	21	35.10	10
Marzo	34.20	32.78	16	35.44	1
Abril	34.29	33.32	6	35.74	4
Mayo	34.44	33.41	17	35.69	2
Junio	33.69	31.46	29	35.69	1
Julio	33.43	31.66	14	35.31	11
Agosto	32.66	31.38	28	33.79	18
Septiembre	32.86	30.09	4	34.86	28
Octubre	32.84	30.48	13	34.18	22
Noviembre	32.39	31.26	3	33.20	6
Diciembre	33.22	31.11	17	35.14	16

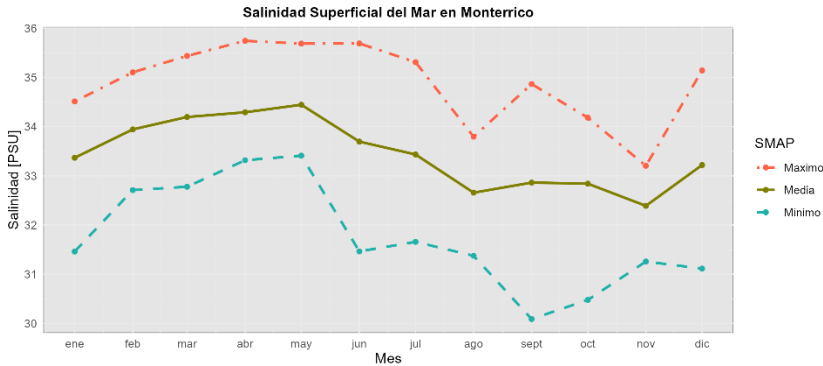


Figura 11.7: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Monterrico, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.8. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Las Lisas.

Latitud: 13.79 N. **Longitud:** -90.27 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	33.35	31.46	4	34.51	26
Febrero	33.98	32.71	21	35.10	10
Marzo	34.20	32.78	16	35.00	14
Abril	34.21	33.25	14	35.74	4
Mayo	34.36	33.41	17	35.58	2
Junio	33.62	31.47	29	35.69	1
Julio	33.36	31.66	14	35.31	11
Agosto	32.56	31.27	24	33.79	18
Septiembre	32.66	29.64	4	34.89	26
Octubre	32.82	30.38	13	34.01	23
Noviembre	32.28	31.26	3	33.20	6
Diciembre	33.16	31.11	17	34.33	3

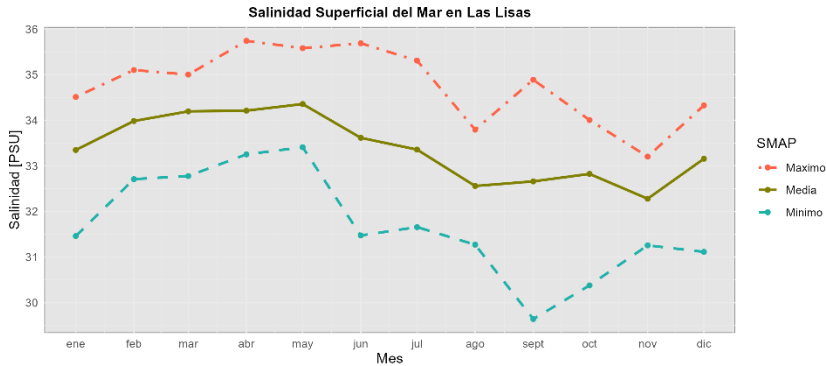


Figura 11.8: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Las Lisas, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.9. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Bahía de Amatique.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	35.52	34.93	6	36.54	24
Febrero	35.61	34.68	6	36.33	14
Marzo	35.66	34.89	24	36.55	7
Abril	35.16	33.81	10	36.23	16
Mayo	36.29	35.36	13	37.44	31
Junio	36.20	35.64	30	36.86	5
Julio	36.41	36.08	17	36.78	21
Agosto	35.74	34.07	27	36.56	16
Septiembre	35.39	33.96	6	36.26	19
Octubre	35.38	34.69	12	35.86	8
Noviembre	36.22	35.38	7	37.27	9
Diciembre	35.25	33.46	21	36.30	6

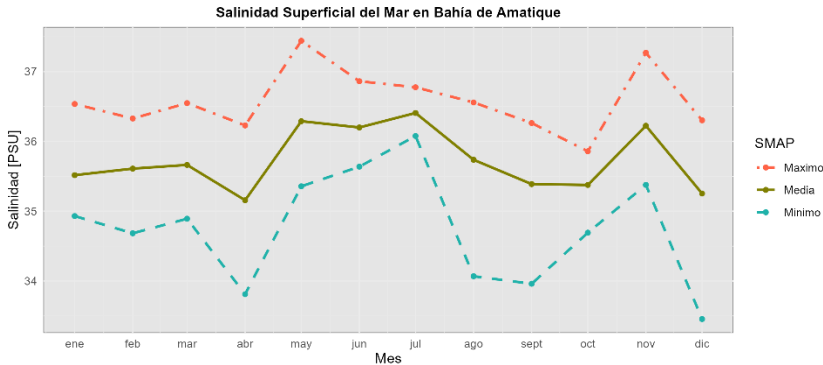


Figura 11.9: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Bahía de Amatique, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.10. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para Punta de Manabique.

Latitud: 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	35.73	34.74	9	36.61	23
Febrero	35.79	34.57	10	36.67	16
Marzo	35.67	34.62	15	36.57	3
Abril	36.02	34.94	10	36.91	17
Mayo	36.39	34.48	1	37.57	12
Junio	36.24	35.12	28	37.68	21
Julio	36.35	35.02	8	37.15	13
Agosto	36.09	34.67	28	36.61	8
Septiembre	35.49	33.55	6	37.43	29
Octubre	35.38	30.86	18	36.95	28
Noviembre	35.57	33.07	15	37.41	16
Diciembre	35.81	34.30	27	37.42	5

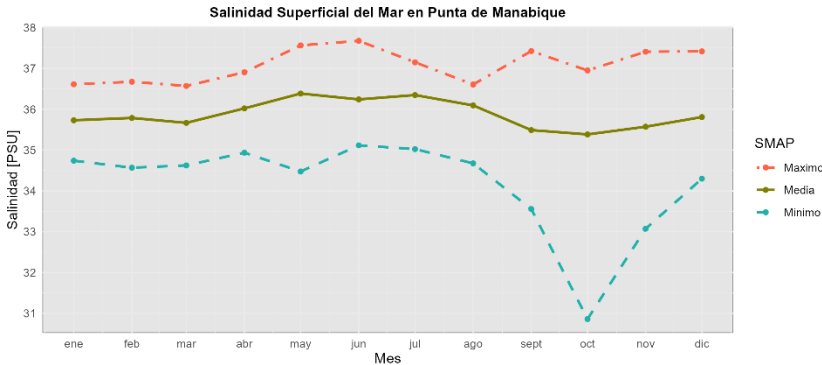


Figura 11.10: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en Punta de Manabique, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

Cuadro 11.11. Salinidad Superficial del Mar (PSU) para El Quetzalito.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

MES	SMAP				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	35.61	34.14	17	36.82	22
Febrero	35.73	34.68	6	36.58	12
Marzo	35.63	34.77	29	36.22	19
Abril	35.56	33.81	10	36.49	16
Mayo	36.34	35.32	10	37.97	20
Junio	36.13	34.89	22	37.16	21
Julio	36.14	34.03	7	37.01	15
Agosto	35.84	34.09	27	36.59	1
Septiembre	35.30	33.96	6	37.31	29
Octubre	35.31	31.91	18	36.86	24
Noviembre	35.56	33.19	15	37.27	9
Diciembre	35.39	33.46	21	37.21	7

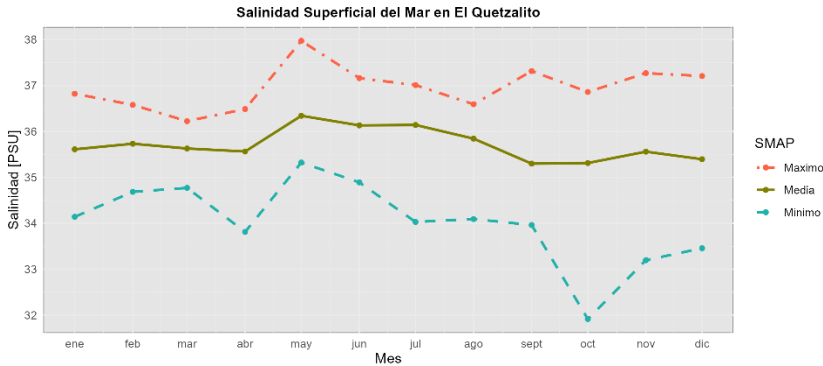


Figura 11.11: Tendencia de la Salinidad Superficial del Mar en El Quetzalito, utilizando los datos del satélite SMAP. Unidades (PSU)

12. Marea Astronómica

12.1. Aspectos generales

La marea astronómica es el fenómeno natural de la variación del nivel del mar, observado como el ascenso y descenso de sus aguas (Cadena, 2012). Este ascenso y descenso del nivel del mar se observa dos veces al día, teniendo dos máximos llamados pleamar y dos mínimos llamados bajamar (Figura 12.1). La diferencia entre la altura de pleamar y bajamar se le llama rango de la marea. El período de estas oscilaciones es el tiempo desde un máximo al siguiente, y comúnmente tiene una duración de 12.4 horas, por lo que hay alrededor de 1.9 ciclos por día (dos ciclos por día lunar) (Parker, 2007).

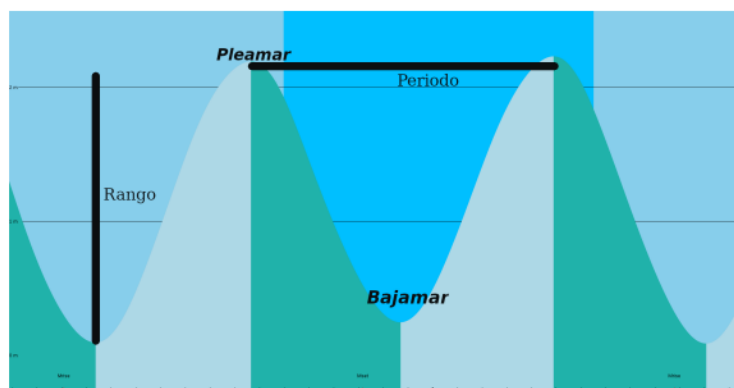


Figura 12.1: Diagrama ejemplificando los puntos cuando hay pleamar y bajamar, así como el período y el rango de la marea.

La marea astronómica es causada por la interacción entre la Tierra, la Luna y el Sol. A pesar de que la Luna parece orbitar alrededor de la Tierra, en realidad, ambos orbitan alrededor de un punto en común, llamado centro de gravedad. La fuerza centrífuga generada por este movimiento de rotación se encuentra en equilibrio con la fuerza de atracción gravitacional de la Luna. Sin embargo, en los lugares sobre la superficie terrestre más cercanos a la Luna, la fuerza de atracción gravitacional que la Luna ejerce es mayor que la fuerza centrífuga, y en el lado opuesto, la fuerza centrífuga es mayor que la gravitatoria (Parker, 2007). Estas fuerzas de marea,

contrario a lo que se suele pensar, no son suficientemente grandes como para causar que la superficie del agua se levante, por lo que son las fuerzas tangenciales a la superficie (al no competir con la fuerza gravitatoria) las que generan corrientes llamadas corrientes de marea. Estas corrientes producen una acumulación de agua en el lado más cercano a la Luna y una en el lado opuesto (Parker, 2007).

En donde hay acumulación de agua sucede la pleamar, no obstante, como la Tierra a su vez gira alrededor de su propio eje, el punto sobre la superficie terrestre donde hay pleamar, se mueve junto a la Tierra (Figura 12.2). Puntos cercanos al ecuador verán dos pleamares al día, una cuando pasa más cercano de la Luna y otra cuando está opuesta a esta (Parker, 2007).

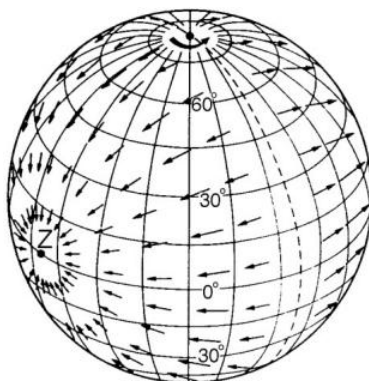


Figura 12.2: Ilustración de las corrientes de marea, fuente: (Stewart, 2008)

De la misma forma que la Luna genera mareas, el Sol también las genera. Debido a que se encuentra a una distancia mucho mayor que la Luna, su contribución suele ser menor, pero no por ello deja de ser importante. Cuando la Luna y el Sol están alineados, ambas mareas se combinan para generar mareas más fuertes llamadas mareas de Sizigia o mareas de primavera. De igual forma, cuando están desalineados, las dos mareas se anulan y generan unas mareas más débiles llamadas mareas muertas (Parker, 2007).

Debido a que hay muchos factores que afectan a las mareas de forma local, predecirlas de forma determinista se torna muy difícil. Es por eso que se suelen utilizar diferentes métodos basados en los datos históricos del nivel de marea, tales como el método de armónicos, el método de respuesta, métodos basados en la teoría de hidrodinámica o el método de altimetría y respuesta. Algunos de estos métodos son útiles para determinar mareas en zonas costeras y otros en mar abierto (Stewart, 2008). Para zonas costeras, el método actual utilizado por la NOAA es el método de armónicos basado en mínimos cuadrados (Parker, 2007), el cual es el mismo utilizado por INSIVUMEH.

12.2. Registros

Utilizando los datos almacenados de la estación mareográfica de Puerto Barrios, Puerto San José y Puerto Champerico se procesaron los datos eliminando valores estadísticamente atípicos, y se ajustaron todos los datos al mismo nivel de referencia. Se utilizó el programa “Xtides 2.15.5” (Flater & Flater, s.f.), el cual utiliza el método de armónicos para generar un pronóstico de marea astronómica, a partir del cual, se estimó el valor del nivel medio de mar (LMSL, Local Mean Sea Level). Utilizando el LMSL de referencia, se muestran los valores promedio por mes de la altura de pleamar y bajamar, el rango y los valores extremos de pleamar y bajamar.

Cuadro 12.1: Valores del nivel de marea para Puerto Barrios en el año 2024, mostrando los valores promedio de bajamar y pleamar, el rango promedio y los valores máximos y mínimos, por mes. Datos en metros (m).

Mes	Promedio			Extremos	
	Pleamar	Bajamar	Rango	Pleamar	Bajamar
Enero	0.040	-0.179	0.219	0.164	-0.287
Febrero	0.073	-0.153	0.227	0.196	-0.287
Marzo	0.076	-0.155	0.231	0.159	-0.273
Abril	0.057	-0.169	0.225	0.221	-0.287
Mayo	0.131	-0.089	0.220	0.212	-0.208
Junio	0.095	-0.125	0.220	0.243	-0.275
Julio	0.117	-0.114	0.232	0.288	-0.283
Agosto	0.154	-0.084	0.238	0.263	-0.254
Septiembre	0.249	0.029	0.220	0.289	-0.119
Octubre	0.156	-0.058	0.215	0.267	-0.226
Noviembre	0.160	-0.059	0.219	0.289	-0.212
Diciembre	0.056	-0.147	0.203	0.206	-0.287

Cuadro 12.2: Valores del nivel de marea para Puerto San José en el año 2024, mostrando los valores promedio de bajamar y pleamar, el rango promedio y los valores máximos y mínimos, por mes. Datos en metros (m).

Mes	Promedio			Extremos	
	Pleamar	Bajamar	Rango	Pleamar	Bajamar
Enero	0.771	-0.656	1.428	0.851	-0.719
Febrero	0.715	-0.777	1.492	1.204	-1.159
Marzo	0.641	-0.852	1.493	1.185	-1.262
Abril	0.690	-0.807	1.496	1.241	-1.227
Mayo	0.766	-0.764	1.530	1.240	-1.127
Junio	0.798	-0.735	1.534	1.149	-1.067
Julio	0.851	-0.702	1.552	1.165	-1.071
Agosto	0.812	-0.712	1.524	1.310	-1.039
Septiembre	0.802	-0.741	1.543	1.474	-1.062
Octubre	0.719	-0.799	1.518	1.273	-1.202
Noviembre	0.753	-0.740	1.493	1.334	-1.064
Diciembre	0.727	-0.731	1.458	1.119	-1.070

Cuadro 12.3: Valores del nivel de marea para Puerto Champerico en el año 2024, mostrando los valores promedio de bajamar y pleamar, el rango promedio y los valores máximos y mínimos, por mes. Datos en metros (m).

Mes	Promedio		Rango	Extremos	
	Pleamar	Bajamar		Pleamar	Bajamar
Enero	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-
Marzo	0.388	-0.579	0.968	0.562	-0.648
Abril	0.467	-0.539	1.005	0.932	-0.668
Mayo	0.560	-0.402	0.962	1.002	-0.488
Junio	0.613	-0.398	1.010	0.942	-0.478
Julio	0.661	-0.395	1.056	0.942	-0.478
Agosto	0.638	-0.294	0.932	1.012	-0.368
Septiembre	0.638	-0.271	0.909	1.172	-0.578
Octubre	0.496	-0.485	0.981	1.012	-0.598
Noviembre	0.551	-0.512	1.064	1.042	-0.598
Diciembre	0.522	-0.559	1.081	0.892	-0.688

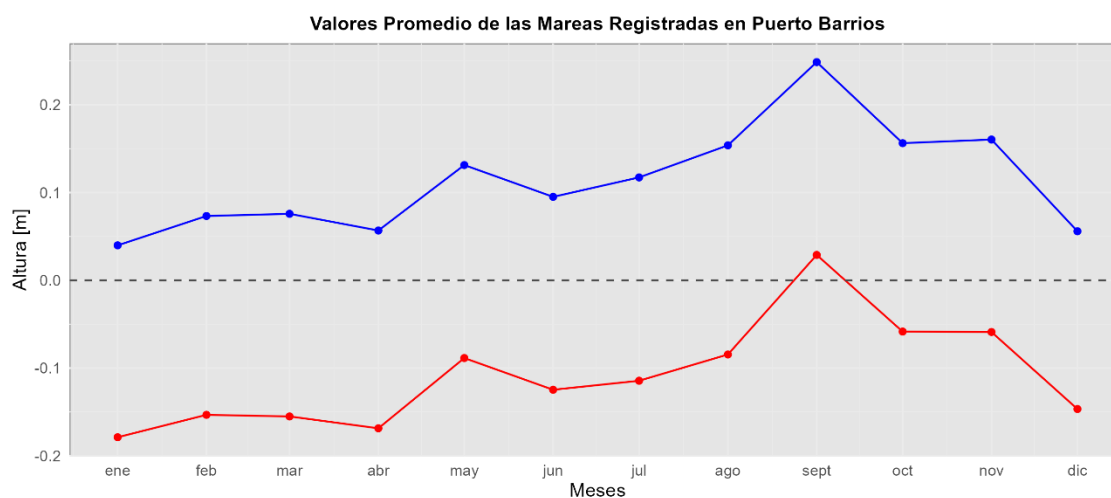


Figura 12.3: Tendencia del valor medio mensual de marea Puerto Barrios para el año 2024 de la altura en pleamar (rojo) y en bajamar (azul), con referencia a el valor medio del mar LMSL (negro)

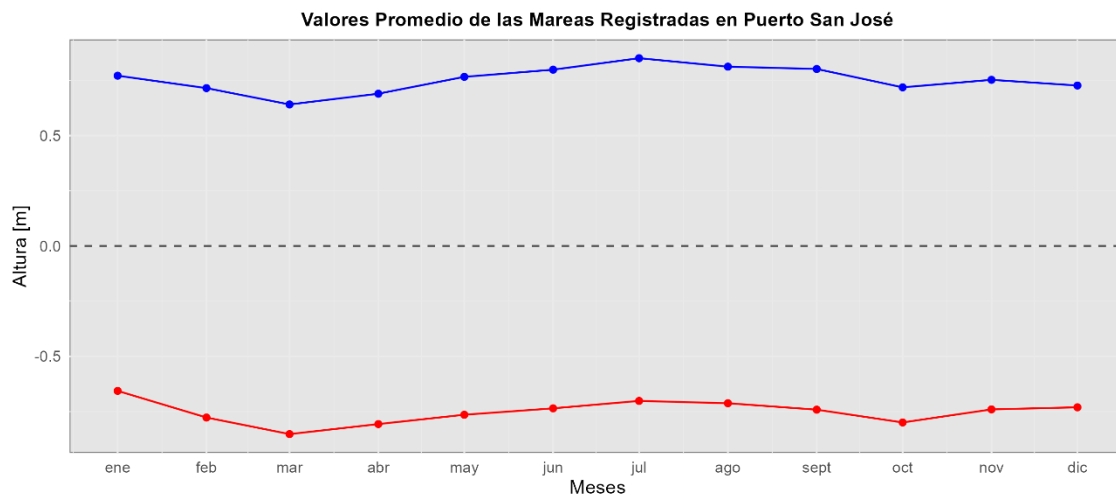


Figura 12.4: Tendencia del valor medio mensual de marea Puerto San José para el año 2024 de la altura en pleamar (rojo) y en bajamar (azul), con referencia a el valor medio del mar LMSL (negro)

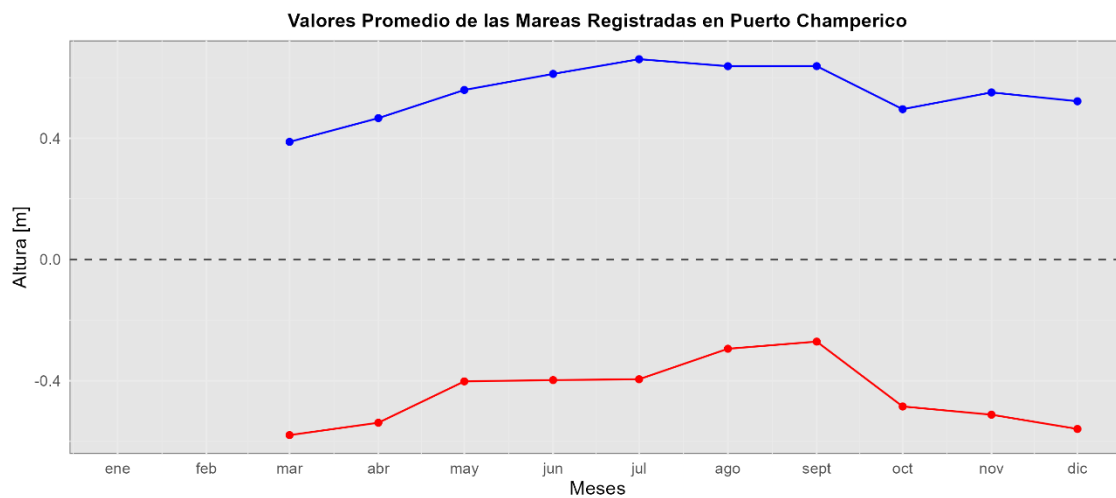


Figura 12.5: Tendencia del valor medio mensual de marea Puerto Champerico para el año 2024 de la altura en pleamar (rojo) y en bajamar (azul), con referencia a el valor medio del mar LMSL (negro).

13. Efemérides Lunares

13.1. Aspectos generales

La Luna es el único satélite natural que rodea la Tierra. Durante su desplazamiento alrededor del planeta se pueden observar diferentes fragmentos iluminados, de los cuales según el porcentaje visible se describen distintas fases: Luna Nueva, Cuarto Creciente, Luna Llena y Cuarto Menguante. Este objeto astrofísico influye en algunos eventos que suceden en nuestro planeta, como las mareas, las cuales son producto principalmente por la fuerza gravitacional que la Luna ejerce sobre la Tierra (Grego, 2005).

13.2. Registros

A continuación, se muestran los datos de las efemérides lunares en donde se pueden observar la fase de la luna, mes, % de iluminación, hora de puesta y salida, y el día de ocurrencia. Los datos fueron calculados a través de la librería "suncalc"(Benoit Thieurmél, 2022) en el lenguaje R (R Core Team, 2024).

Cuadro 13.1: Efemérides lunares año 2024, Fuente: “suncalc” (Benoit Thieurmél, 2022)

Fase	Mes	% Iluminación	Salida / Puesta	Día	Fase	Mes	% Iluminación	Salida / Puesta	Día
Cuarto Menguante	Enero	54.1	SD / 11:44	3	Luna Nueva	Julio	0.8	05:17 / 18:54	5
Luna Nueva		0.2	06:42 / 18:12	11	Cuarto Creciente		48.2	11:55 / 23:56	13
Cuarto Creciente		45.3	11:22 / SD	17	Luna Llena		99.3	19:07 / 05:46	21
Luna Llena		99.9	18:11 / 16:43	25	Cuarto Menguante		48.8	23:33 / 11:39	27
Cuarto Menguante	Febrero	52.7	SD / 11:29	2	Luna Nueva	Agosto	0.1	05:56 / 19:06	4
Luna Nueva		0.7	06:20 / 18:05	9	Cuarto Creciente		51.3	12:17 / 23:51	12
Cuarto Creciente		51.3	11:32 / SD	16	Luna Llena		99.8	18:35 / 05:35	19
Luna Llena		99.9	18:32 / 06:38	24	Cuarto Menguante		51.7	23:56 / 12:31	26
Cuarto Menguante	Marzo	49.2	00:17 / 11:45	3	Luna Nueva	Septiembre	0.4	05:30 / 18:17	2
Luna Nueva		0.1	06:30 / 18:49	10	Cuarto Creciente		45	11:58 / 23:23	10
Cuarto Creciente		45.4	11:07 / SD	16	Luna Llena		100	17:55 / 05:20	17
Luna Llena		99.9	17:57 / 05:44	24	Cuarto Menguante		45.3	23:42 / 12:22	24
Cuarto Menguante	Abril	59.6	00:05 / 11:31	1	Luna Nueva	Octubre	0.1	05:43 / 17:55	2
Luna Nueva		0.1	05:48 / 18:32	8	Cuarto Creciente		50	12:40 / SD	10
Cuarto Creciente		49.6	11:47 / 00:25	15	Luna Llena		99.5	17:57 / 06:01	17
Luna Llena		100	18:11 / 05:23	23	Cuarto Menguante		51	SD / 12:54	24
Cuarto Menguante	Mayo	52.6	00:44 / 12:26	1	Luna Nueva	Noviembre	0.1	05:56 / 17:39	1
Luna Nueva		0.7	05:08 / 18:17	7	Cuarto Creciente		44.8	12:13 / 23:58	8
Cuarto Creciente		52.7	12:16 / 00:34	15	Luna Llena		99.9	17:26 / 05:49	15
Luna Llena		99.6	18:44 / 05:21	23	Cuarto Menguante		58.1	SD / 12:13	22
Cuarto Menguante	Junio	55.4	00:10 / 12:13	30	Luna Nueva	Diciembre	0.1	06:27 / 17:52	1
Luna Nueva		0.2	05:33 / 19:09	6	Cuarto Creciente		44.8	12:20 / SD	8
Cuarto Creciente		45.6	11:45 / SD	13	Luna Llena		99.6	17:06 / 05:42	14
Luna Llena		99.8	18:31 / 04:57	21	Cuarto Menguante		58.1	SD / 11:56	22
Cuarto Menguante		57.7	SD / 11:56	28	Luna Nueva		0.7	06:10 / 17:33	30

14. Efemérides Solares

14.1. Aspectos generales

La Tierra gira alrededor del Sol con una inclinación de 23.5° , lo que causa que la cantidad de luz solar recibida varíe según la latitud y la época del año. Esta inclinación genera una transición entre más y menos horas de luz diarias. Anualmente, ocurren dos equinoccios y dos solsticios. Durante los equinoccios, el día y la noche tienen la misma duración en el ecuador: el equinoccio de primavera ocurre entre el 20 y 21 de marzo, y el de otoño entre el 20 y 23 de septiembre (Stanford-Solar-Center, 2022).

Los solsticios acontecen cuando el Sol se ubica en el punto máximo hacia el norte o el sur, siendo las fechas en que ocurre el día más largo o el más corto, respectivamente. El solsticio de verano ocurre cuando el Sol se mueve sobre el Trópico de Cáncer a un ángulo de 23.5° en el hemisferio Norte, alcanzando el valor máximo de inclinación de la tierra hacia el sol. Los países que están ubicados en el norte del Trópico de Cáncer experimentan el día más largo del año (NOAA, 2022). Por otra parte, el solsticio de invierno se produce cuando el Sol se mueve sobre el Trópico de Capricornio a un ángulo de 23.5° al sur del ecuador (NOAA, 2022).

Las estaciones son producto del cambio en la duración del día y de la noche. Es en verano cuando los días tienen mayor duración y por ende, más cantidad de horas de luz disponible, e invierno cuando tienen la menor duración. Por lo tanto, esta información sirve de apoyo para el conocimiento acerca de las horas de luz solar disponibles a lo largo del año para el desarrollo de distintas actividades.

14.2. Registros

A continuación, se muestran los datos de las efemérides solares en donde se observan el mes y día de ocurrencia, hora de salida y puesta, esta información fue generada a través de la librería "suncalc" (Benoit Thieurmél, 2022) en el lenguaje R (R Core Team, 2024) para las coordenadas 14.5873 N, -90.5327 O.

Cuadro 14.1: Efemérides solares de enero a junio de 2024. Fuente: suncalc (Benoit Thieurmél, 2022).

Enero			FEBRERO			MARZO			ABRIL			MAYO			JUNIO		
Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta
1	06:28	17:45	1	06:31	18:02	1	06:20	18:11	1	05:59	18:15	1	05:40	18:20	1	05:33	18:29
2	06:28	17:45	2	06:31	18:02	2	06:19	18:11	2	05:58	18:15	2	05:40	18:20	2	05:33	18:29
3	06:29	17:46	3	06:31	18:03	3	06:19	18:11	3	05:57	18:15	3	05:39	18:20	3	05:33	18:29
4	06:29	17:46	4	06:31	18:03	4	06:18	18:12	4	05:56	18:15	4	05:39	18:20	4	05:33	18:30
5	06:29	17:47	5	06:30	18:03	5	06:18	18:12	5	05:56	18:15	5	05:39	18:21	5	05:33	18:30
6	06:30	17:47	6	06:30	18:04	6	06:17	18:12	6	05:55	18:15	6	05:38	18:21	6	05:33	18:30
7	06:30	17:48	7	06:30	18:04	7	06:16	18:12	7	05:54	18:15	7	05:38	18:21	7	05:33	18:31
8	06:30	17:49	8	06:30	18:05	8	06:16	18:12	8	05:54	18:16	8	05:38	18:21	8	05:33	18:31
9	06:30	17:49	9	06:29	18:05	9	06:15	18:12	9	05:53	18:16	9	05:37	18:22	9	05:33	18:31
10	06:31	17:50	10	06:29	18:05	10	06:14	18:13	10	05:52	18:16	10	05:37	18:22	10	05:33	18:32
11	06:31	17:50	11	06:29	18:06	11	06:14	18:13	11	05:52	18:16	11	05:36	18:22	11	05:33	18:32
12	06:31	17:51	12	06:28	18:06	12	06:13	18:13	12	05:51	18:16	12	05:36	18:22	12	05:34	18:32
13	06:31	17:52	13	06:28	18:07	13	06:12	18:13	13	05:50	18:16	13	05:36	18:23	13	05:34	18:32
14	06:31	17:52	14	06:28	18:07	14	06:12	18:13	14	05:50	18:16	14	05:36	18:23	14	05:34	18:33
15	06:31	17:53	15	06:27	18:07	15	06:11	18:13	15	05:49	18:17	15	05:35	18:23	15	05:34	18:33
16	06:32	17:53	16	06:27	18:08	16	06:10	18:13	16	05:48	18:17	16	05:35	18:24	16	05:34	18:33
17	06:32	17:54	17	06:26	18:08	17	06:09	18:13	17	05:48	18:17	17	05:35	18:24	17	05:34	18:33
18	06:32	17:54	18	06:26	18:08	18	06:09	18:13	18	05:47	18:17	18	05:35	18:24	18	05:34	18:34
19	06:32	17:55	19	06:25	18:09	19	06:08	18:14	19	05:47	18:17	19	05:34	18:25	19	05:35	18:34
20	06:32	17:55	20	06:25	18:09	20	06:07	18:14	20	05:46	18:17	20	05:34	18:25	20	05:35	18:34
21	06:32	17:56	21	06:24	18:09	21	06:07	18:14	21	05:45	18:17	21	05:34	18:25	21	05:35	18:34
22	06:32	17:57	22	06:24	18:09	22	06:06	18:14	22	05:45	18:18	22	05:34	18:26	22	05:35	18:35
23	06:32	17:57	23	06:23	18:10	23	06:05	18:14	23	05:44	18:18	23	05:34	18:26	23	05:35	18:35
24	06:32	17:58	24	06:23	18:10	24	06:04	18:14	24	05:44	18:18	24	05:34	18:26	24	05:36	18:35
25	06:32	17:58	25	06:22	18:10	25	06:04	18:14	25	05:43	18:18	25	05:33	18:27	25	05:36	18:35
26	06:32	17:59	26	06:22	18:10	26	06:03	18:14	26	05:43	18:18	26	05:33	18:27	26	05:36	18:35
27	06:32	17:59	27	06:21	18:11	27	06:02	18:14	27	05:42	18:19	27	05:33	18:27	27	05:36	18:35
28	06:32	18:00	28	06:21	18:11	28	06:01	18:14	28	05:42	18:19	28	05:33	18:28	28	05:37	18:36
29	06:32	18:00				29	06:01	18:15	29	05:41	18:19	29	05:33	18:28	29	05:37	18:36
30	06:32	18:01				30	06:00	18:15	30	05:41	18:19	30	05:33	18:28	30	05:37	18:36
31	06:31	18:01				31	05:59	18:15				31	05:33	18:29			

Cuadro 14.2: Efemérides solares de julio a diciembre de 2024. Fuente: suncalc (Benoit Thieurmél, 2022).

JULIO			AGOSTO			SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta	Día	Salida	Puesta
1	05:37	18:36	1	05:46	18:32	1	05:51	18:15	1	05:52	17:53	1	05:58	17:35	1	06:12	17:32
2	05:38	18:36	2	05:46	18:32	2	05:51	18:15	2	05:52	17:52	2	05:59	17:34	2	06:13	17:32
3	05:38	18:36	3	05:47	18:32	3	05:51	18:14	3	05:53	17:51	3	05:59	17:34	3	06:13	17:32
4	05:38	18:36	4	05:47	18:31	4	05:51	18:13	4	05:53	17:51	4	05:59	17:34	4	06:14	17:33
5	05:38	18:36	5	05:47	18:31	5	05:51	18:13	5	05:53	17:50	5	06:00	17:33	5	06:14	17:33
6	05:39	18:36	6	05:47	18:30	6	05:51	18:12	6	05:53	17:49	6	06:00	17:33	6	06:15	17:33
7	05:39	18:36	7	05:48	18:30	7	05:51	18:11	7	05:53	17:48	7	06:00	17:33	7	06:16	17:33
8	05:39	18:36	8	05:48	18:30	8	05:51	18:10	8	05:53	17:48	8	06:01	17:33	8	06:16	17:34
9	05:40	18:36	9	05:48	18:29	9	05:51	18:10	9	05:53	17:47	9	06:01	17:32	9	06:17	17:34
10	05:40	18:36	10	05:48	18:29	10	05:52	18:09	10	05:53	17:46	10	06:02	17:32	10	06:17	17:34
11	05:40	18:36	11	05:48	18:28	11	05:52	18:08	11	05:53	17:46	11	06:02	17:32	11	06:18	17:35
12	05:40	18:36	12	05:49	18:28	12	05:52	18:07	12	05:54	17:45	12	06:03	17:32	12	06:18	17:35
13	05:41	18:36	13	05:49	18:27	13	05:52	18:07	13	05:54	17:44	13	06:03	17:32	13	06:19	17:35
14	05:41	18:36	14	05:49	18:27	14	05:52	18:06	14	05:54	17:44	14	06:03	17:31	14	06:19	17:36
15	05:41	18:36	15	05:49	18:26	15	05:52	18:05	15	05:54	17:43	15	06:04	17:31	15	06:20	17:36
16	05:42	18:36	16	05:49	18:26	16	05:52	18:04	16	05:54	17:43	16	06:04	17:31	16	06:20	17:37
17	05:42	18:36	17	05:49	18:25	17	05:52	18:03	17	05:54	17:42	17	06:05	17:31	17	06:21	17:37
18	05:42	18:36	18	05:50	18:24	18	05:52	18:03	18	05:55	17:41	18	06:05	17:31	18	06:22	17:37
19	05:43	18:35	19	05:50	18:24	19	05:52	18:02	19	05:55	17:41	19	06:06	17:31	19	06:22	17:38
20	05:43	18:35	20	05:50	18:23	20	05:52	18:01	20	05:55	17:40	20	06:06	17:31	20	06:23	17:38
21	05:43	18:35	21	05:50	18:23	21	05:52	18:00	21	05:55	17:40	21	06:07	17:31	21	06:23	17:39
22	05:43	18:35	22	05:50	18:22	22	05:52	18:00	22	05:55	17:39	22	06:07	17:31	22	06:24	17:39
23	05:44	18:35	23	05:50	18:21	23	05:52	17:59	23	05:56	17:39	23	06:08	17:31	23	06:24	17:40
24	05:44	18:35	24	05:50	18:21	24	05:52	17:58	24	05:56	17:38	24	06:08	17:31	24	06:24	17:40
25	05:44	18:34	25	05:50	18:20	25	05:52	17:57	25	05:56	17:38	25	06:09	17:31	25	06:25	17:41
26	05:45	18:34	26	05:51	18:20	26	05:52	17:57	26	05:56	17:37	26	06:09	17:31	26	06:25	17:41
27	05:45	18:34	27	05:51	18:19	27	05:52	17:56	27	05:57	17:37	27	06:10	17:31	27	06:26	17:42
28	05:45	18:34	28	05:51	18:18	28	05:52	17:55	28	05:57	17:36	28	06:11	17:31	28	06:26	17:42
29	05:45	18:33	29	05:51	18:18	29	05:52	17:54	29	05:57	17:36	29	06:11	17:32	29	06:27	17:43
30	05:46	18:33	30	05:51	18:17	30	05:52	17:54	30	05:58	17:35	30	06:12	17:32	30	06:27	17:43
31	05:46	18:33	31	05:51	18:16				31	05:58	17:35				31	06:27	17:44

Cuadro 14.3: Equinoccios y Solsticios del año 2024. Fuente (NOAA, 2024)

	Fecha	Hora		Fecha	Hora
Equinoccio de primavera	20/03/2024	03:06	Equinoccio de Otoño	22/09/2024	12:43
Solsticio de Verano	20/06/2024	20:50	Solsticio de Invierno	21/12/2024	09:20

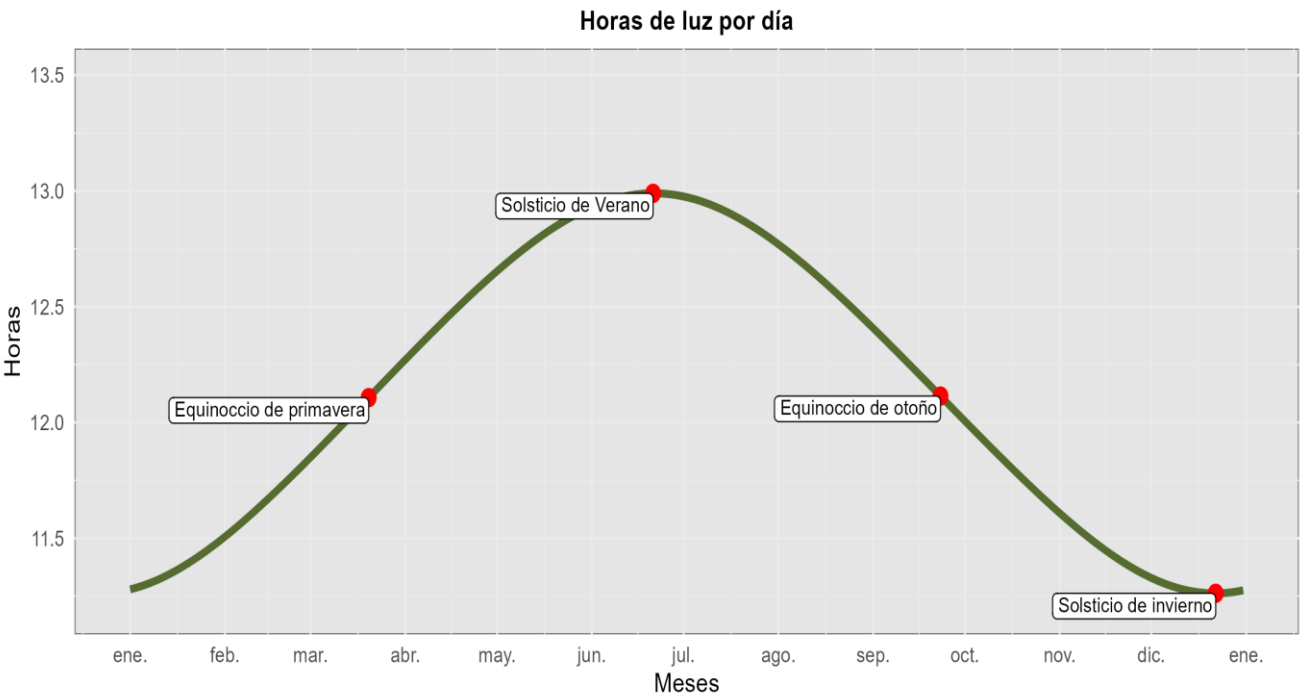


Figura 14.1: Gráfico de horas sol para el año 2024, basado en la salida y puesta de sol para las coordenadas 14.5873 N, -90.5327 O.

Cuadro 14.4: Promedio mensual de horas con luz natural

Mes	Promedio Horas
Enero	11.37
Febrero	11.67
Marzo	12.05
Abril	12.46
Mayo	12.80
Junio	12.97
Julio	12.89
Agosto	12.60
Septiembre	12.21
Octubre	11.81
Noviembre	11.46
Diciembre	11.28

15. Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar

15.1. Aspectos generales

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un acople de dos fenómenos naturales. Primero, se considera la Oscilación del Sur (OS) que es una fluctuación de presión atmosférica a escala global entre el hemisferio oriental y el occidental del océano Pacífico, más específicamente en la isla Darwin (Australia - 12.4° S, 130.9° E) y Tahití (17.5° S, 149.6° O). Por otro lado, el fenómeno del Niño (EN) se utiliza como sinónimo de las fluctuaciones semi-oscilatorias de temperatura en la zona del Pacífico central y ecuatorial en una región delimitada (Cuadro 15.1).

Cuadro 15.1: Regiones Niño, Fuente: Indices of El Niño Evolution (Trenberth & Stepaniak, 2001)

Niño 1+2	(0° – 10° S, 90° – 80° W)	Niño - 3	(5° N – 5° S, 150° – 90° W)
Niño – 3.4	(5° N – 5° S, 170° – 120° W)	Niño - 4	(5° N – 5° S, 160° E – 150° W)

Debido a este acople de fenómenos, en la actualidad se define como término “El Niño” a la fase caliente de la OS, donde los vientos alisios son débiles y la presión es baja sobre el Pacífico Tropical Este y alta sobre el Oeste (Alfaro Martínez & Amador Astúa, 1997). Además, se define como “La Niña” a la fase opuesta donde la TSM es relativamente baja y los vientos alisios son relativamente intensos.

El término “Anomalía” está definido como la desviación de una medición con respecto al promedio del período de referencia (WMO, 2017). Dicho período, también referido como “normal climática” por recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), es un plazo establecido de 30 años que debe actualizarse cada 10 años (WMO, 2017).

El Índice Oceánico del Niño (ONI, por sus siglas en inglés) es un valor numérico utilizado para identificar si estamos ante una fase Niño o una fase Niña. Este se calcula como una media móvil de tres meses a partir de las anomalías de la temperatura superficial del mar para la región “El

Niño-3.4” (un área específica del Pacífico) (Florida International University, 2015). Si el índice del Niño supera el umbral de 0.5, se considera una fase Niño. Si es inferior a -0.5, se considera una fase Niña. En caso de que no se supere el umbral de ± 0.5 , se considera como una ocurrencia normal o fase neutra.

15.2. Registros

Cuadro 15.2: Valores trimestrales del Índice Oceánico El Niño desde el año 2020 a 2024.
Fuente: Climate Prediction Center (NOAA, 2001a)

AÑO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0
2024	1.8	1.5	1.1	0.7	0.4	0.2	0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5

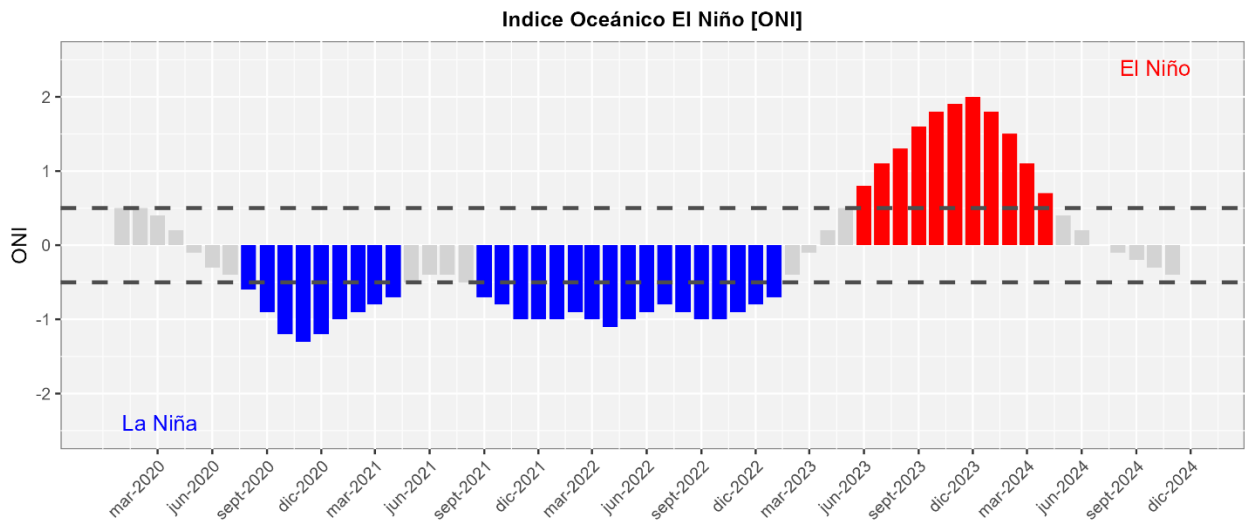


Figura 15.1: Valores del Índice Oceánico El Niño (ONI) desde el año 2020 hasta el 2024.

16. Anomalía del Nivel del Mar

16.1. Aspectos generales

Como complemento a la información de las observaciones directas que captan las estaciones mareográficas se utiliza información satelital sobre la anomalía del nivel del mar. El monitoreo permanente de la anomalía del nivel del mar y las corrientes geostróficas es de vital importancia para la vigilancia oceanográfica y anticipar los efectos de ENOS en la distribución espacial y temporal de estas variables. El nivel del mar se ve influenciado por la compleja interacción de varios factores físico-químicos (Virginia Institute of Marine Science, 2024). Sin embargo, se ha observado principalmente una mayor influencia de las altas temperaturas, las cuales provocan expansión térmica del agua y a su vez se produce un incremento del nivel del mar y cambios en la distribución de las corrientes marinas.

16.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de la Anomalía del Nivel del Mar para los 11 puntos de interés, captados por el satélite RADS que utiliza un sensor de Radar con datos altimétricos. En las siguientes tablas se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 16.1. Anomalía del nivel del Mar (m) para Ocos según datos de RADS.
Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.04	31	0.18	11
Febrero	0.02	-0.05	13	0.07	18
Marzo	-0.06	-0.10	10	-0.01	25
Abril	-0.01	-0.07	5	0.05	31
Mayo	0.03	-0.01	7	0.09	1
Junio	0.05	-0.04	21	0.13	5
Julio	0.09	0.04	4	0.13	8
Agosto	0.06	0.03	1	0.10	10
Septiembre	0.04	-0.03	31	0.12	15
Octubre	-0.08	-0.15	11	0.04	1
Noviembre	0.03	-0.03	26	0.08	13
Diciembre	0.01	-0.03	2	0.07	31

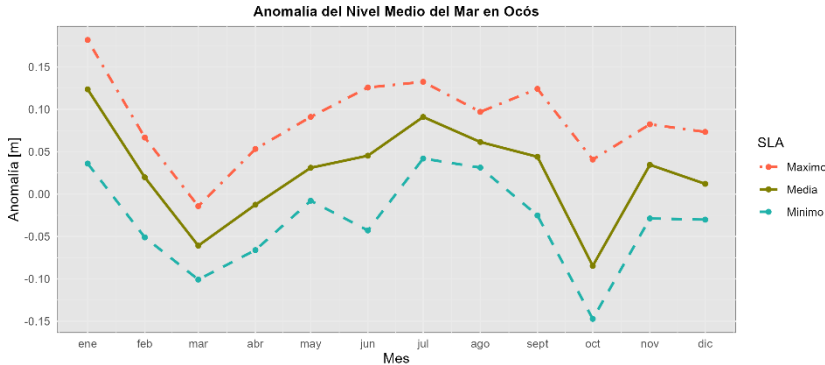


Figura 16.1: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Ocos, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.2. Anomalía del nivel del Mar (m) para Champerico según datos de RADS.
Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.03	26	0.18	11
Febrero	0.00	-0.06	1	0.05	18
Marzo	-0.07	-0.12	13	-0.01	22
Abril	-0.01	-0.06	11	0.07	1
Mayo	0.04	-0.01	7	0.10	26
Junio	0.04	-0.04	22	0.12	3
Julio	0.08	0.04	4	0.11	17
Agosto	0.07	0.03	24	0.10	3
Septiembre	0.05	-0.01	1	0.16	15
Octubre	-0.09	-0.14	11	0.02	1
Noviembre	0.04	-0.02	25	0.08	13
Diciembre	0.01	-0.03	3	0.07	26

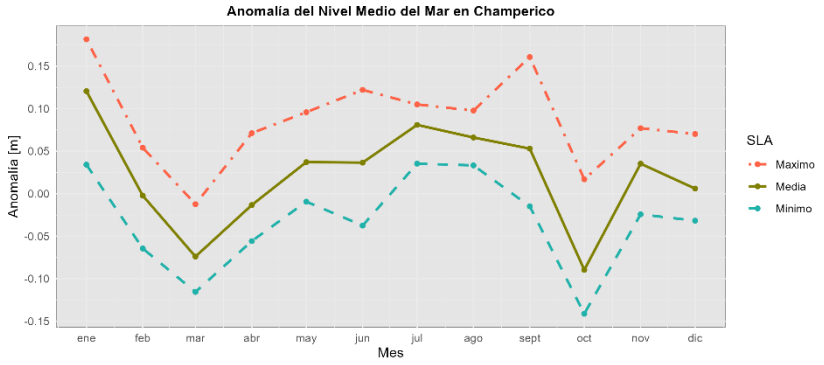


Figura 16.2: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Champerico, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.3. Anomalía del nivel del Mar (m) para Tahuexco según datos de RADS.
Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

SLA					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.02	26	0.18	11
Febrero	0.00	-0.05	1	0.06	18
Marzo	-0.07	-0.12	13	0.00	22
Abril	-0.02	-0.06	11	0.07	1
Mayo	0.04	-0.01	7	0.11	26
Junio	0.04	-0.05	22	0.12	3
Julio	0.08	0.04	3	0.11	17
Agosto	0.06	0.01	1	0.10	3
Septiembre	0.05	-0.06	1	0.16	15
Octubre	-0.09	-0.15	11	0.02	1
Noviembre	0.04	-0.03	2	0.09	3
Diciembre	0.01	-0.04	3	0.08	27

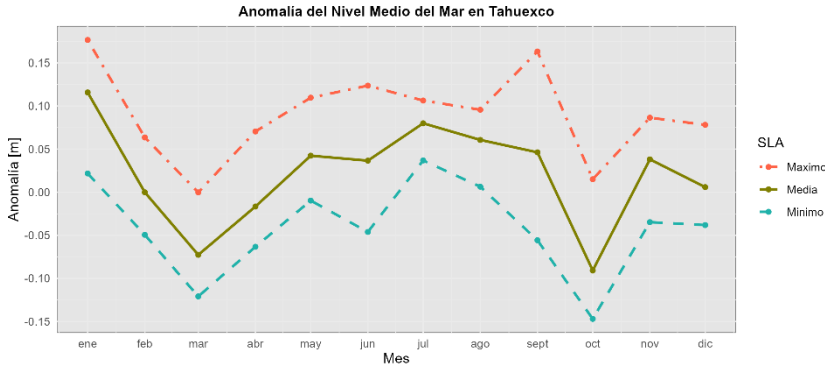


Figura 16.3: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Tahuexco, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.4. Anomalía del nivel del Mar (m) para Tecojate según datos de RADS.
Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

SLA					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.04	24	0.18	11
Febrero	0.00	-0.04	1	0.08	2
Marzo	-0.08	-0.15	13	-0.01	22
Abril	-0.02	-0.08	12	0.06	1
Mayo	0.05	0.00	7	0.09	1
Junio	0.04	-0.05	22	0.12	3
Julio	0.07	0.02	3	0.10	13
Agosto	0.06	-0.02	1	0.10	3
Septiembre	0.06	-0.08	1	0.19	15
Octubre	-0.09	-0.14	11	0.02	1
Noviembre	0.03	-0.05	2	0.06	19
Diciembre	-0.01	-0.06	3	0.09	31

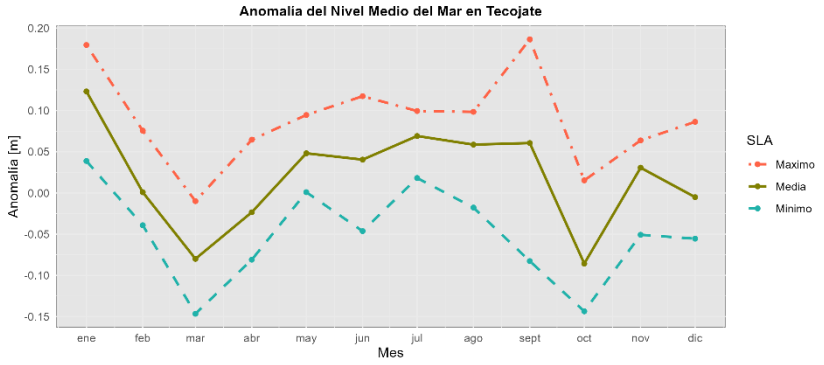


Figura 16.4: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Tecojate, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.5. Anomalía del nivel del Mar (m) para Sipacate según datos de RADS.
Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.02	24	0.18	11
Febrero	0.01	-0.06	20	0.09	4
Marzo	-0.08	-0.16	18	0.00	22
Abril	-0.02	-0.08	6	0.07	18
Mayo	0.04	-0.01	7	0.10	1
Junio	0.04	-0.04	22	0.12	3
Julio	0.07	0.03	3	0.09	14
Agosto	0.05	-0.06	27	0.09	18
Septiembre	0.05	-0.11	1	0.17	15
Octubre	-0.09	-0.15	13	-0.01	1
Noviembre	0.03	-0.05	2	0.08	13
Diciembre	0.00	-0.06	3	0.10	27

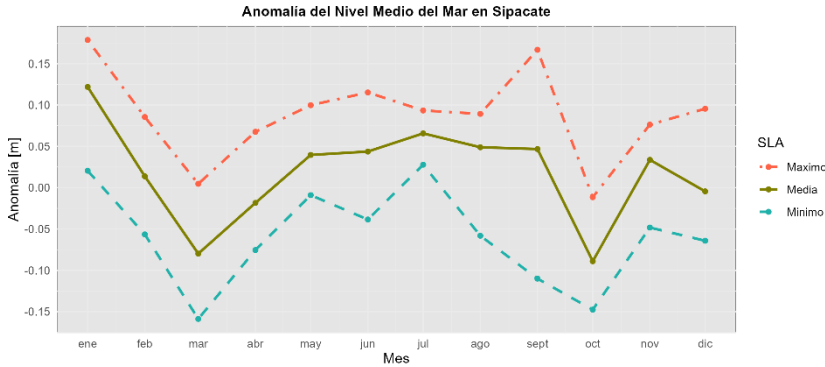


Figura 16.5: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Sipacate, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.6. Anomalía del nivel del Mar (m) para Puerto San José según datos de RADS.
Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.12	0.00	24	0.18	11
Febrero	0.01	-0.10	20	0.08	5
Marzo	-0.09	-0.21	17	-0.03	22
Abril	-0.02	-0.09	14	0.05	18
Mayo	0.02	-0.06	11	0.10	1
Junio	0.04	-0.03	22	0.10	2
Julio	0.06	0.01	19	0.08	9
Agosto	0.03	-0.10	27	0.09	18
Septiembre	0.02	-0.17	1	0.12	15
Octubre	-0.10	-0.20	15	-0.01	1
Noviembre	0.03	-0.05	2	0.05	13
Diciembre	-0.01	-0.06	3	0.10	27

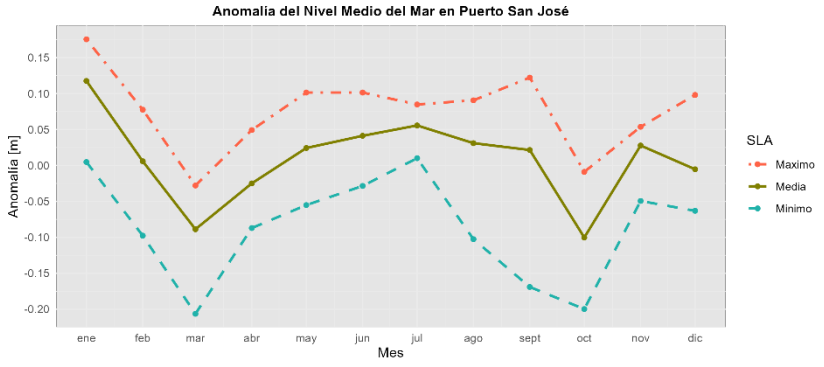


Figura 16.6: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Puerto San José, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.7. Anomalía del nivel del Mar (m) para Monterrico según datos de RADS.
Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

SLA					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.09	-0.04	23	0.16	10
Febrero	-0.03	-0.18	20	0.07	2
Marzo	-0.13	-0.34	18	-0.03	3
Abril	-0.07	-0.21	14	0.02	20
Mayo	-0.04	-0.20	13	0.10	31
Junio	0.01	-0.04	7	0.07	1
Julio	0.03	-0.08	19	0.09	9
Agosto	-0.02	-0.21	27	0.09	18
Septiembre	-0.05	-0.20	1	0.05	12
Octubre	-0.10	-0.21	20	0.00	3
Noviembre	0.00	-0.07	16	0.06	2
Diciembre	-0.03	-0.14	14	0.09	27

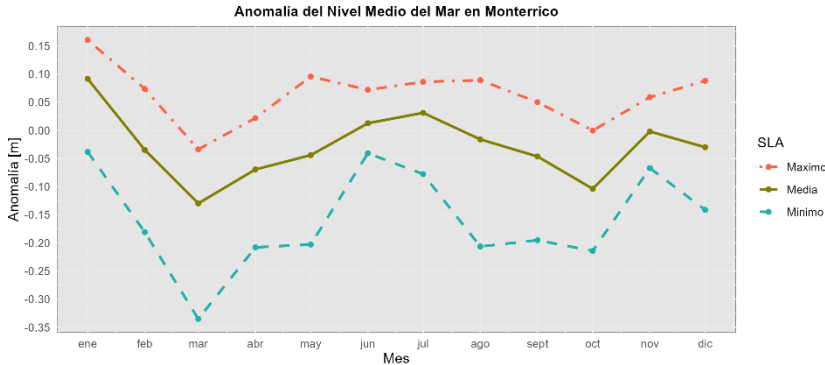


Figura 16.7: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Monterrico, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.8. Anomalía del nivel del Mar (m) para Las Lisas según datos de RADS.
Latitud: 13.79 N. **Longitud:** --90.27 E.

SLA					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.09	-0.04	23	0.16	10
Febrero	-0.03	-0.18	20	0.07	2
Marzo	-0.13	-0.34	18	-0.03	3
Abril	-0.07	-0.21	14	0.02	20
Mayo	-0.04	-0.20	13	0.10	31
Junio	0.01	-0.04	7	0.07	1
Julio	0.03	-0.08	19	0.09	9
Agosto	-0.02	-0.21	27	0.09	18
Septiembre	-0.05	-0.20	1	0.05	12
Octubre	-0.10	-0.21	20	0.00	3
Noviembre	0.00	-0.07	16	0.06	2
Diciembre	-0.03	-0.14	14	0.09	27

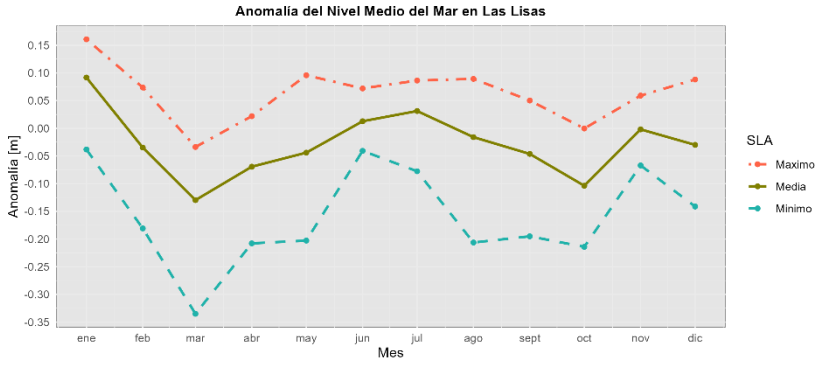


Figura 16.8: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Las Lisas, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.9. Anomalía del nivel del Mar (m) para Bahía de Amatique según datos de RADS.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.07	0.02	11	0.13	1
Febrero	0.09	0.04	7	0.15	26
Marzo	0.06	0.02	14	0.13	1
Abril	0.05	0.00	31	0.12	8
Mayo	0.08	0.01	2	0.13	27
Junio	0.10	0.02	21	0.17	3
Julio	0.04	0.00	11	0.11	17
Agosto	0.08	0.03	9	0.16	19
Septiembre	0.18	0.10	4	0.27	22
Octubre	0.14	0.09	12	0.20	1
Noviembre	0.16	0.11	3	0.22	1
Diciembre	0.12	0.01	31	0.22	1

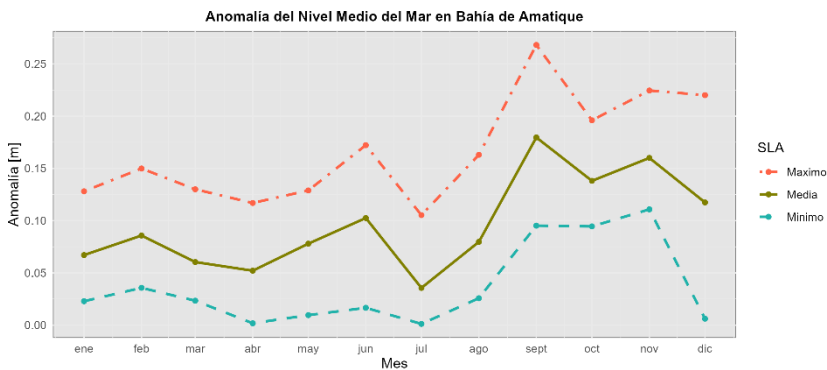


Figura 16.9: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Bahía de Amatique, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.10. Anomalía del nivel del Mar (m) para Punta de Manabique según datos de RADS.
Latitud: 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.07	0.02	11	0.13	1
Febrero	0.09	0.04	7	0.15	26
Marzo	0.06	0.02	14	0.13	1
Abril	0.05	0.00	31	0.12	8
Mayo	0.08	0.01	2	0.13	27
Junio	0.10	0.02	21	0.17	3
Julio	0.04	0.00	11	0.11	17
Agosto	0.08	0.03	9	0.16	19
Septiembre	0.18	0.10	4	0.27	22
Octubre	0.14	0.09	12	0.20	1
Noviembre	0.16	0.11	3	0.22	1
Diciembre	0.12	0.01	31	0.22	1

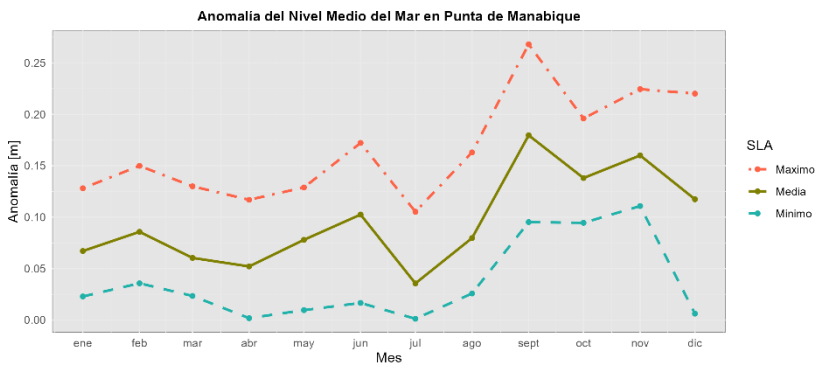


Figura 16.10: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en Punta de Manabique, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

Cuadro 16.11. Anomalía del nivel del Mar (m) para El Quetzalito según datos de RADS.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

MES	SLA				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	0.07	0.02	11	0.13	1
Febrero	0.09	0.03	6	0.16	26
Marzo	0.06	0.02	12	0.13	1
Abril	0.04	0.00	31	0.11	8
Mayo	0.08	0.00	2	0.12	27
Junio	0.09	0.01	21	0.16	3
Julio	0.04	0.00	7	0.12	17
Agosto	0.08	0.02	9	0.16	27
Septiembre	0.18	0.09	4	0.28	22
Octubre	0.14	0.09	10	0.20	1
Noviembre	0.16	0.10	3	0.21	1
Diciembre	0.12	0.01	27	0.21	1

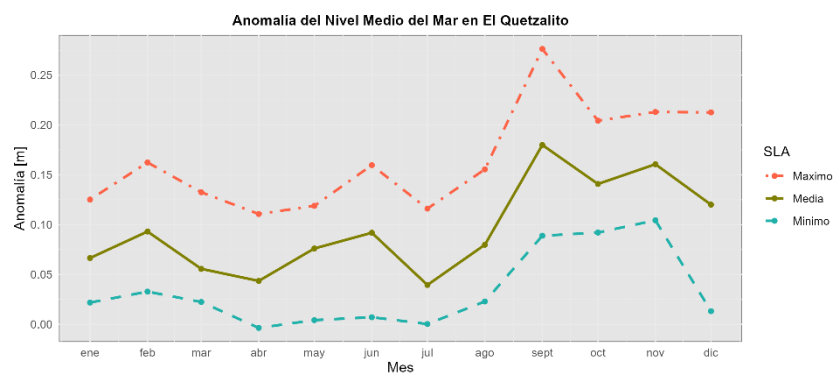


Figura 16.11: Tendencia de la anomalía del nivel del Mar en El Quetzalito, utilizando los datos de altimetría RADS. Unidades (m)

16.3. Análisis para la región cercana de Bahía de Amatique y El Quetzalito

Las interacciones entre la atmósfera y el océano son complejas y diversas. Los fenómenos atmosféricos como vientos, variaciones en la temperatura, presión atmosférica, efemérides lunares o tormentas, impactan de manera directa en el comportamiento del océano, en el oleaje, las mareas, el aumento en el nivel del mar, entre otros (Kraus & Businger, 1994). Debido a aumentos en el nivel del mar cerca de la línea de costa, es importante analizar estas interacciones para poder prevenir los efectos que causan a las zonas costeras donde ocurren Bindoff, et. al., 2007). No obstante, existen eventos hidro-meteorológicos como ciclones, tormentas, lluvias torrenciales, que dependiendo de su temporalidad e intensidad, sus impactos pueden ser percibidos local o regionalmente (Von Storch & Woth, 2008).

Durante el año 2024, estos eventos fueron recurrentes, generando efectos significativos en diversas áreas del Caribe (NOAA, 2024). Para la región de Guatemala durante el mes de noviembre, la tormenta tropical “Sara” afectó la región de Puerto Barrios, provocando inundaciones, nublados con lluvias intermitentes y un aumento en el nivel del mar (CONRED, 2024). En el presente análisis se describe la influencia de diversos factores en la región cercana a Bahía de Amatique y El Quetzalito, considerando la fuerza gravitacional de la luna y la influencia de la tormenta sobre variables océano-ambientales como la marea, el viento y la temperatura superficial del mar. A través del monitoreo de estos factores, se busca comprender la interacción de los procesos meteorológicos y oceanográficos que contribuyeron al aumento del nivel del mar y las inundaciones en la zona

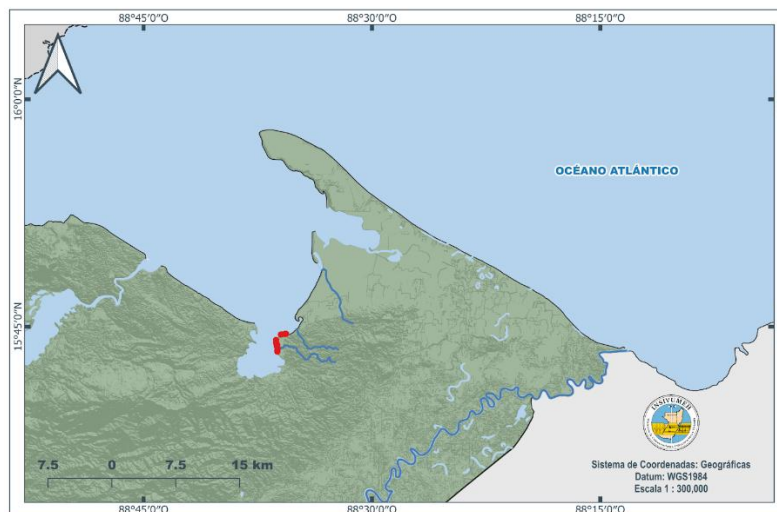


Figura 16.12. Mapa región cercana a la Bahía de Amatique.

El efecto gravitacional de la Luna es uno de los principales factores que afectan la dinámica de las mareas y, en consecuencia, pueden llegar a influir en el comportamiento del oleaje (Pugh, 2004). Durante las fases de la Luna llena y Luna nueva, la alineación de la Tierra, la Luna y el Sol genera un incremento en la fuerza gravitacional sobre los océanos, dando lugar a mareas que se caracterizan por presentar variaciones más pronunciadas en el nivel del mar, con pleamares más altas y bajamares más bajas que las mareas normales (National Ocean Service NOAA, s.f.; Pugh, 2004). Durante la luna llena del 14 de noviembre, se registró una altura del nivel del mar de 0.712 metros.

Los registros de la estación mareográfica de INSIVUMEH en Puerto Barrios reflejaron un aumento progresivo en el nivel del mar en los días previos y posteriores, alcanzando valores máximos de 0.71 m el 14 de noviembre, 0.73 m el 15 de noviembre y 0.78 m el 16 de noviembre (Figura 16.13). Cabe resaltar que los efectos de la luna llena del 14 de noviembre sobre la marea, se ven retrasados debido al efecto conocido como “Edad de la desigualdad de la fase” o “Desigualdad de fase”, el cual es el intervalo de tiempo entre la luna llena o nueva y el efecto máximo de estas fases sobre la amplitud de la marea (Servicio de Hidrografía Naval República de Argentina, sf; Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 2002). Este valor de la edad generalmente puede ser de uno a dos días (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 1992). Estudios previos han demostrado que los efectos de las mareas pueden aumentar si coinciden con otros factores como vientos fuertes, baja presión atmosférica o tormentas (Pugh, 2004).

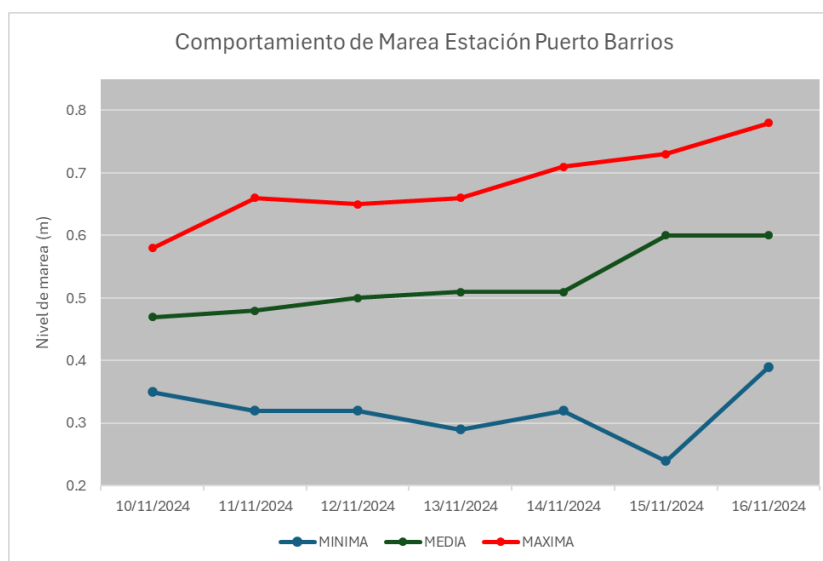


Figura 16.13. Comportamiento de la marea según registros de Estación mareográfica de INSIVUMEH.

Una de las interacciones más predominantes entre el océano y la atmósfera, es la influencia de los vientos en la circulación de las capas superficiales del agua (Zardi, 2024). El impacto del viento en el nivel del mar también está relacionado con el efecto de apilamiento del agua en la costa, este es el fenómeno donde los vientos persistentes en una dirección particular pueden generar acumulación de agua en ciertas áreas, elevando temporalmente el nivel del mar (Pugh, 2004; Gill, 1982). Además, las altas velocidades del viento aumentan la intensidad del oleaje al proporcionar mayor energía cinética a las olas, haciendo que su efecto alcance las zonas costeras y contribuyendo a posibles inundaciones o inclusive a la erosión costera (Pugh, 2004). En este caso, los pronósticos marcaban vientos intensos, provenientes del noreste, de hasta 39.48 km/h en la zona de Quetzalito para el 15 de noviembre. El 16 de noviembre, cambió de dirección al sureste, con velocidades máximas de 34.55 km/h, respectivamente (Cuadro 16.12).

Cuadro 16.12. Pronóstico de velocidad del viento para los sitios de monitoreo

Fecha	Bahía de Amatique (km/h)	Punta de Manabique (km/h)	El Quetzalito (km/h)
15/11/2024	21.100	34.350	39.480
16/11/2024	21.510	33.980	34.550
17/11/2024	27.650	43.170	46.520

Dentro de los efectos del cambio climático, el incremento en la frecuencia de tormentas tropicales, el aumento del nivel del mar e intensidad de lluvias concurren, aumentando la ocurrencia de eventos de inundaciones compuestas en áreas costeras (Sampurno et al., 2021). Durante el paso de la tormenta Sara por el Caribe guatemalteco en los días mencionados, presentó una velocidad de 7 Km/h a (Boletín meteorológico especial #87-2024, INSIVUMEH, 2024). A su vez, para esta región, se registró un aumento y desbordamiento del nivel de los ríos cercanos a la zona afectada, como lo fue el caso del río Escondido, río Cahabón (Izabal y Alta Verapaz) y Motagua (Zacapa) (Boletín meteorológico especial #87-2024, INSIVUMEH, 2024). Estas tormentas de movimiento lento, presentan una mayor influencia en la disminución de la temperatura superficial del mar, incrementa el tiempo de exposición a vientos, precipitación e inundaciones en las costas (Mei, Pasquero & Primeau, 2012).

Cabe destacar la existencia de un fenómeno denominado “marejada ciclónica”, en el cual se eleva el nivel del mar debido a la combinación de fuertes vientos y la presión atmosférica reducida (Stewart, 2024). La altura de la marea depende de varias características de la línea costera, así como de la plataforma continental, y características geográficas locales como barreras naturales (NOAA, s.f). Usualmente, la marejada puede ser más alta en plataformas continentales anchas y suavemente inclinadas, como es el caso del caribe guatemalteco (National hurricane center, s.f.). Estos datos y el conocimiento de los procesos climáticos en el océano, sugieren que la combinación de diversos factores océano-atmosféricos como el efecto de la Luna llena y las condiciones meteorológicas predominantes en la zona, pudieron contribuir significativamente al incremento del nivel del mar observado en la región.

17. Acidez del Océano (pH)

17.1. Aspectos generales

El océano absorbe aproximadamente un 30% del dióxido de carbono -CO₂ – de la atmósfera (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020), resultando en un cambio en el equilibrio del sistema de carbonato marino, modificando la composición química del océano y reduciendo así el pH del nivel del agua (Rérolle, et al. 2012). La escala de pH indica la concentración de los iones de hidrógeno presentes en el medio acuático. Estos descensos en los niveles de pH son conocidos como acidificación de los océanos, con implicaciones significativas en la biodiversidad marina, funcionamiento de los ecosistemas y la capacidad del océano para absorber futuras emisiones atmosféricas de CO₂ (Rérolle, et al. 2012).

17.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de concentración de acidez del océano (pH) del Mar para los 11 puntos de interés, obtenidos de la base de datos diaria del Servicio Marino Copernicus los cuales dependen fundamentalmente de la disponibilidad en tiempo casi real de datos satelitales e *in situ* de alta calidad con muestreo espacial y temporal suficientemente denso. En las siguientes tablas se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 17.1. Acidez del Océano (pH) para Ocos según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

MES	Acidez (pH)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.03	1	8.04	9
Febrero	8.03	8.00	23	8.05	12
Marzo	8.02	8.00	29	8.04	7
Abril	7.99	7.97	24	8.00	1
Mayo	7.98	7.97	15	7.98	1
Junio	8.00	7.98	1	8.03	21
Julio	8.04	8.02	3	8.05	15
Agosto	8.05	8.03	27	8.06	4
Septiembre	8.04	8.03	13	8.05	8
Octubre	8.04	8.02	16	8.05	2
Noviembre	8.06	8.04	1	8.07	22
Diciembre	8.05	8.04	17	8.06	1

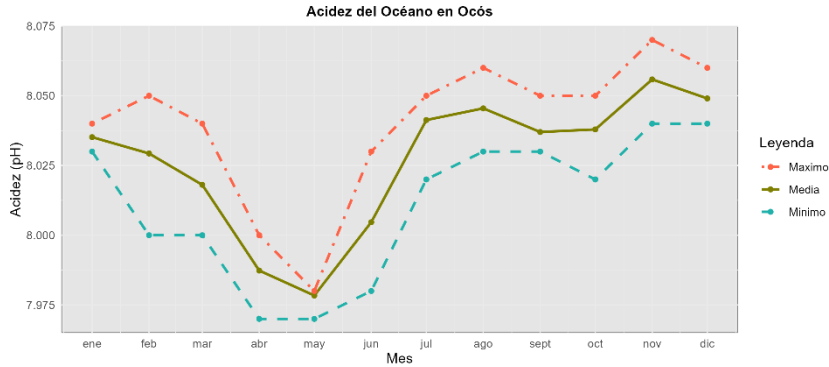


Figura 17.1: Tendencia de la Acidez del océano en Ocos, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.2. Acidez del Océano (pH) para Champerico según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

MES	Acidez (pH)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.04	1	8.05	20
Febrero	8.04	8.02	22	8.05	13
Marzo	8.03	8.01	21	8.04	9
Abril	7.99	7.97	30	8.02	1
Mayo	7.98	7.97	1	7.98	7
Junio	8.00	7.98	1	8.03	21
Julio	8.03	8.01	3	8.05	25
Agosto	8.05	8.04	31	8.06	10
Septiembre	8.04	8.04	1	8.06	24
Octubre	8.04	8.02	18	8.06	3
Noviembre	8.05	8.04	1	8.06	19
Diciembre	8.05	8.04	19	8.06	1

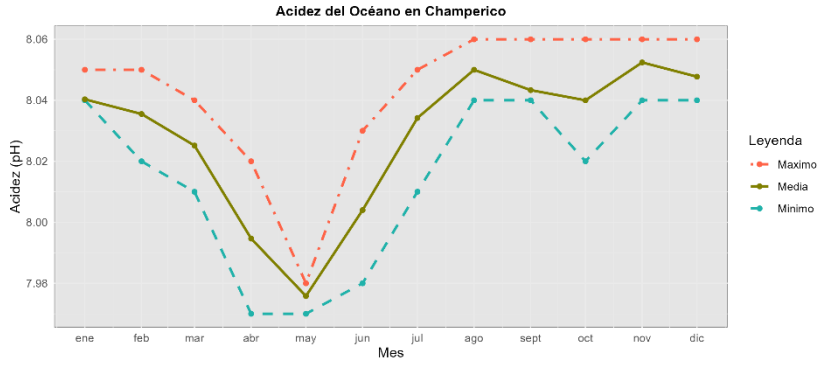


Figura 17.2: Tendencia de la Acidez del océano en Champerico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.3. Acidez del Océano (pH) para Tahuexco según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.03	19	8.04	1
Febrero	8.03	8.00	23	8.04	6
Marzo	8.02	8.01	21	8.03	1
Abril	7.99	7.97	23	8.01	1
Mayo	7.97	7.97	1	7.97	1
Junio	8.00	7.97	1	8.03	20
Julio	8.05	8.02	1	8.06	10
Agosto	8.05	8.04	22	8.05	1
Septiembre	8.04	8.04	1	8.06	24
Octubre	8.04	8.02	16	8.05	2
Noviembre	8.05	8.04	1	8.06	3
Diciembre	8.05	8.04	12	8.05	1

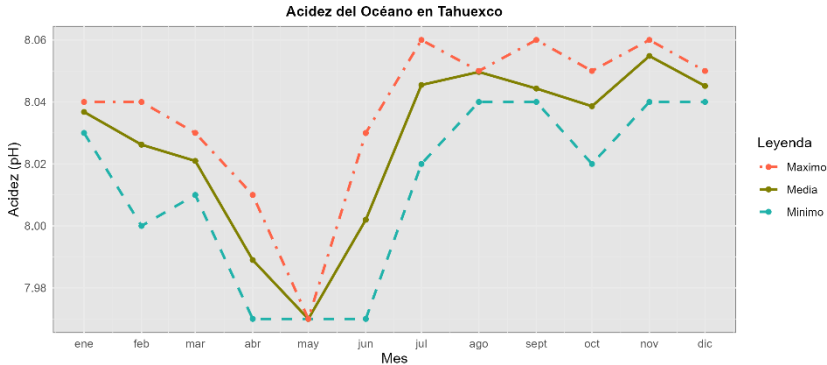


Figura 17.3: Tendencia de la Acidez del océano en Tahuexco, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.4. Acidez del Océano (pH) para Tecojate según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.03	8.02	30	8.04	1
Febrero	8.01	7.99	21	8.03	5
Marzo	8.02	8.01	1	8.02	5
Abril	7.99	7.97	23	8.02	3
Mayo	7.97	7.97	2	7.98	1
Junio	8.01	7.97	1	8.03	21
Julio	8.06	8.03	1	8.08	10
Agosto	8.05	8.05	1	8.06	4
Septiembre	8.05	8.04	11	8.06	23
Octubre	8.05	8.03	16	8.06	3
Noviembre	8.06	8.04	13	8.08	3
Diciembre	8.05	8.04	15	8.06	1

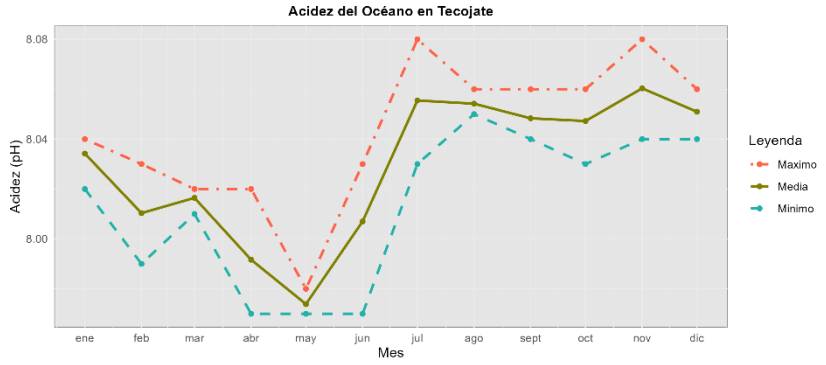


Figura 17.4: Tendencia de la Acidez del océano en Tecojate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.5. Acidez del Océano (pH) para Sipacate según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.03	8.03	1	8.04	7
Febrero	8.02	8.00	24	8.03	1
Marzo	8.01	8.00	30	8.02	1
Abril	7.99	7.97	24	8.01	4
Mayo	7.97	7.97	1	7.98	5
Junio	8.01	7.97	1	8.03	30
Julio	8.06	8.03	1	8.08	9
Agosto	8.05	8.04	30	8.06	5
Septiembre	8.05	8.03	4	8.06	23
Octubre	8.05	8.03	1	8.08	4
Noviembre	8.06	8.04	13	8.07	2
Diciembre	8.05	8.04	21	8.06	3

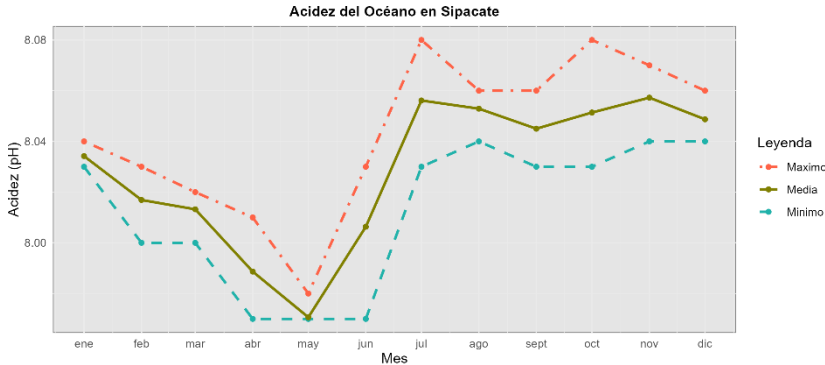


Figura 17.5: Tendencia de la Acidez del océano en Sipacate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.6. Acidez del Océano (pH) para Puerto San José según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.04	1	8.04	1
Febrero	8.04	8.02	12	8.05	23
Marzo	8.02	8.00	31	8.04	1
Abril	7.99	7.98	23	8.02	4
Mayo	7.98	7.97	15	7.98	1
Junio	8.02	7.98	1	8.04	30
Julio	8.06	8.04	1	8.08	7
Agosto	8.06	8.05	21	8.06	1
Septiembre	8.05	8.02	3	8.06	18
Octubre	8.06	8.04	17	8.07	3
Noviembre	8.06	8.05	17	8.08	7
Diciembre	8.06	8.04	31	8.07	1

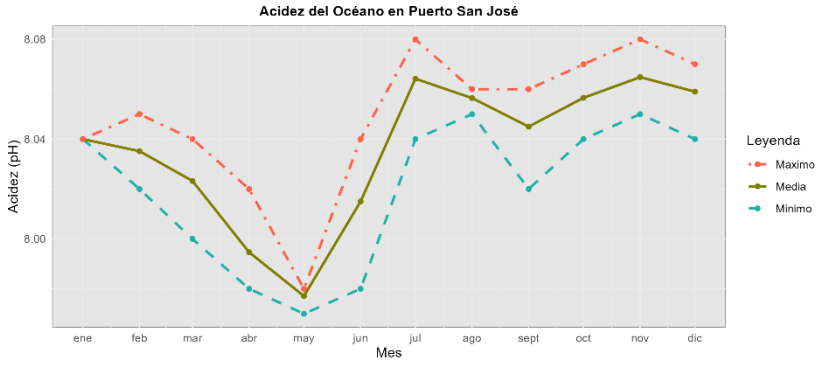


Figura 17.6: Tendencia de la Acidez del océano en Puerto San José, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.7. Acidez del Océano (pH) para Monterrico según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

MES	Acidez (pH)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.03	17	8.05	2
Febrero	8.04	8.02	15	8.05	23
Marzo	8.03	8.01	30	8.04	1
Abril	8.00	7.98	25	8.03	5
Mayo	7.98	7.97	15	7.98	1
Junio	8.01	7.99	1	8.04	30
Julio	8.07	8.04	1	8.08	6
Agosto	8.06	8.05	18	8.06	1
Septiembre	8.05	8.03	3	8.06	15
Octubre	8.06	8.05	1	8.07	3
Noviembre	8.07	8.07	1	8.08	7
Diciembre	8.06	8.03	31	8.08	2

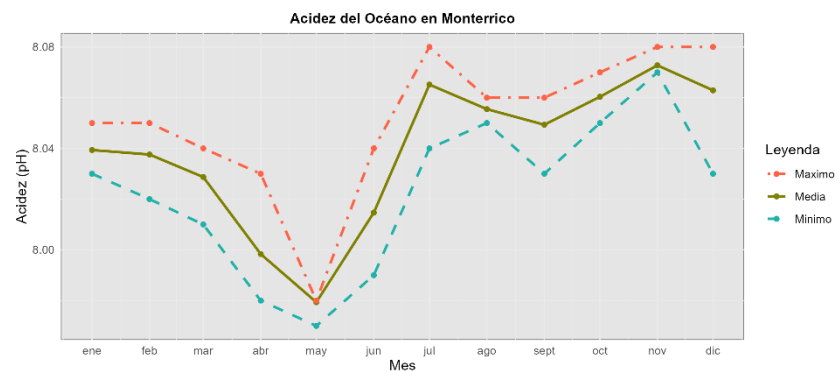


Figura 17.7: Tendencia de la Acidez del océano en Monterrico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.8. Acidez del Océano (pH) para Las Lisas según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 13.79 N. **Longitud:** -90.27 E.

MES	Acidez (pH)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.04	8.03	19	8.04	1
Febrero	8.04	8.02	12	8.05	26
Marzo	8.02	8.00	21	8.03	1
Abril	8.00	7.98	27	8.01	1
Mayo	7.99	7.98	7	8.00	24
Junio	8.02	8.00	14	8.04	29
Julio	8.07	8.05	1	8.08	3
Agosto	8.05	8.03	28	8.06	1
Septiembre	8.04	8.02	2	8.06	15
Octubre	8.06	8.04	16	8.07	1
Noviembre	8.06	8.04	9	8.09	25
Diciembre	8.05	8.00	30	8.07	1

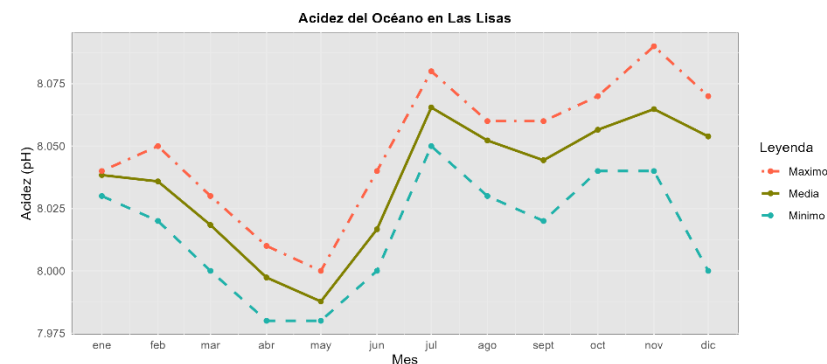


Figura 17.8: Tendencia de la Acidez del océano en Las Lisas, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

Cuadro 17.9. Acidez del Océano (pH) para Bahía de Amatique según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.07	8.05	26	8.09	1
Febrero	8.07	8.06	5	8.07	1
Marzo	8.03	8.02	23	8.06	1
Abril	8.03	8.02	3	8.03	1
Mayo	8.01	8.00	14	8.02	1
Junio	8.00	8.00	1	8.01	17
Julio	8.02	8.01	1	8.02	4
Agosto	8.02	8.01	16	8.03	1
Septiembre	8.01	8.00	20	8.02	1
Octubre	8.03	8.01	1	8.07	29
Noviembre	8.06	8.06	9	8.08	5
Diciembre	8.08	8.06	1	8.10	25

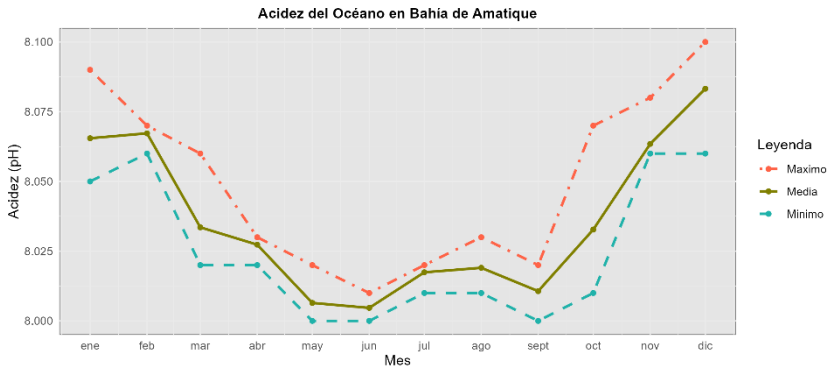


Figura 17.9: Tendencia de la Acidez del océano en Bahía de Amatique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (pH)

Cuadro 17.10. Acidez del Océano (pH) para Punta de Manabique según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

Acidez (pH)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.06	8.05	20	8.07	1
Febrero	8.06	8.06	1	8.06	1
Marzo	8.04	8.02	28	8.06	1
Abril	8.03	8.03	1	8.04	17
Mayo	8.01	8.00	26	8.03	1
Junio	8.01	8.01	1	8.01	1
Julio	8.02	8.01	1	8.02	3
Agosto	8.02	8.01	16	8.02	1
Septiembre	8.01	8.00	20	8.02	1
Octubre	8.04	8.02	1	8.06	26
Noviembre	8.06	8.05	8	8.07	6
Diciembre	8.08	8.06	1	8.09	19

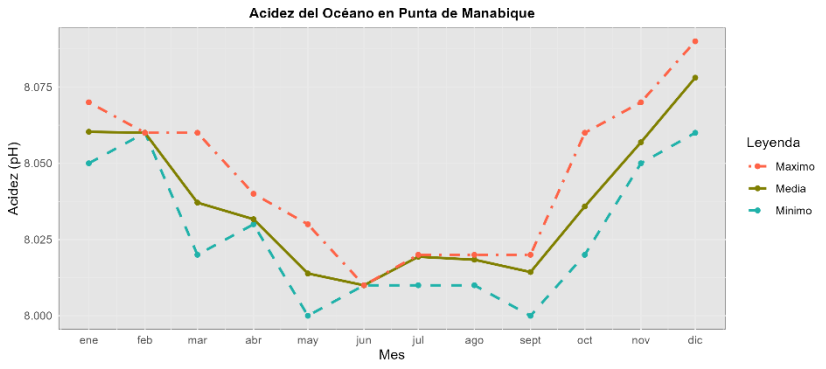


Figura 17.10: Tendencia de la Acidez del océano en Punta de Manabique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (pH)

Cuadro 17.11. Acidez del Océano (pH) para El Quetzalito según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

MES	Acidez (pH)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	8.06	8.05	19	8.07	1
Febrero	8.06	8.06	1	8.06	1
Marzo	8.04	8.03	19	8.06	1
Abril	8.03	8.03	1	8.04	17
Mayo	8.02	8.00	27	8.03	1
Junio	8.01	8.00	6	8.01	1
Julio	8.02	8.01	1	8.02	13
Agosto	8.02	8.02	1	8.02	1
Septiembre	8.01	8.01	2	8.02	1
Octubre	8.03	8.01	1	8.06	29
Noviembre	8.06	8.05	9	8.07	5
Diciembre	8.07	8.06	1	8.08	14

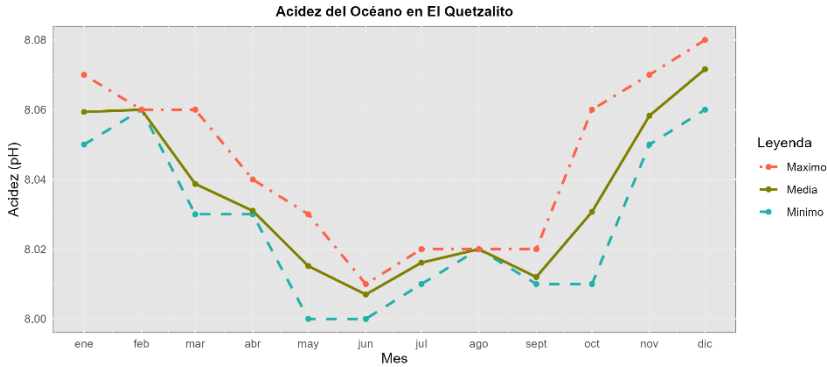


Figura 17.11: Tendencia de la Acidez del océano en El Quetzalito, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (pH)

18. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L)

18.1. Aspectos generales

La medición de oxígeno disuelto indica la cantidad de oxígeno disponible para los organismos acuáticos, siendo una medida directa de la calidad del agua (U.S. Geological Survey, 2018). Niveles bajos de oxígeno (hipoxia) o casi nulos (anoxia) pueden ocurrir cuando excesos de materia orgánica, como sucede en presencia de florecimientos algales, son descompuestos por microorganismos (U.S. Environmental Protection Agency, 2024).

18.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de concentración de oxígeno disuelto (mg/L) del Mar para los 11 puntos de interés, obtenidos de la base de datos diaria del Servicio Marino Copernicus los cuales dependen fundamentalmente de la disponibilidad en tiempo casi real de datos satelitales e *in situ* de alta calidad con muestreo espacial y temporal suficientemente denso. En las siguientes tablas se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 18.1. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Ocos según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

Oxigeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.55	3.50	1	3.62	22
Febrero	3.54	3.49	4	3.59	18
Marzo	3.52	3.46	18	3.63	2
Abril	3.44	3.39	22	3.49	14
Mayo	3.35	3.30	18	3.40	3
Junio	3.30	3.24	11	3.40	30
Julio	3.53	3.41	1	3.60	19
Agosto	3.41	3.30	29	3.53	1
Septiembre	3.31	3.25	21	3.36	29
Octubre	3.40	3.28	3	3.62	27
Noviembre	3.57	3.51	19	3.70	12
Diciembre	3.62	3.53	31	3.69	5

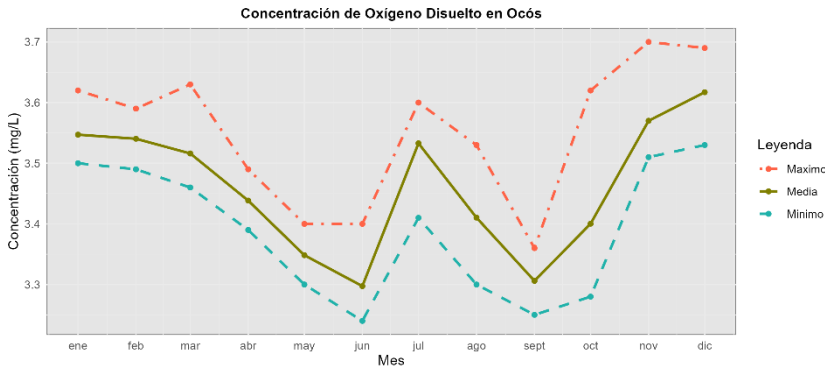


Figura 18.1: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Ocos, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (mg/L)

Cuadro 18.2. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Champerico según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

Oxigeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.57	3.53	10	3.60	22
Febrero	3.61	3.55	4	3.69	28
Marzo	3.58	3.52	31	3.67	1
Abril	3.50	3.45	24	3.55	14
Mayo	3.42	3.37	31	3.48	14
Junio	3.34	3.26	20	3.41	29
Julio	3.58	3.43	1	3.66	22
Agosto	3.48	3.39	27	3.60	1
Septiembre	3.36	3.29	21	3.44	29
Octubre	3.44	3.29	3	3.63	26
Noviembre	3.61	3.54	21	3.73	28
Diciembre	3.67	3.57	31	3.75	6

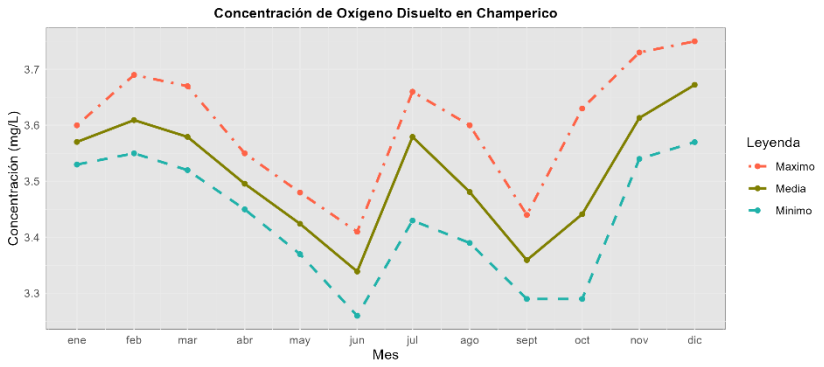


Figura 18.2: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Champerico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (mg/L)

Cuadro 18.3. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Tahuexco según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

Oxigeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.54	3.50	12	3.60	31
Febrero	3.57	3.50	5	3.64	28
Marzo	3.55	3.50	16	3.64	2
Abril	3.47	3.40	19	3.57	1
Mayo	3.39	3.34	28	3.45	12
Junio	3.34	3.28	10	3.41	28
Julio	3.59	3.43	1	3.66	18
Agosto	3.46	3.39	30	3.58	1
Septiembre	3.37	3.31	10	3.47	19
Octubre	3.50	3.31	3	3.72	26
Noviembre	3.71	3.63	2	3.88	12
Diciembre	3.65	3.57	29	3.73	2

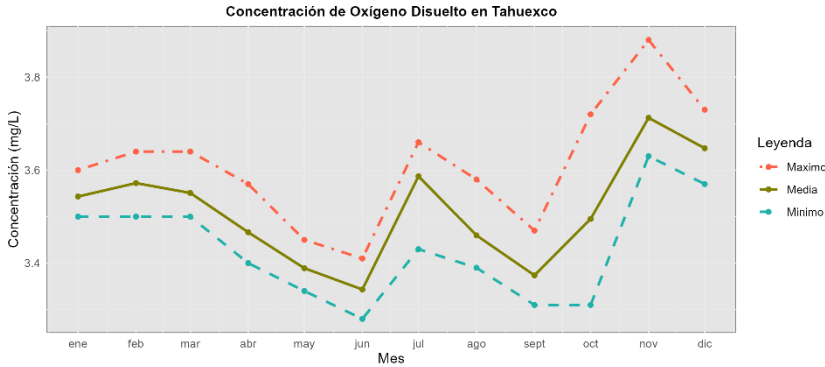


Figura 18.3: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Tahuexco, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.4. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Tecojate según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

Oxigeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.53	3.50	12	3.57	21
Febrero	3.49	3.40	24	3.57	13
Marzo	3.50	3.46	18	3.53	1
Abril	3.41	3.32	21	3.51	1
Mayo	3.35	3.31	28	3.39	5
Junio	3.36	3.30	9	3.46	14
Julio	3.56	3.43	1	3.66	8
Agosto	3.45	3.39	31	3.55	1
Septiembre	3.44	3.37	7	3.55	19
Octubre	3.58	3.35	3	3.72	9
Noviembre	3.71	3.60	19	3.89	11
Diciembre	3.61	3.54	27	3.72	4

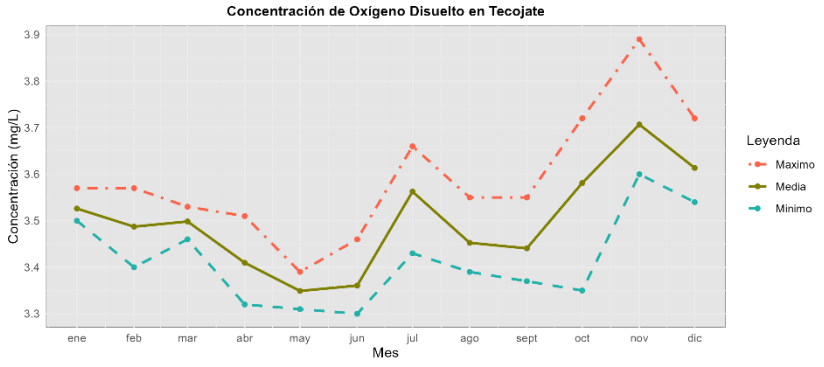


Figura 18.4: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Tecojate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.5. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Sipacate según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

MES	MEDIA	Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.53	3.49	17	3.57	2
Febrero	3.54	3.45	7	3.62	15
Marzo	3.53	3.45	28	3.61	1
Abril	3.42	3.35	19	3.53	2
Mayo	3.36	3.33	22	3.41	8
Junio	3.39	3.32	19	3.48	14
Julio	3.59	3.43	1	3.68	7
Agosto	3.51	3.43	22	3.57	1
Septiembre	3.49	3.41	30	3.59	18
Octubre	3.74	3.41	1	3.96	7
Noviembre	3.76	3.66	24	3.92	10
Diciembre	3.65	3.56	26	3.86	4

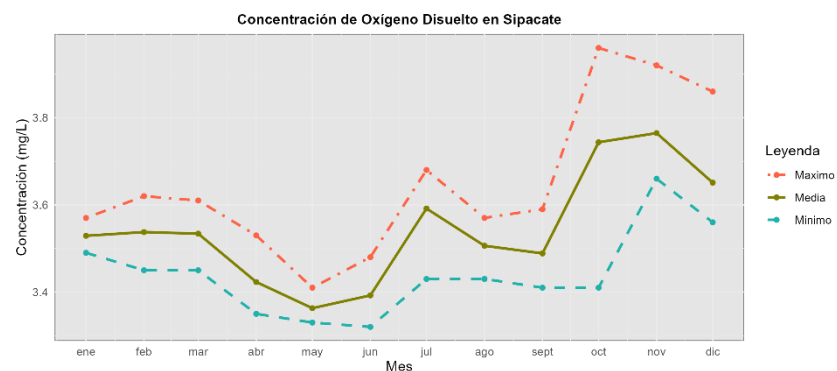


Figura 18.5: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Sipacate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (mg/L)

Cuadro 18.6. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Puerto San José según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

MES	MEDIA	Oxígeno Disuelto (mg/L)			
		MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.52	3.49	19	3.55	1
Febrero	3.57	3.48	4	3.67	28
Marzo	3.59	3.46	30	3.68	1
Abril	3.41	3.34	20	3.53	5
Mayo	3.36	3.34	29	3.39	5
Junio	3.42	3.30	22	3.54	14
Julio	3.61	3.41	1	3.74	6
Agosto	3.49	3.38	19	3.57	1
Septiembre	3.55	3.41	29	3.64	16
Octubre	3.70	3.62	20	3.79	8
Noviembre	3.84	3.71	1	3.97	11
Diciembre	3.71	3.60	26	3.93	2

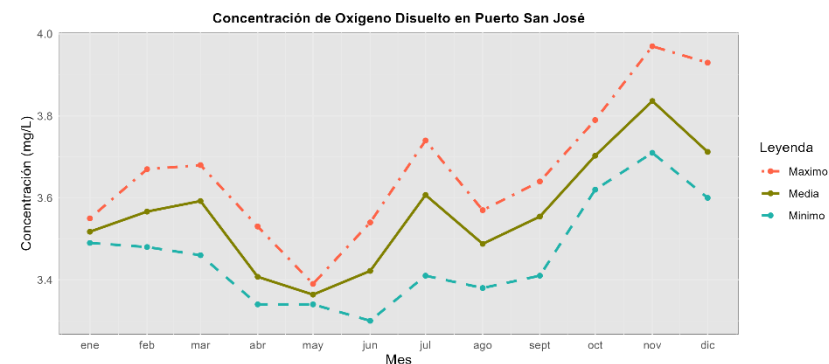


Figura 18.6: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Puerto San José, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades (mg/L)

Cuadro 18.7. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Monterrico según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

MES	Oxigeno Disuelto (mg/L)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.53	3.49	22	3.58	1
Febrero	3.58	3.49	5	3.71	29
Marzo	3.65	3.59	26	3.72	1
Abril	3.47	3.37	21	3.64	7
Mayo	3.40	3.37	20	3.43	8
Junio	3.45	3.32	22	3.56	13
Julio	3.66	3.44	1	3.83	7
Agosto	3.52	3.45	17	3.58	5
Septiembre	3.62	3.50	28	3.73	14
Octubre	3.80	3.69	12	4.00	8
Noviembre	3.98	3.81	1	4.11	12
Diciembre	3.78	3.67	26	3.94	1

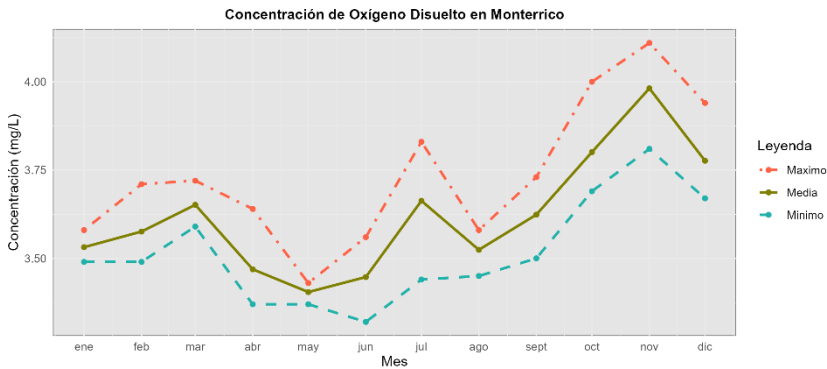


Figura 18.7: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Monterrico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.8. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Las Lisas según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.79 N. **Longitud:** --90.27 E.

MES	Oxigeno Disuelto (mg/L)				
	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.49	3.47	5	3.53	30
Febrero	3.55	3.46	6	3.62	17
Marzo	3.52	3.42	23	3.63	2
Abril	3.39	3.32	23	3.47	5
Mayo	3.39	3.31	20	3.52	31
Junio	3.43	3.31	18	3.54	10
Julio	3.66	3.55	1	3.77	3
Agosto	3.51	3.44	14	3.57	23
Septiembre	3.58	3.47	24	3.70	13
Octubre	3.66	3.52	12	3.85	1
Noviembre	3.80	3.67	6	3.94	18
Diciembre	3.54	3.48	11	3.67	1

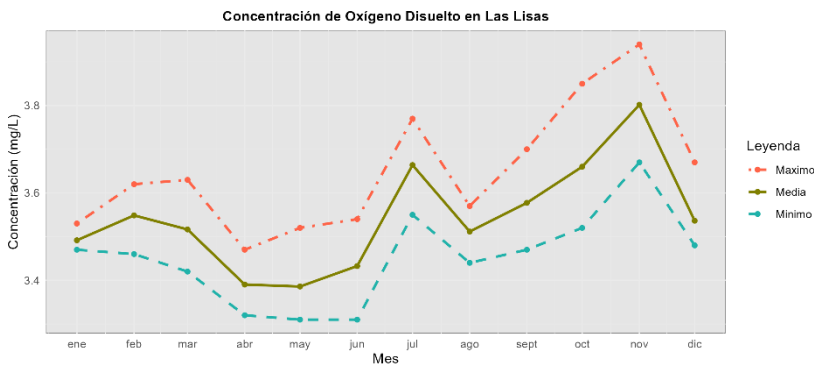


Figura 18.8: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Las Lisas, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.9. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Bahía de Amatique según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

Oxígeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.29	3.25	30	3.31	6
Febrero	3.28	3.26	1	3.29	10
Marzo	3.21	3.15	29	3.28	1
Abril	3.15	3.14	8	3.15	1
Mayo	3.09	3.04	30	3.14	1
Junio	3.04	3.02	17	3.05	5
Julio	3.05	3.03	2	3.07	26
Agosto	3.07	3.05	25	3.09	8
Septiembre	3.05	3.03	9	3.07	3
Octubre	3.08	3.05	1	3.11	23
Noviembre	3.15	3.08	1	3.22	28
Diciembre	3.25	3.19	4	3.30	30

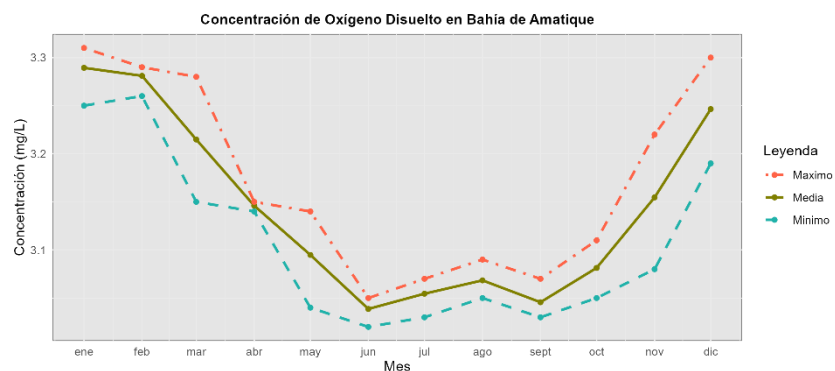


Figura 18.9: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Bahía de Amatique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.10. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para Punta de Manabique según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

Oxígeno Disuelto (mg/L)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.27	3.25	25	3.28	5
Febrero	3.27	3.25	1	3.27	7
Marzo	3.21	3.16	29	3.26	1
Abril	3.16	3.15	12	3.17	1
Mayo	3.11	3.07	29	3.16	1
Junio	3.07	3.06	2	3.08	17
Julio	3.09	3.08	1	3.11	19
Agosto	3.09	3.08	22	3.11	5
Septiembre	3.06	3.03	24	3.08	1
Octubre	3.10	3.04	2	3.13	23
Noviembre	3.18	3.13	1	3.22	28
Diciembre	3.27	3.22	1	3.30	28

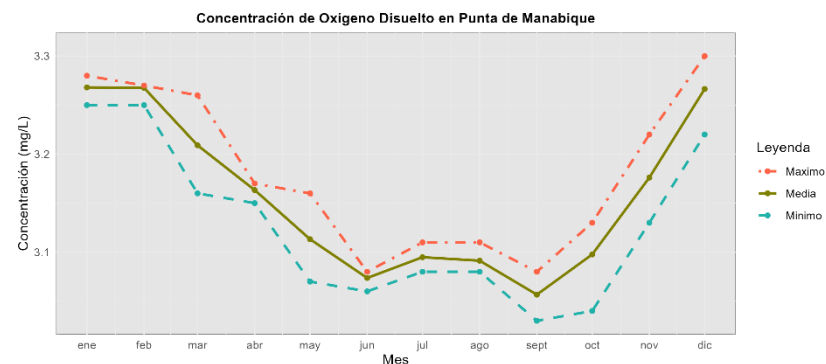


Figura 18.10: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en Punta de Manabique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

Cuadro 18.11. Concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L) para El Quetzalito según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

MES	Oxígeno Disuelto (mg/L)				
	MEDIA	MINIMO	DÍA MINIMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	3.27	3.26	1	3.28	6
Febrero	3.27	3.26	1	3.28	6
Marzo	3.22	3.17	29	3.27	1
Abril	3.17	3.17	8	3.18	1
Mayo	3.13	3.09	31	3.17	1
Junio	3.09	3.09	1	3.10	18
Julio	3.10	3.09	1	3.11	7
Agosto	3.10	3.09	21	3.11	3
Septiembre	3.08	3.06	20	3.09	1
Octubre	3.11	3.07	2	3.13	23
Noviembre	3.17	3.11	6	3.21	23
Diciembre	3.25	3.21	1	3.30	29

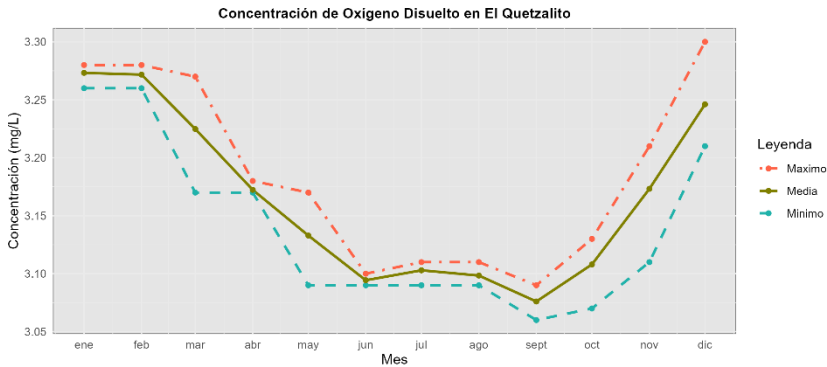


Figura 18.11: Tendencia de la Concentración de Oxígeno disuelto del Mar en El Quetzalito, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus.
Unidades (mg/L)

19. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

19.1. Aspectos generales

Este producto mide la producción primaria neta de biomasa en los océanos, expresada en términos de carbono por unidad de volumen de agua de mar (generalmente en $\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) (Copernicus, 2024). La producción primaria neta (NPP) representa la cantidad de carbono fijado por los organismos fotosintéticos (principalmente fitoplancton) menos la respiración autotrófica, es decir, la energía que estos organismos consumen para mantenerse vivos (Universidad de Granada, s.f.).

La NPP es un indicador fundamental para comprender el ciclo del carbono en los océanos, ya que el fitoplancton es responsable de aproximadamente el 50% de la producción primaria global (Field et al., 1998). Este proceso no solo sostiene las redes tróficas marinas, sino que también desempeña un papel crucial en la regulación del clima, ya que el carbono fijado por el fitoplancton puede ser transportado a las profundidades del océano a través de la "bomba biológica", contribuyendo así a la secuestración de carbono a largo plazo (Falkowski et al., 1998).

19.2. Registros

A continuación, se muestran los datos estadísticos de los registros de Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) del Mar para los 11 puntos de interés, obtenidos de la base de datos diaria del Servicio Marino Copernicus los cuales dependen fundamentalmente de la disponibilidad en tiempo casi real de datos satelitales e *in situ* de alta calidad con muestreo espacial y temporal suficientemente denso. En las siguientes tablas se muestran las medias mensuales (MEDIA), el valor mínimo por mes (MÍNIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÍNIMO) y el valor máximo por mes (MÁXIMO), junto al día en que ocurrió (DÍA MÁXIMO).

Cuadro 19.1. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Ocos según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.50 N. **Longitud:** -92.20 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	58.32	38.93	30	99.59	4
Febrero	59.81	33.46	15	99.80	25
Marzo	35.75	24.95	16	71.08	1
Abril	35.45	21.34	30	55.88	4
Mayo	15.66	11.81	29	21.24	12
Junio	23.31	10.00	12	57.86	30
Julio	50.57	23.62	31	71.53	10
Agosto	14.60	9.47	28	22.22	1
Septiembre	11.23	7.57	25	16.66	29
Octubre	23.76	14.13	1	29.03	27
Noviembre	21.96	17.39	16	30.97	26
Diciembre	27.53	19.70	28	41.29	19

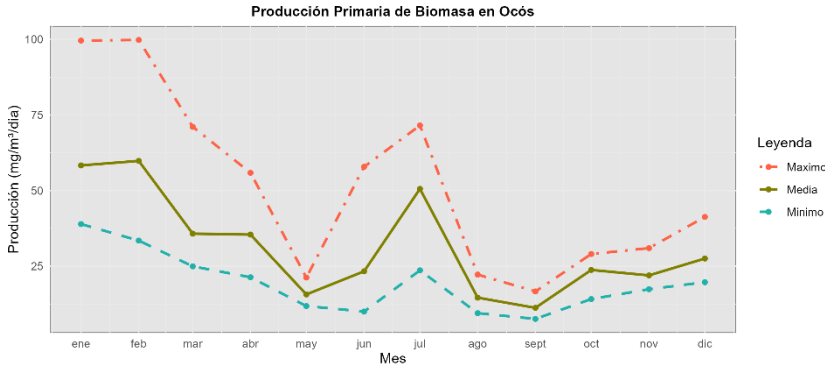


Figura 19.1: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Ocos, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.2. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Champerico según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 14.26 N. **Longitud:** -91.89 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	37.36	27.17	12	53.56	4
Febrero	53.56	30.53	15	82.56	27
Marzo	41.39	28.33	17	62.81	27
Abril	42.56	22.99	24	65.56	4
Mayo	21.47	14.72	28	29.80	12
Junio	27.43	13.49	11	57.42	30
Julio	54.94	31.14	28	71.33	10
Agosto	17.50	11.17	30	29.14	1
Septiembre	13.07	8.56	24	29.39	29
Octubre	23.71	19.55	3	28.52	26
Noviembre	22.37	15.76	17	29.84	26
Diciembre	26.13	17.85	31	33.87	5

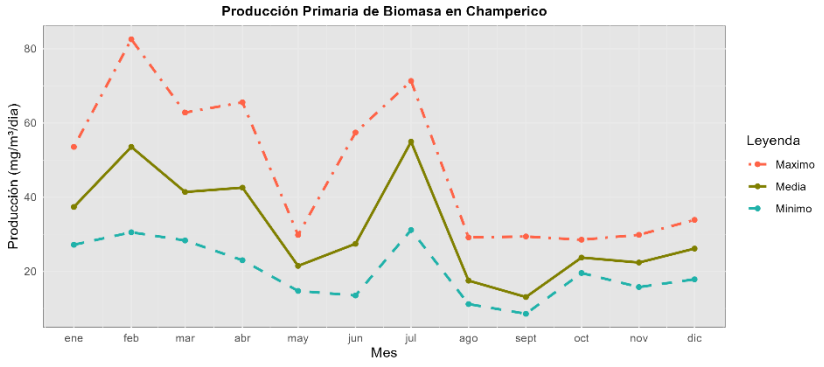


Figura 19.2: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Champerico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.3. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Tahuexco según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 14.07 N. **Longitud:** -91.65 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	38.18	22.99	14	67.30	31
Febrero	70.22	39.26	16	96.45	5
Marzo	46.63	30.72	14	76.83	1
Abril	39.37	20.14	24	62.21	5
Mayo	20.16	13.63	28	33.69	12
Junio	33.85	13.16	10	65.86	19
Julio	53.21	29.17	27	83.40	9
Agosto	19.00	8.34	30	28.59	5
Septiembre	15.89	9.99	8	33.17	29
Octubre	31.26	18.89	4	56.98	22
Noviembre	41.10	23.61	5	78.79	19
Diciembre	35.65	22.86	31	53.22	6

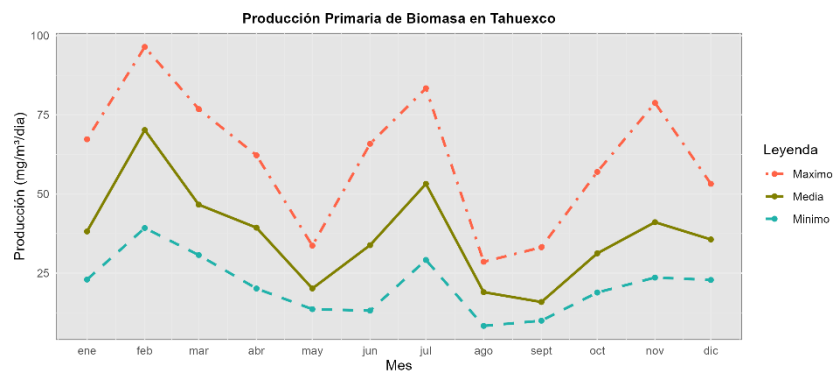


Figura 19.3: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Tahuexco, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.4. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Tecojate según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 13.97 N. **Longitud:** -91.36 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	42.65	23.47	16	69.00	28
Febrero	67.95	44.69	2	84.61	21
Marzo	52.12	39.90	14	71.12	1
Abril	36.24	16.63	25	70.71	9
Mayo	18.60	13.29	22	27.10	6
Junio	40.90	16.90	1	69.29	20
Julio	51.51	25.33	22	88.92	7
Agosto	32.19	13.54	23	55.72	5
Septiembre	36.88	20.00	1	55.49	10
Octubre	55.63	36.38	1	71.92	15
Noviembre	71.81	42.55	4	130.23	19
Diciembre	44.17	27.27	28	59.74	1

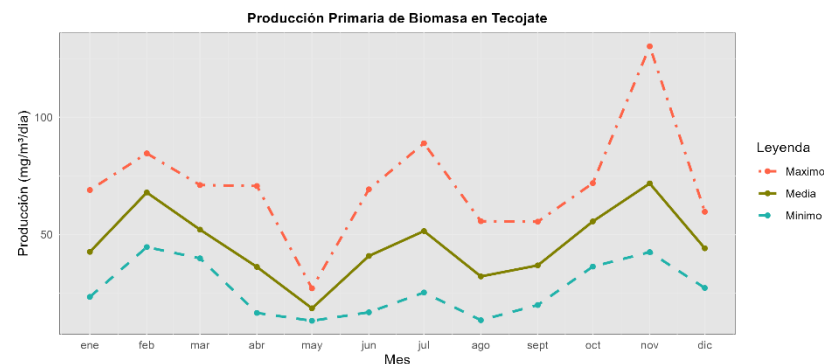


Figura 19.4: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Tecojate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.5. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Sipacate según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.92 N. **Longitud:** -91.15 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	36.40	26.31	17	58.96	31
Febrero	81.53	53.77	10	107.22	24
Marzo	63.39	47.96	18	89.34	5
Abril	39.59	20.12	26	73.87	7
Mayo	21.57	16.22	17	32.10	5
Junio	47.59	23.74	1	72.06	19
Julio	50.90	22.23	22	98.92	6
Agosto	41.69	16.41	23	70.60	4
Septiembre	45.56	26.24	23	81.90	26
Octubre	79.73	46.59	20	191.69	3
Noviembre	85.02	47.55	3	143.57	19
Diciembre	49.57	31.20	27	76.57	3

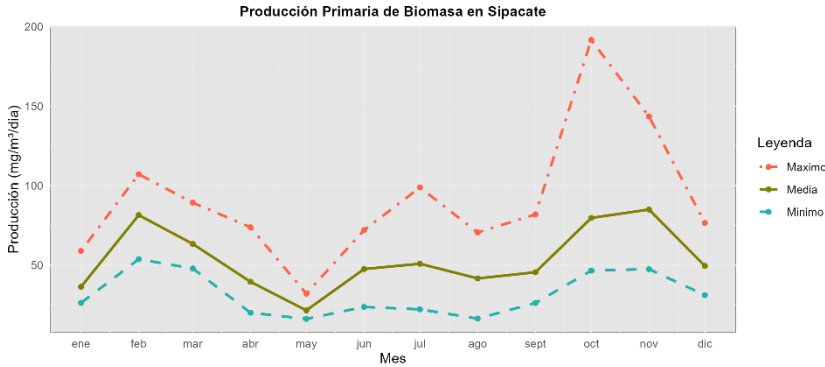


Figura 19.5: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Sipacate, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.6. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Puerto San José según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.90 N. **Longitud:** -90.80 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	32.36	27.39	19	40.05	1
Febrero	68.62	35.85	1	106.80	27
Marzo	64.35	50.68	16	93.66	27
Abril	41.78	24.82	29	81.73	5
Mayo	24.35	17.14	17	31.56	5
Junio	56.95	42.79	17	69.67	26
Julio	51.63	27.56	19	115.18	3
Agosto	42.35	20.24	19	71.74	31
Septiembre	69.90	40.34	19	142.66	30
Octubre	85.89	61.64	29	157.31	1
Noviembre	103.72	69.75	3	153.21	19
Diciembre	55.29	35.98	26	85.24	31

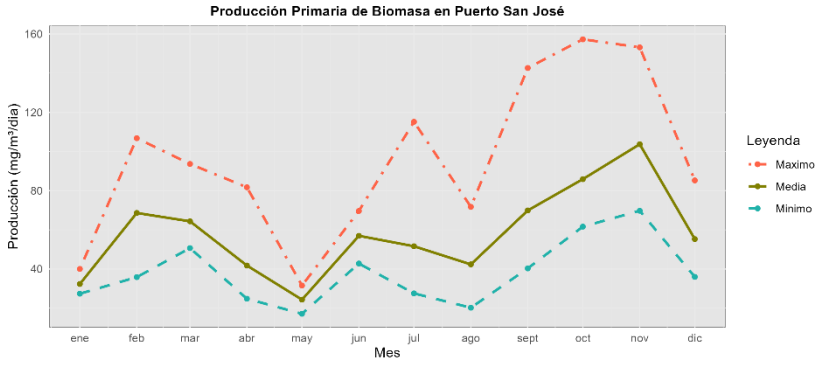


Figura 19.6: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Puerto San José, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.7. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Monterrico según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.88 N. **Longitud:** -90.50 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	39.81	33.62	21	54.31	1
Febrero	74.94	46.00	3	114.40	12
Marzo	78.45	61.68	6	134.92	31
Abril	64.31	36.67	30	124.31	1
Mayo	35.26	23.00	18	50.55	31
Junio	60.24	37.18	17	74.77	26
Julio	63.74	41.73	28	130.06	5
Agosto	50.54	37.02	3	73.91	28
Septiembre	97.80	64.04	27	203.33	30
Octubre	137.06	101.15	10	197.89	22
Noviembre	140.42	105.31	3	183.85	11
Diciembre	70.29	47.38	24	103.32	5

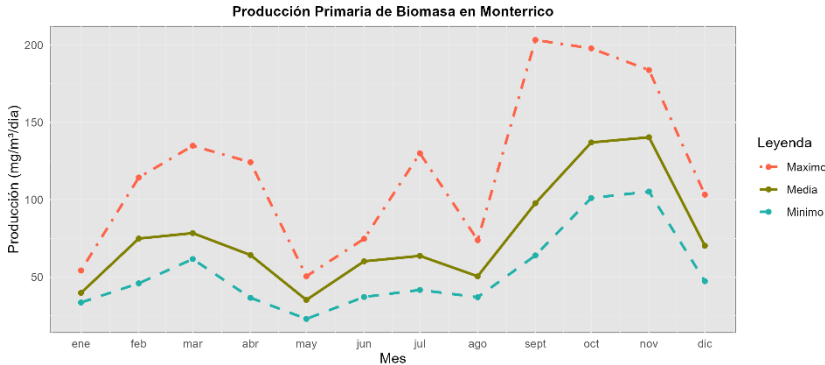


Figura 19.7: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Monterrico, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.8. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Las Lisas según datos del Servicio Marino Copernicus.
Latitud: 13.79 N. **Longitud:** --90.27 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	35.41	28.26	11	62.83	31
Febrero	76.33	44.99	25	121.16	14
Marzo	56.47	39.40	26	87.86	4
Abril	37.35	23.18	24	52.07	7
Mayo	39.11	17.95	17	73.48	31
Junio	62.60	37.68	18	74.42	26
Julio	87.68	37.00	31	170.73	2
Agosto	48.82	30.84	4	87.50	31
Septiembre	97.88	57.46	24	179.25	30
Octubre	103.07	78.49	10	171.01	1
Noviembre	112.46	71.80	28	169.15	2
Diciembre	57.47	31.95	26	79.00	3

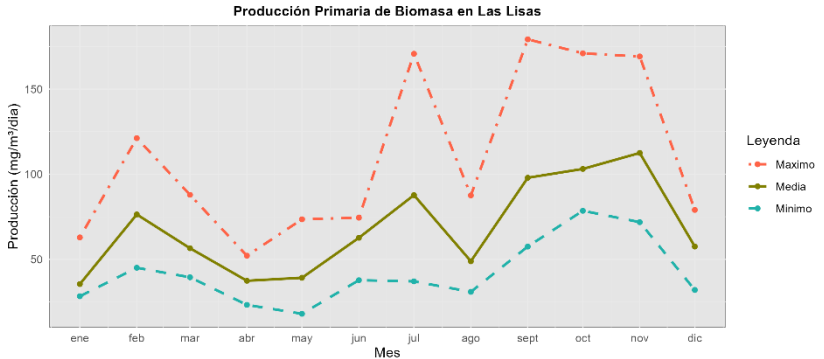


Figura 19.8: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Las Lisas, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.9. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Bahía de Amatique según datos del Servicio Marino Copernicus. **Latitud:** 15.80 N. **Longitud:** -88.67 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.48	4.17	28	5.12	1
Febrero	4.28	4.06	4	4.57	19
Marzo	3.78	3.46	31	4.12	1
Abril	3.39	3.23	12	3.57	14
Mayo	3.35	3.13	31	3.46	12
Junio	3.13	2.80	20	3.44	27
Julio	4.24	3.44	1	4.71	23
Agosto	3.67	3.03	29	4.58	2
Septiembre	2.84	2.62	25	3.04	5
Octubre	2.86	2.64	8	3.15	22
Noviembre	3.25	2.84	10	3.82	19
Diciembre	4.00	3.00	4	4.60	25

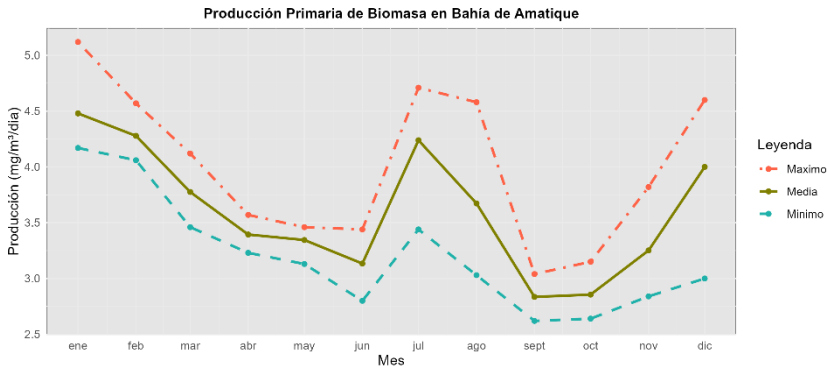


Figura 19.9: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Bahía de Amatique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.10. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para Punta de Manabique según datos del Servicio Marino Copernicus. **Latitud:** 15.98 N. **Longitud:** -88.56 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	4.99	4.32	20	5.61	30
Febrero	5.04	4.53	27	5.49	2
Marzo	4.08	3.29	29	5.20	3
Abril	3.40	3.04	26	3.96	3
Mayo	3.05	2.68	31	3.32	9
Junio	3.19	2.57	2	4.13	25
Julio	4.16	3.50	1	4.86	23
Agosto	4.69	3.68	29	5.89	10
Septiembre	2.97	2.48	30	3.69	2
Octubre	2.97	2.27	7	3.95	13
Noviembre	3.79	2.58	12	4.87	20
Diciembre	4.98	3.08	2	6.58	13

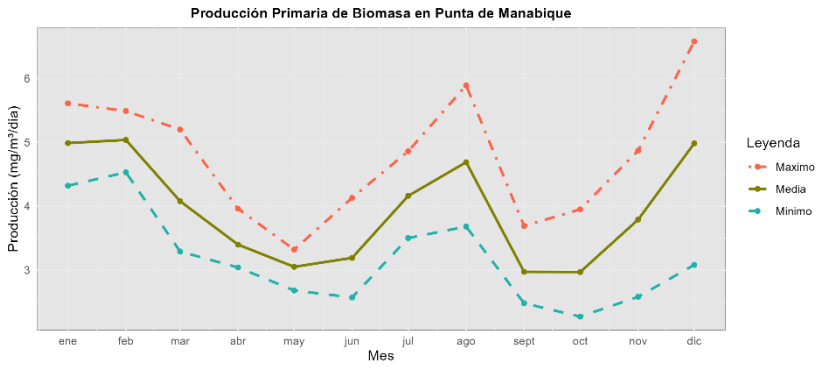


Figura 19.10: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en Punta de Manabique, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

Cuadro 19.11. Producción Primaria Neta ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$) para El Quetzalito según datos del Servicio Marino Copernicus.

Latitud: 15.80 N. **Longitud:** -88.27 E.

Producción Primaria neta de Biomasa ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)					
MES	MEDIA	MINÍMO	DÍA MINÍMO	MÁXIMO	DÍA MÁXIMO
Enero	5.33	4.38	29	6.03	8
Febrero	5.44	4.55	29	6.14	4
Marzo	3.91	3.11	29	4.75	3
Abril	3.37	2.98	25	3.89	4
Mayo	3.20	2.95	31	3.41	9
Junio	3.16	2.46	20	3.95	25
Julio	4.32	3.65	1	4.80	29
Agosto	4.43	3.42	31	5.66	10
Septiembre	2.86	2.45	29	3.52	2
Octubre	2.78	2.27	7	3.44	22
Noviembre	3.33	2.50	12	5.23	17
Diciembre	4.37	2.81	4	6.17	27

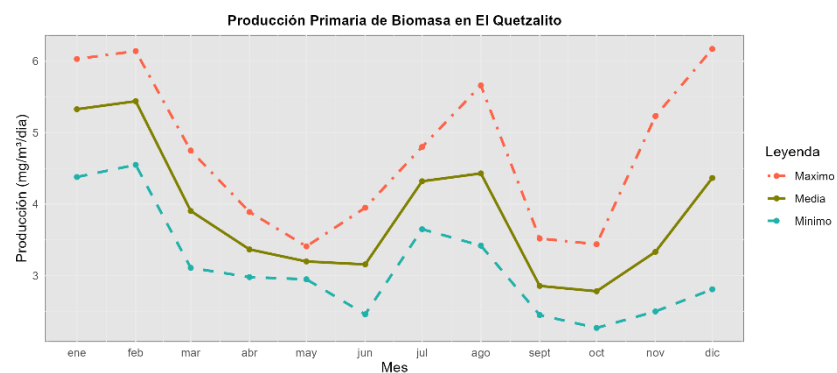
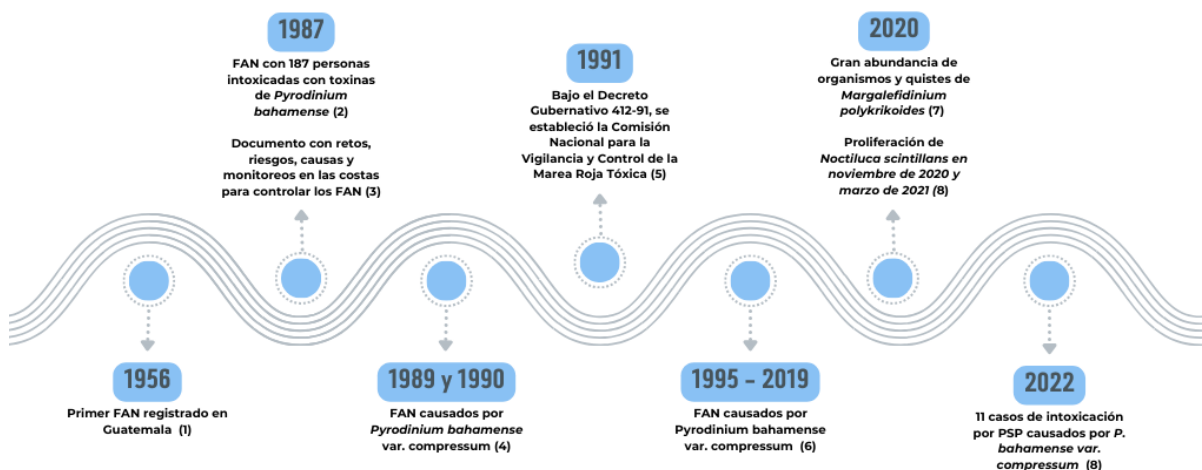


Figura 19.11: Tendencia de la Producción Primaria Neta de Biomasa en El Quetzalito, utilizando los datos del Servicio Marino Copernicus. Unidades ($\text{mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$)

20. Análisis Fitoplanctónico

Los organismos fitoplanctónicos son considerados los mayores productores primarios en las zonas pelágicas de los océanos, constituyendo la base de las cadenas tróficas y comprendiendo más del 90% de la materia orgánica existente (Cervantes et. al., 2021; Reynolds, 2006; Margalef, 1981). Así mismo, contribuyen a la producción de alrededor del 70% del oxígeno atmosférico, regulan ciclos biogeoquímicos, y colaboran con la reducción del dióxido de carbono atmosférico (Cervantes et. al., 2021; Dhargalkar e Ingole, 2004; Falkowski & Raven, 2007). Estos organismos se encuentran representados dentro de dos grupos, principalmente: los dinoflagelados [clase Dinophyceae], caracterizados por la presencia de dos flagelos permitiendo una mayor movilidad (Dodds & Whiles, 2010); y las diatomeas [clase Bacillariophyceae], con una estructura de sílice (frústula) que funciona como pared (Dodds & Whiles, 2010; Dhargalkar e Ingole, 2004; Reynolds, 2006).

Las proliferaciones de estas microalgas, conocidos como Florecimientos Algales Nocivos -FAN- pueden causar efectos negativos en los ecosistemas que resultan en el deterioro de la calidad del agua, anoxia, disminución del pH, hiperoxigenación, así como efectos adversos a la salud pública, agricultura, acuicultura y turismo (Pal & Choudhury, 2014; Sunesen, et. al., 2021). Estos FAN suelen ocurrir en áreas de surgencia y estuarios, en estos últimos las condiciones físicas como altas temperaturas, aumento de salinidad y concentraciones de clorofila suelen ser indicadores (Andersen, 1996). Algunas especies de algas producen potentes toxinas que pueden dañar órganos o provocar efectos adversos en el sistema nervioso central tanto de organismos marinos como humanos (Gómez, Moreira & López-García, 2011). En Guatemala existen reportes de florecimientos algales nocivos desde el año 1956 (Méndez et. al. 2018) y en los años posteriores se designaron a distintas instituciones encargadas del monitoreo de FAN en Guatemala (Leiva-Cerezo, 2008) (Figura 20).



1. (Méndez et. al. 2018) 2. (Rodríguez et al., 1990) 3. (Doblin, et. al., 1999, Hallegraeff, 1989). 4. (García-Pérez et al., 2020) 5. (Leiva-Cerezo, 2008) 6. (García-Pérez et al., 2020) 7. (Paz-Cordón, et al. 2022) 8. (Paz-Cordón, Okolodkov & Cobo-Gradián, 2024)

Figura 20: Línea del tiempo de los Florecimientos Algaes Nocivos reportados en Guatemala.

Los análisis cualitativos y cuantitativos de la composición de comunidades de fitoplancton permiten evaluar la biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, el impacto de actividades humanas y cambios ambientales en los cuerpos de agua del país (Durán-Riveroll et. al. 2019; Paz-Cordón, 2024). El monitoreo apropiado de especies productoras de toxinas es vital para llevar a cabo un programa integral para la prevención de intoxicaciones y pérdidas de vida humana, siendo fundamentales para Guatemala debido a su ubicación geográfica y dependencia de recursos marinos y acuáticos (Cuellar-Martinez et. al. 2018).

Metodología

Como parte del apoyo a la Comisión Nacional para la Prevención y Control de la Marea Roja Tóxica en Guatemala, se realizaron muestreos en los meses de marzo, mayo y julio del 2024, a 0.5 km de distancia de la costa, tomando dos muestras directas por sitio en envases de plástico. Adicionalmente, se usó una red de arrastre de fitoplancton, de un tamaño de malla de 20µm con diámetro de aro de 29 cm y un diámetro al final de la red de 4 cm, únicamente para una localidad en el mes de mayo y julio. Las muestras fueron fijadas con lugol ácido *in situ* y refrigeradas para ser analizadas en el laboratorio de Hidroquímica de INSIVUMEH, realizando conteos en una cámara de Sedgewick-Rafter mediante un microscopio óptico Olympus CX43 con una cámara Olympus EP50. Se identificaron las especies con claves dicotómicas, guías de identificación, divulgación científica y literatura gris. Se realizó el análisis estadístico en RStudio para dilucidar la composición de la comunidad planctónica dentro de los sitios de estudio en el Pacífico guatemalteco. Finalmente, se realizó un análisis a las especies asociadas a FAN, las cuales se dividieron en tres categorías: Tóxico (especies productoras de toxinas que pueden afectar la salud

humana), Nocivo (especies cuya morfología y tamaño puede ser nociva para la vida marina, que pueden producir florecimientos y/o que producen toxinas que no representan un peligro para la salud humana), Asociado (especies que se han observado como acompañantes en eventos FAN pero que no producen toxinas ni son nocivas).

20.1. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de marzo.

Sitios de Muestreo

Durante el mes de marzo, se realizó la toma de muestras de fitoplancton en las localidades de Tecojate, Sipacate, Naranjo y Chulamar utilizando envases de plástico con capacidad de 1 litro (Figura 20.1.1).

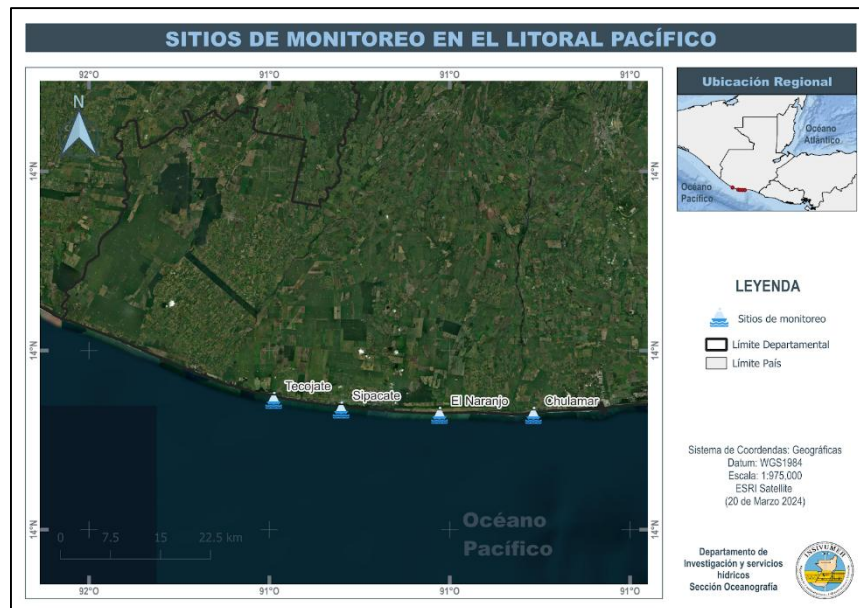


Figura 20.1.1: Puntos de muestreo en el litoral Pacífico de Guatemala para el mes de marzo.

Para el total de muestras de este mes, se observaron seis clases taxonómicas de fitoplancton. Los valores de densidad de células (células/mL) indican que las clases con mayor abundancia de organismos en los cuatro sitios de muestreo fueron Bacillariophyceae (diatomeas) y Dinophyceae (dinoflagelados) (Figura 20.1.2).

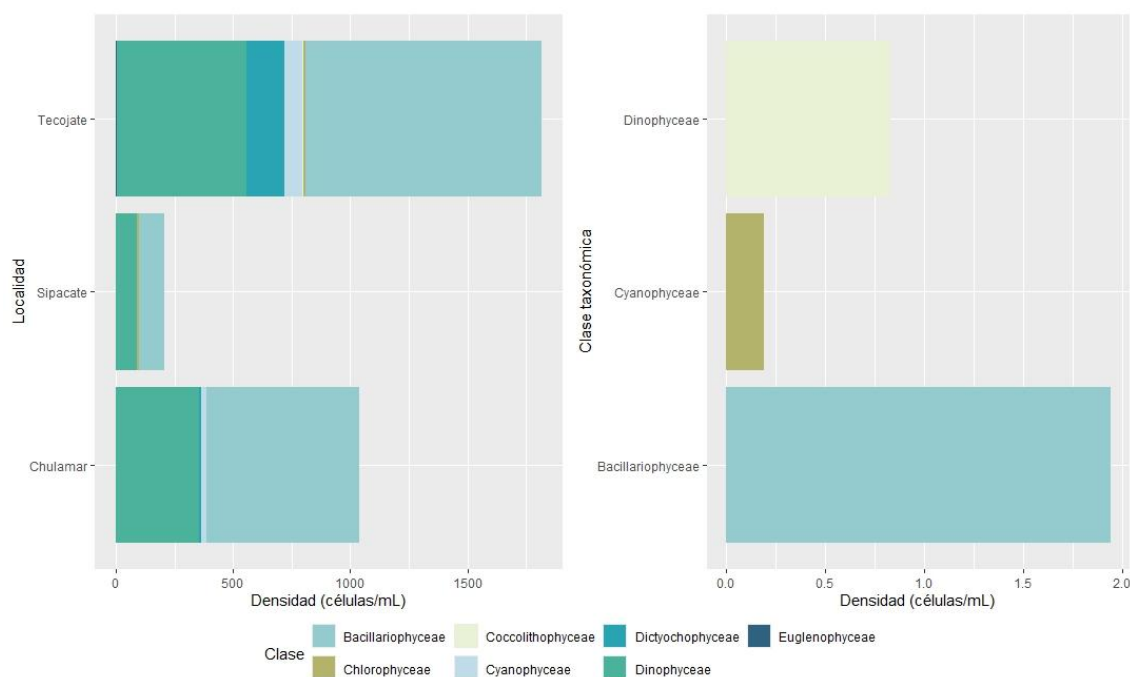


Figura 20.1.2: A. Clases taxonómicas identificadas en el mes de marzo para cada una de las localidades (eje Y) y densidad de células expresado en células/mL (eje X). B. Clases taxonómicas del mes de marzo en sitio el Naranjo.

Los valores más altos para densidad de células se presentaron en la localidad de Tecoate, identificando la presencia de seis clases taxonómicas (Figura 20.1.2). Los organismos encontrados en mayor proporción fueron diatomeas, principalmente de los géneros *Chaetoceros* y *Leptocylindrus*, con varios organismos representados por el género *Coscinodiscus*. Además, se observaron células de los géneros *Rhizosolenia* y *Guinardia*, reportados como nocivos para peces y moluscos debido a su tamaño, estructura rígida, setas y morfología en general (Rolton et al, 2022; Cuellar-Martinez et. al, 2018; Lee, 2008).

La comunidad de dinoflagelados para las muestras tomadas durante el mes de marzo estuvo presente en tres localidades, siendo Naranjo la única donde no se encontró. La mayoría de células observadas fueron estadios de hipnozigotos o planozigotos de *Gymnodinium*, *Alexandrium* y *Margalefidinium polykrikoides*. A su vez, se encontraron quistes de *Gymnodinium catenatum*, la cual es una especie productora de toxinas (Band-Schmidt et al., 2011). En los sitios también destaca un género de amplia distribución conocido como *Prorocentrum*, del cual se observaron quistes y células vegetativas, las cuales no se caracterizan por producir toxinas (Martínez-Hernández & Hernández-Campos, 1991).

También se encontraron ejemplares de *Triplos fusus*, quistes y células vegetativas del género *Gonyaulax* y células vegetativas de los géneros *Lingulodinium* y *Palaeophalacroma*. Algunas especies dentro de estos géneros han sido reportadas de importancia debido a la producción de toxinas y otras son acompañantes en eventos FAN (Band-Schmidt et al., 2019; Morquecho et al., 2009).

Se observaron dinoflagelados del género *Scrippsiella*, los cuales carecen de producción de toxinas (Fagín et al., 2019). Sin embargo, pueden reducir los niveles de oxígeno disuelto en el agua durante un FAN, resultando en la alteración en el desarrollo, reproducción y hasta la muerte de organismos marinos sensibles como peces y crustáceos (Zahedi Dizaji, Attaran Fariman & MahdiZahedi, 2021; Okolodkov et. al. 2014; Peña-Manjarrez, Grate-Lizárraga et. al. 2009, Gaxiola-Castro & Helenes-Escamilla, 2009).

Análisis de especies relevantes para FAN

Del total de especies relevantes para FAN observadas en las muestras, se encontró que un 68.1% son especies asociadas (Figura 17.1.3). Esto quiere decir que no son productoras de toxinas o nocivas para la salud, simplemente se han reportado como acompañantes en eventos de FAN (de la Cruz et al., 2017). Dentro de esta categoría se encuentran diatomeas como *Nitzschia longissima*, *Leptocylindrus danicus* y silicoflagelados como *Dictyocha fibula*.

Las especies nocivas son aquellas que pueden producir FAN, y aunque no se han reportado como productoras de toxinas, pueden afectar a la vida marina y los recursos pesqueros en general. Estas especies representan el 15.4%, de las cuales, *Prorocentrum micans* fue la más representativa para todos los sitios. Este dinoflagelado es bastante común en aguas tropicales y aunque puede producir sustancias que inhiben el crecimiento de algunas diatomeas. Los FAN causados por esta especie no llevan toxinas, pero pueden alterar los parámetros del agua como salinidad, olor, saturación de oxígeno entre otros, lo cual puede resultar nocivo para la vida marina (Aquino-Cruz et al., 2018).

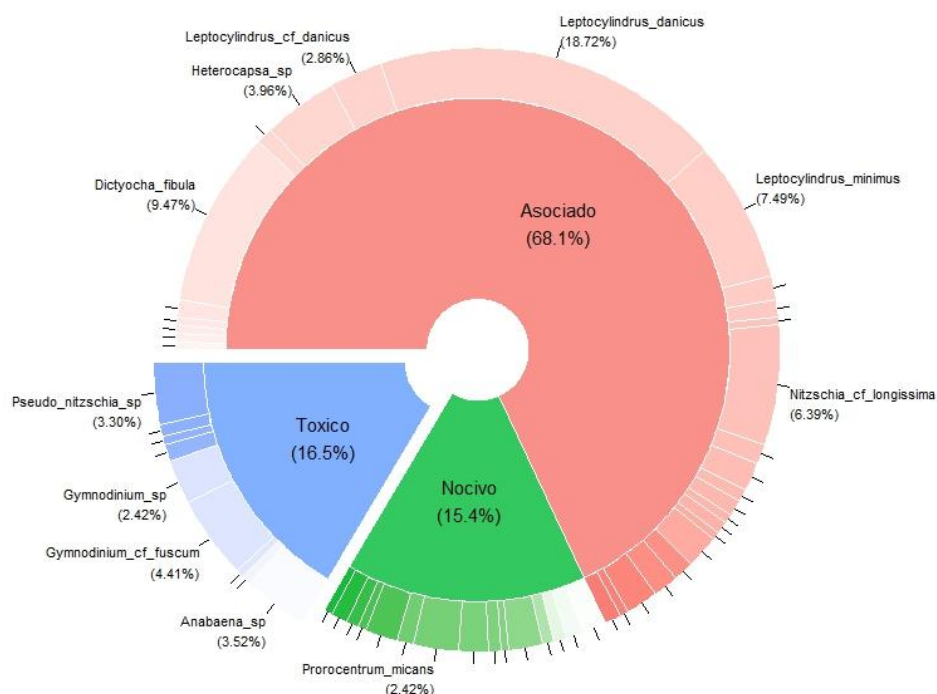


Figura 20.1.3: Organismos relevantes para FAN en conteos de células en 1 mL. Se muestran las especies más importantes/significativas.

Las especies tóxicas representan el 16.5% de las encontradas como relevantes para FAN, entre estas se encuentra *Gymnodinium sp.* y *Gymnodinium cf fuscum*. Estas especies se encontraron en su mayoría como quistes, lo cual no representa un peligro en cuanto a producción de toxinas. Sin embargo, son de importancia ya que el género *Gymnodinium* tiene especies altamente tóxicas como *G. catenatum* el cual genera FAN con cargas altas de toxinas que son perjudiciales para la salud humana y vida marina en general (Attaran Fariman et al., 2018; Hallegraeff et al., 1995; Quijano-Scheggia et al., 2012), de esta especie únicamente se observaron quistes.

Se observó la presencia de *Pseudo-nitzschia sp.*, las cuales son diatomeas productoras de la toxina ácido domoico (ASP), y son de importancia debido a sus impactos en la vida marina (Ajani et al., 2020; Arapov et al., 2016) ya que fue encontrada en todas las localidades analizadas, aunque los conteos de la misma fueron bajos para todas las localidades.

Finalmente, se observaron cianobacterias tóxicas como *Anabaena sp.*, sin embargo, estas se encontraron en números bajos representando solo el 3.52% de organismos tóxicos presentes en las muestras.

Análisis de diversidad

En cuanto a la diversidad de los sitios analizados, se determinaron rangos de valores de 0.90 a 0.97 para el índice de Simpson y de 3.0 a 3.8 para el índice de Shannon-Wiener (Figura 20.1.4). También se calculó el índice de homogeneidad de Pielou, el cual se presentó con valores de 0.76 a 0.96 (Anexos, Tabla 22.1).

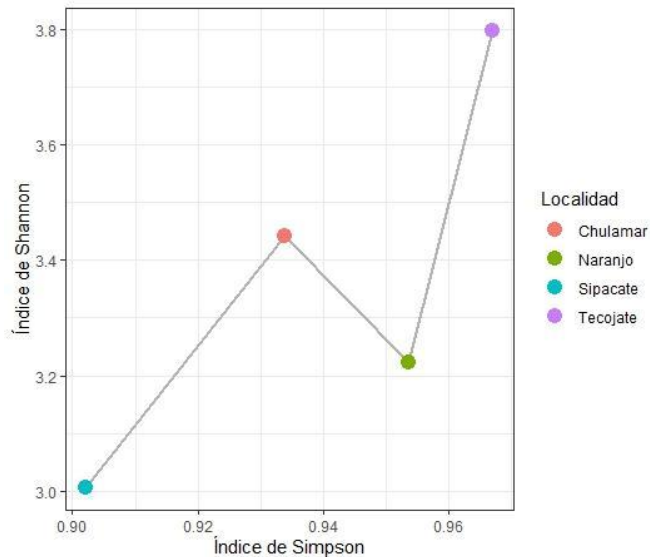


Figura 20.1.4: Comparación del Índice de Shannon (eje Y) con el Índice de Simpson (eje x) para cada localidad del mes de marzo.

La localidad con los valores más altos en el análisis estadístico fue Tecojate, con un índice de Simpson de 0.97 y con Shannon de 3.8, mostrando una composición variada de especies de diatomeas y dinoflagelados en proporciones equitativas. Cabe destacar que en esta localidad se encontró la mayor presencia y diversidad de organismos silicoflagelados, una observación única para este mes. En Chulamar, se observaron valores de Simpson de 0.93 y de Shannon de 3.4, con una composición de diatomeas con mayor abundancia de diatomeas alargadas cilíndricas y se observaron menos dinoflagelados que en Tecojate.

En El Naranjo, se obtuvieron resultados muy diferentes en cuanto a su diversidad. Se observaron varias especies de diatomeas, representados en un índice de Simpson de ~ 0.95. Sin embargo, las proporciones de los organismos en los diferentes conteos realizados fueron los más bajos observados, reflejadas en un índice de Shannon de ~3.2.

La localidad con menor diversidad fue Sipacate con los valores de índice de Simpson de 0.90 y de Shannon de 3.0, siendo los más bajos. En esta localidad se observó la menor variedad de diatomeas y dinoflagelados, en ambos casos con conteos bajos comparados a los sitios con mayor diversidad.

20.2. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de mayo

Sitios de Muestreo

Durante el mes de mayo, el monitoreo de muestras de fitoplancton se realizó en las localidades de El Semillero, Tecojate, Sipacate y Naranjo (Figura 20.2.1). El método de colecta durante este muestreo fue mediante toma directa de agua marina superficial. Únicamente en la localidad de Semillero se utilizó una red de arrastre de fitoplancton como un método adicional de toma de muestra.

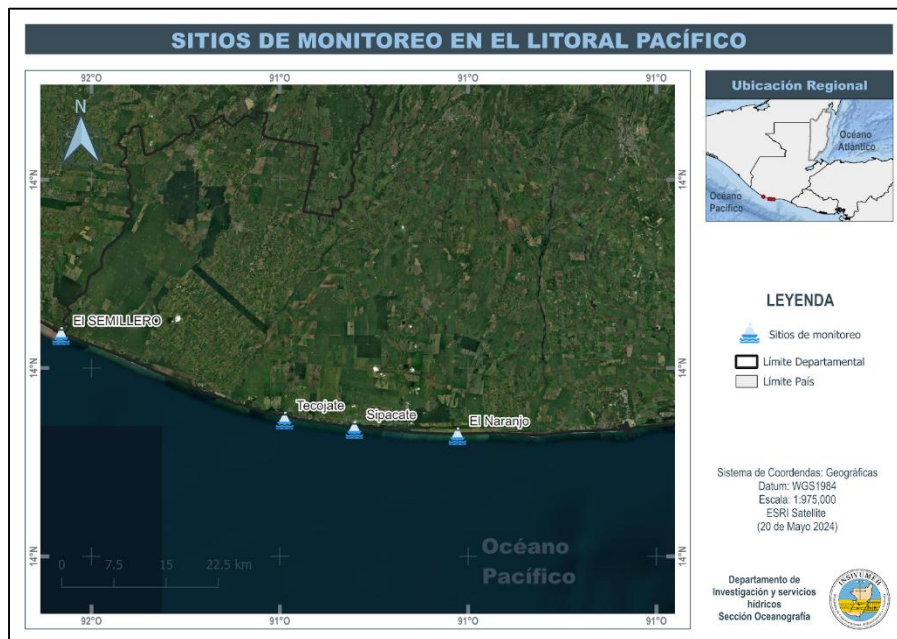


Figura 20.2.1: Puntos de muestreo en el litoral Pacífico de Guatemala para el mes de mayo.

Clases taxonómicas presentes en las muestras

Durante este mes se presentaron tres clases taxonómicas, se observó la mayor abundancia de especies dentro de Bacillariophyceae (diatomeas) y Cyanophyceae (cianobacterias), mientras que para Dinophyceae (dinoflagelados) se obtuvo la menor representación en las muestras. (Figura 20.2.2).

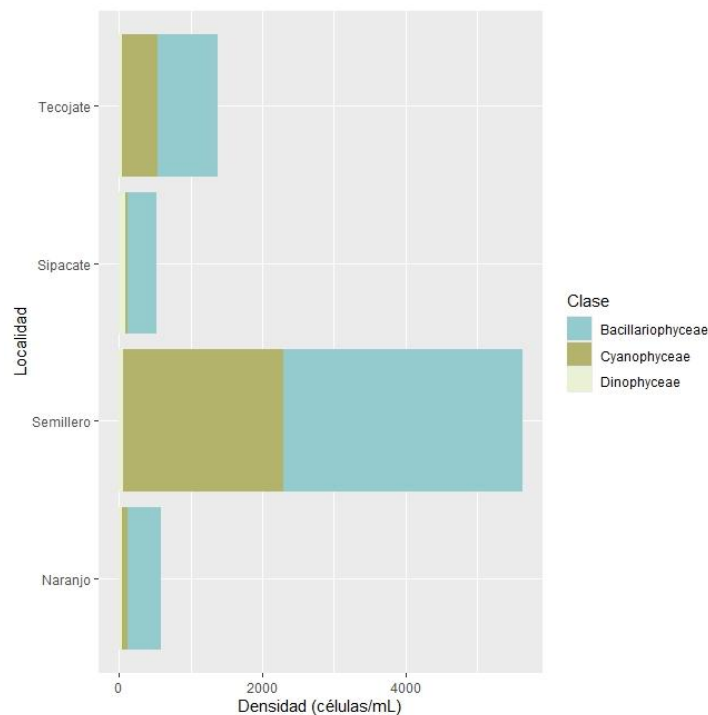


Figura 20.2.2: Clases taxonómicas encontradas en el mes de mayo según la localidad en el eje (Y) mientras que en el eje (x) la densidad celular (células/mL) calculada según los conteos.

Las diatomeas de importancia encontradas fueron *Chaetoceros sp.*, las cuales son diatomeas formadoras de cadenas, que debido a su morfología pueden tener efectos nocivos para la vida marina (Li et al., 2017). También se encontraron ejemplares de *Coscinodiscus granii*, *C. gigas* y *C. centralis*, diatomeas céntricas que se han registrado como acompañantes en eventos FAN (Morales-Pulido & Aké-Castillo, 2019). Se observaron células de *Rhizosolenia bergonii* y *Proboscia alata*, las cuales son consideradas especies nocivas debido a su morfología (Yun & Lee, 2011).

Se observó *Thalassionema sp.* en todas las localidades, en diferentes densidades celulares. Estas diatomeas son comunes tanto en agua dulce como estuarinas/marinas y no son reportadas como productoras de toxinas o acompañantes de FAN. Sin embargo, dado que son diatomeas alargadas formadoras de ensamblajes coloniales, pueden generar efectos nocivos en la vida marina cuando se presentan en altas densidades (Hasle, 2001). Las diatomeas céntricas formadoras de colonias *Thalassiosira sp.* se encontraban únicamente en el Semillero y Tecojate. Estas diatomeas son bastante sensibles a los nutrientes del ambiente, especialmente por su alto requerimiento de silicato, y son bastante comunes en áreas cercanas a la costa (Okhapkin et al., 2016).

En cuanto a dinoflagelados, se encontraron ejemplares, en bajas concentraciones, de especies tóxicas como *Margalefidinium polykrikoides* (López-Cortés et al., 2019; Paz-Cordón et al., 2022) y células del género *Gymnodinium* que también pueden producir toxinas (Doblin et al., 1999; Reis Costa et al., 2010). Además, se observaron algunas células de la especie *Akashiwo sanguinea*, dinoflagelado productor de toxina (Wu et al., 2019), por lo que se recomienda mantener el monitoreo de estos organismos en las costas del Pacífico.

Organismos del género *Tripes* fueron encontrados en las localidades del Semillero y Tecojate, este género suele ser bastante común en las costas y es conocido por ser nocivo para algunos peces debido a su morfología y también por ser asociados a FAN (Durvasula, 2020; Faust & Gullledge, 2002). Organismos del género *Protoperdinium* también fueron encontrados en el Semillero, los cuales suelen ser bastante comunes en las costas y también se han reportado como generadores de FAN, además de que algunas especies son productoras de toxinas (Raji & Padmavati 2014).

Dinoflagelados del género *Prorocentrum* fueron identificados, estos son de importancia pues varias especies son nocivas y algunas de estas son productoras de toxinas causantes de Ciguatera y DSP (Moreira-González et al., 2019; Nishimura et al., 2016). Cabe resaltar que esta localidad fue la única en la que se encontró un organismo de la especie *Noctiluca scintillans*, formadora de florecimientos y productora de toxinas (Piontkovski et al., 2021).

Análisis de especies relevantes para FAN

Durante el mes de mayo se tuvo un 56.4% de especies tóxicas, siendo el 47.9% representado por la cianobacteria *Trichodesmium erythraeum*. Cuando esta alga se encuentra en altas densidades es conocida por introducir nitrógeno, carbono y otros nutrientes al ecosistema, también posee la habilidad de producir cianotoxinas y en ciertos casos causa consecuencias negativas a la biota marina (Shaika et al., 2023). En el Pacífico guatemalteco aún se debe dilucidar su rol e impacto, ya que a pesar de que se ha reportado para la región latinoamericana, no se cuenta con información para el país (Cuellar-Martínez et al., 2018; Hernández-Becerril et al., 2007).

Para todas las localidades se observaron tricomas libres de esta cianobacteria y agrupaciones de varias células formando “paquetes” que facilita la resistencia del alga a corrientes marinas, aumentando su éxito de supervivencia en el ecosistema y también son un peligro para la vida marina debido a que pueden ser nocivos para algunos peces y otros organismos (Shaika et al., 2023). Los conteos de *T. erythraeum* más altos fueron para Semillero y Tecojate, en donde se observó la evidente dominancia de esta especie sobre el resto por lo que se recomienda tomar en cuenta la presencia de la misma en las costas del país y fortalecer su monitoreo.

De las especies tóxicas el 5% fue representado por *Pseudo-nitzschia pungens*, la cual al igual que el resto de especies del género es productora de ácido domoico (Ajani et al., 2020). Sin embargo, no se encontró en altas densidades en las localidades durante este mes.

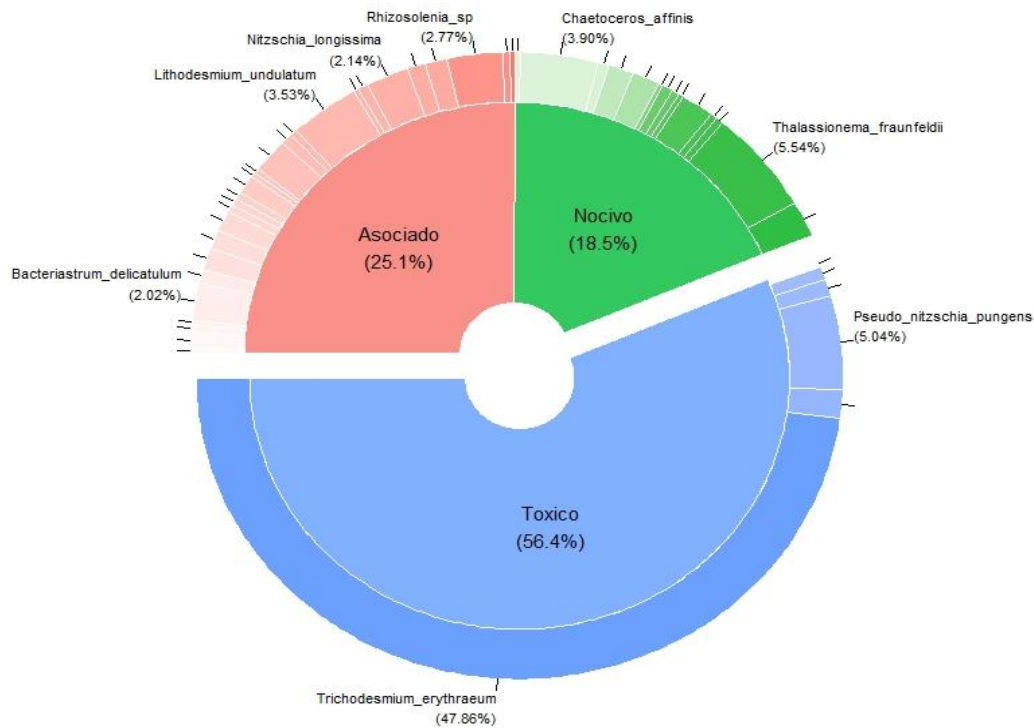


Figura 20.2.3: Organismos relevantes para FAN en conteos de células en 1 mL. Se muestran las especies más importantes/significativas.

En cuanto a especies asociadas, representaron el 25% de organismos relevantes para FAN, de estos destaca *Lithodesmium undulatum*, la cual se encontró en todas las localidades y es una diatomea céntrica común en el ambiente marino que no ha reportado implicaciones negativas para el ecosistema (Figura 20.2.3).

En cuanto a las especies nocivas (18.5%), se encontró a *Thalassionema frauenfeldii* en altas abundancias y *Chaetoceros affinis*, estas son diatomeas alargadas y formadoras de colonias, sus estructuras geométricas son bastante vistosas y también pueden generar efectos nocivos para los organismos marinos debido a la morfología de las mismas (Hasle, 2001; Li et al., 2017).

Análisis de diversidad

En cuanto a la diversidad de los sitios analizados, se determinaron rangos de valores de 0.83 a 0.96 para el índice de Simpson y de 2.8 a 3.6 para el índice de Shannon-Wiener (Figura 20.2.4). También se calculó el índice de homogeneidad de Pielou, el cual se presentó con valores de 0.65 a 0.93 (Anexos, Tabla 22.1).

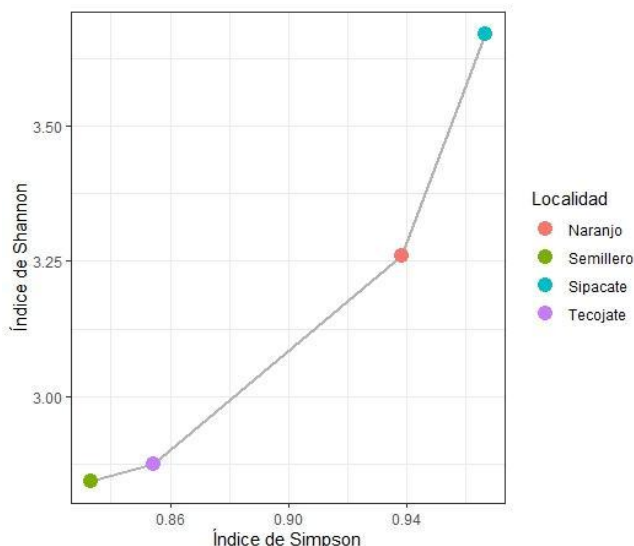


Figura 20.2.4: Comparación del Índice de Shannon (eje Y) con el Índice de Simpson (eje x) para cada localidad del mes de mayo.

La localidad con los valores más altos en el análisis estadístico fue Sipacate, con un índice de Simpson de 0.96 y con Shannon de 3.6, mostrando una composición variada de especies de diatomeas y dinoflagelados. Cabe destacar que en esta localidad se encontró la mayor abundancia de dinoflagelados en todas las muestras. Para el Naranjo, se observaron valores de Simpson de 0.94 y de Shannon de 3.25. A pesar de que en este sitio se observaron más dinoflagelados que en Sipacate, la abundancia de estos organismos en esta última localidad fue mayor.

Las localidades con menor diversidad según los valores de índices calculados fueron Tecojate y Semillero. En ambas localidades se obtuvo un índice de Simpson de ~0.95 y un índice de Shannon de ~2.8. Los organismos observados dentro de estos sitios pertenecen a varios grupos de diatomeas en Tecojate y en Semillero. Sin embargo, a diferencia de las localidades más diversas anteriormente mencionadas, estos dos sitios presentaron altas densidades de la cianobacteria *T. erythraeum*, lo cual influye en la diversidad pues muestra cierta dominancia de esta especie sobre las otras presentes en las muestras.

20.3. Análisis de composición fitoplanctónica del mes de julio

Sitios de Muestreo

Durante el mes de julio, el monitoreo *in situ* de muestras de fitoplancton se realizó en las localidades de Madre Vieja, Tecojate, Sipacate y Naranjo (Figura 20.3.1). El método de colecta durante este muestreo fue mediante toma directa de agua marina superficial, utilizando envases de plástico de 250 ml. Únicamente en la localidad de Madre Vieja se utilizó una red de arrastre de fitoplancton como un método adicional de toma de muestra.

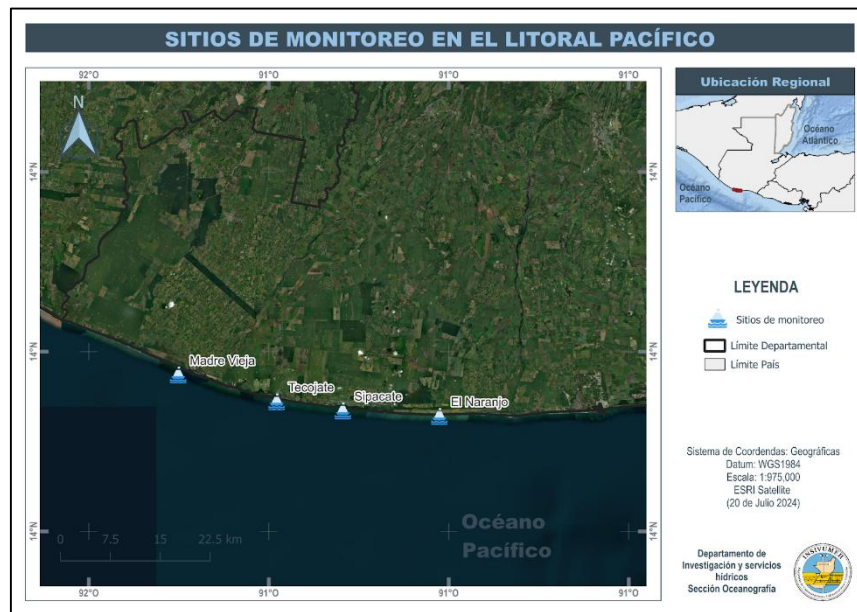


Figura 20.3.1: Puntos de muestreo en el litoral Pacífico de Guatemala para el mes de julio.

Composición de muestras para el mes de julio

Durante este mes se observaron un total de diez clases taxonómicas, de las cuales la mayor abundancia fue de Bacillariophyceae (diatomeas) en donde se muestra una clara dominancia hacia el resto de clases en todos los sitios (Figura 20.3.2). En la Figura 20.3.2 (derecha), se extrajo a la clase Bacillariophyceae del conteo analizado en la figura (izquierda) para poder observar de mejor manera la composición de las demás clases de fitoplancton en los sitios. A pesar de que en todos los sitios se encontraron altas densidades de células, la mayor densidad durante este mes fue encontrada en Sipacate (Figura 20.3.2).

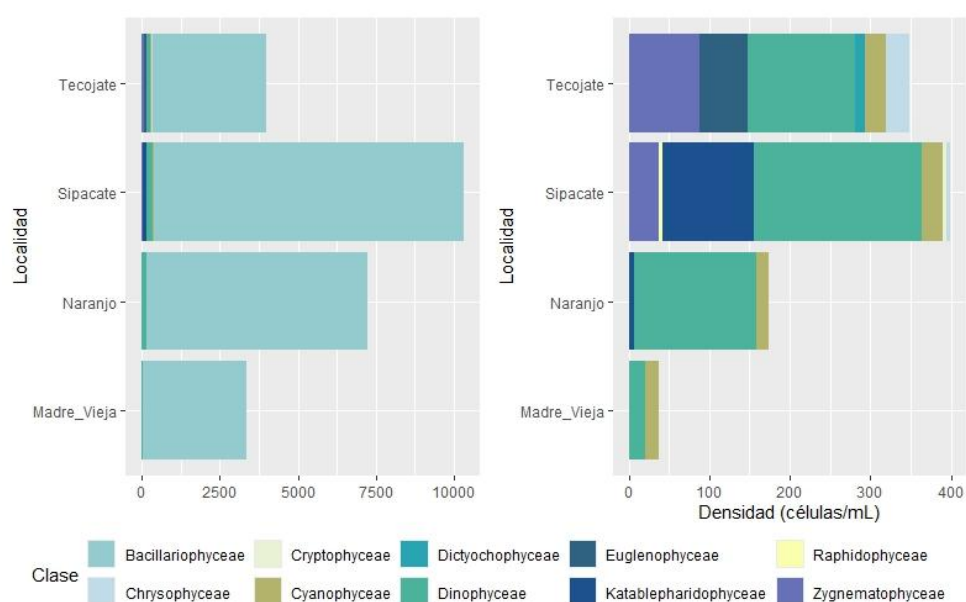


Figura 20.3.2: Clases taxonómicas encontradas en el mes de julio según la localidad en el eje (Y) mientras que en el eje (x) la densidad celular (células/mL) calculada según los conteos en alícuotas de 1mL. Se observan todas las clases incluida Bacillariophyceae a la izquierda y excluyendo a Bacillariophyceae a la derecha.

Dentro de las muestras tomadas durante el mes de mayo organismos como *Skeletonema costatum*, *S. pseudocostatum*, *S. tropicum*, y *S. c.f. grethae* fueron observados; estas no han sido reportadas como productoras de toxinas (c) y tampoco se consideran nocivas para la biota marina. *S. pseudocostatum* presentó la mayor densidad de células en todas las localidades. Este incremento suele suceder cuando existen aumentos en las concentraciones de nutrientes cerca de la costa (Sarno et al., 2005). La presencia de esta especie en las costas del Pacífico guatemalteco es un reporte relevante ya que ha sido reportada más al norte, en territorio de la bahía de San Francisco, California, Estados Unidos (Cloern & Cheng, 1981) y el Pacífico Mexicano (Hernández-Becerril, 2023).

El género *Pseudo-nitzschia*, fue observado en gran densidad. Estas diatomeas presentan potencial tóxico para la vida marina y humana por el ácido domoico que producen (González, 2013; Tenorio et al., 2021), por lo que su monitoreo y un análisis de toxinas en la zona es de gran importancia. Las diatomeas cilíndricas del género *Leptocylindrus* y *Thalassionema* se encontraron en todas las muestras, estas no son productoras de toxinas, pero sí pueden ser productoras de florecimientos cuando hay alta concentración de nutrientes (Hasle, 2001; Karthik et al., 2017).

La mayor abundancia de dinoflagelados fue con el género *Protoperidinium*, estas especies son comunes en áreas costeras con muchos nutrientes (Faust, 2006; Ej, 1997, p. 1). Especies del género *Prorocentrum* fueron observadas en la localidad del Naranjo y Sipacate principalmente, este género contiene especies bentónicas y planctónicas de las cuales algunas pueden producir toxinas (Moreira-González et al., 2019). Organismos del género *Scrippsiella* también fueron predominantes, dentro del cual no se ha registrado como productores de toxinas (Fagín et al., 2019).

Los géneros *Gymnodinium* y *Margalefidinium* fueron observados en estado de quiste, por lo que no se les atribuye toxicidad (Hallegraeff et al., 2012; López-Cortés et al., 2019). Organismos del género *Tripos* fueron identificados; este género suele ser bastante común en las costas y aunque ha sido asociado a especies productoras de florecimientos (Durvasula, 2020; Faust & Gullledge, 2002), en este análisis se encontraron en bajas densidades y únicamente dos especies.

Análisis de especies relevantes para FAN

Durante el mes de julio se observó que el 56% de las especies relevantes para FAN fueron especies nocivas, las cuales no se han catalogado como productoras de toxinas, pero pueden generar efectos negativos para la biota marina o el ecosistema en general. La mayoría de estas especies fueron del género *Skeletonema*, bastante común en el ecosistema marino y estuarino. Suelen aprovechar la alta concentración de nutrientes para su reproducción y en altas densidades también son formadoras de florecimientos. Ha sido ampliamente estudiada por su dinámica estacional en los sitios donde se presenta (Hernández-Becerril, 2023; Hevia-Orube et al., 2016), por lo que se recomienda realizar estudios sobre este género en el país.

En cuanto a las especies tóxicas, representaron el 31% repartido en nueve especies, de las cuales seis fueron del género *Pseudo-nitzschia* (Figura 20.3.3). Los conteos muestran alta abundancia de las mismas en todos los sitios, por lo que se debe prestar atención a la presencia de este género y análisis de toxinas en futuros monitoreos. Las especies *Pseudo-nitzschia pungens*, *P. australis*, *P. multistriata* y *P. brasiliana* fueron las más relevantes para los conteos y todas han sido reportadas productoras de ácido domoico (ASP) (Long et al., 2023; Ajani et al., 2020). Las especies asociadas a FAN durante este mes fueron solamente el 13% y debido a la dominancia de *Skeletonema* que se observó, no fueron especies con efectos para el ecosistema debido a los bajos conteos de las mismas.

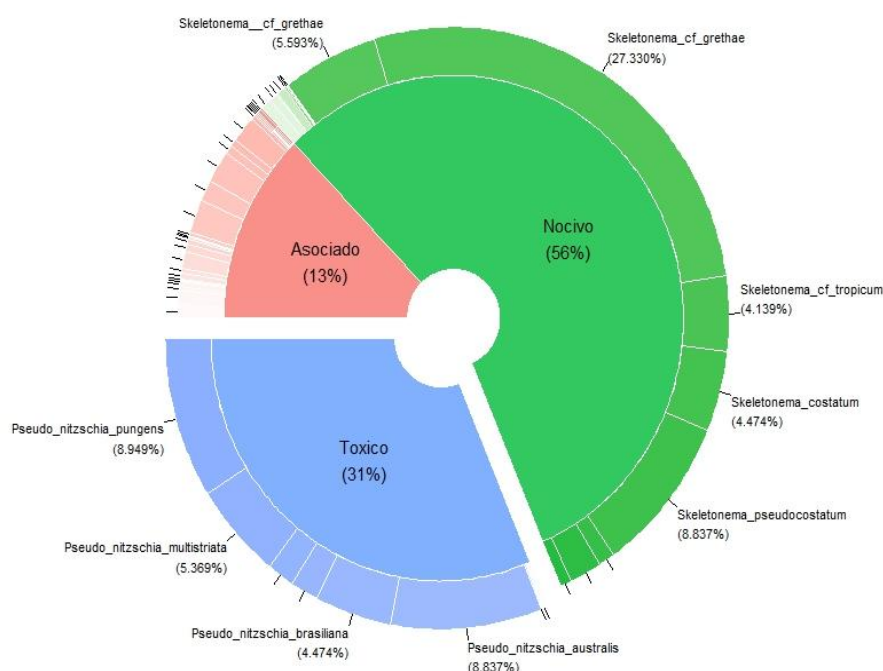


Figura 20.3.3: Organismos relevantes para FAN en conteos de células en 1 mL. Se muestran las especies más importantes/significativas.

Por último, se encontraron células del género *Karenia* las cuales no pertenecen a las especies reportadas previamente para el país, únicamente zonas aledañas como el Golfo de Tehuantepec (Maciel-Baltazar & Hernández-Becerril, 2013). Este hallazgo es importante ya que el género se ha catalogado como tóxico y ha generado FAN en el Pacífico mexicano, sur de Texas y otras partes del mundo (Borbolla et al., 2006; Tominack et al., 2020). Debido a que la identificación de la especie de este género no ha sido confirmada por especialistas taxónomos, se recomienda realizar mayores esfuerzos en su detección y monitoreo, ya que las especies no nativas de fitoplancton pueden ser productoras de FAN, afectar la vida local marina y humana (Baohong et al., 2021; Cuellar-Martinez et al., 2018).

Análisis de diversidad

En cuanto a la diversidad de los sitios analizados, se determinaron rangos de valores de 0.75 a 0.91 para el índice de Simpson y de 2.4 a 2.9 para el índice de Shannon-Wiener (Figura 20.3.4). También se calculó el índice de homogeneidad de Pielou, el cual se presentó con valores de 0.66 a 0.76 (Anexos, Tabla 22.1). Durante este mes se presentaron los valores más bajos para todos los índices respecto a los otros meses analizados, así mismo, la diversidad es muy similar en

todos los sitios. Esto se puede deber a la influencia de las especies de diatomeas que fueron predominantes y se encontraron en altas abundancias en los conteos (Figura 20.3.4).

Madre Vieja presentó los valores más bajos para el índice de Simpson (0.75) y Shannon (2.4) (Figura 20.3.4). Los valores de estos índices pueden deberse a que se encontraron pocos dinoflagelados en la localidad. Además, a pesar de que se encontraron más diatomeas, existió una alta abundancia de algunos géneros, lo cual disminuye la diversidad.

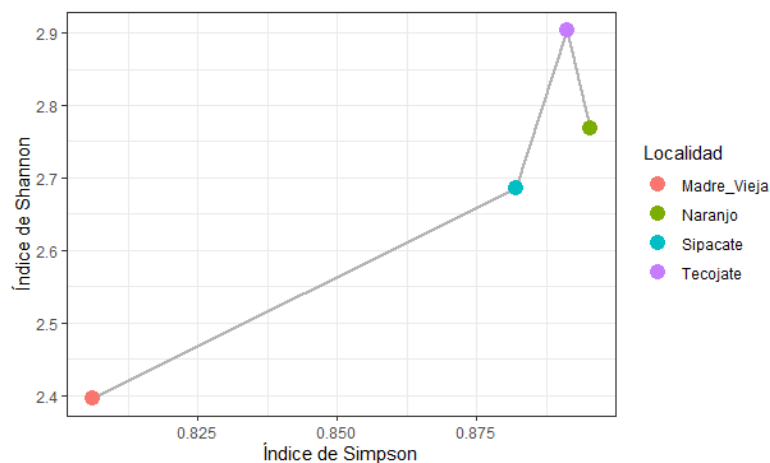


Figura 20.3.4: Índice de Shannon (eje Y) versus Índice de Simpson (eje x) para cada localidad del mes de Julio.

Para el Naranjo, se observaron valores de Simpson de 0.88 y de Shannon de 2.76, presentando menos dinoflagelados que diatomeas. En cuanto a la localidad de Sipacate, se obtuvo un índice de Simpson de 0.76 y de Shannon de 2.68, a pesar de tener los conteos más altos de células/mL y de presentar bastantes grupos de diatomeas y algunos de dinoflagelados. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la predominancia de diatomeas influye en los valores del índice de Shannon (que considera abundancias) (Cai et al., 2022; Sarno et al., 2005).

La localidad con los valores más altos fue Tecojate, con un índice de Simpson de 0.90 y Shannon de 2.9. Los conteos más bajos para este mes fueron en Sipacate y Naranjo, pero se observa una distribución más equitativa de todas las especies presentes en la misma por ello los valores de los índices fueron más altos.

21. Análisis de Variables Físicoquímicas

La composición físico-química local, es decir, la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y otros factores como concentración de clorofila-a y pH, son factores determinantes para describir las relaciones ecológicas de los distintos ecosistemas acuáticos (Lum et. al. 2023). En ello radica el continuo monitoreo y análisis de los patrones ambientales y variables físicoquímicas junto a la composición biológica de las comunidades fitoplanctónicas. Como parte del monitoreo *in situ* de muestras de fitoplancton se realizó la medición de variables físicoquímicas. Para ello se utilizó una sonda multiparamétrica Lovibond (SD 335) para la detección de pH, conductividad, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, salinidad, temperatura y sólidos disueltos totales (TDS).

A partir de los datos obtenidos por las mediciones, se observó un incremento constante de la temperatura, iniciando en el mes de marzo con valores mayores a 28.3 °C, para el mes de mayo por encima de 31.9 °C y finalmente en el mes de julio la temperatura aumentó a valores mayores a 32.25 °C (Figura 20.1). A pesar de no tener mediciones en Chulamar, El Semillero y Madre Vieja a lo largo de los tres meses, se puede observar un patrón de incremento de temperatura en general para el Pacífico guatemalteco. Un aumento excesivo en las temperaturas puede provocar estrés térmico, reduciendo la eficiencia fotosintética y desencadenando la muerte celular en algunas especies sensibles (Eppley, 1972). Altas temperaturas han sido registradas durante eventos FAN en distintos países por encima de 23 °C llegando a temperaturas de 34 °C o más (Brennan & Mitchell, 2015; Cervantes-Urieta et. al. 2021). Los estudios realizados por Bi et. al. (2021) comprueban la predominancia de ensamblajes de dinoflagelados en comparación a las diatomeas a muy altas temperaturas, por lo que demuestra ser un factor de gran importancia para el monitoreo de los FAN en Guatemala.

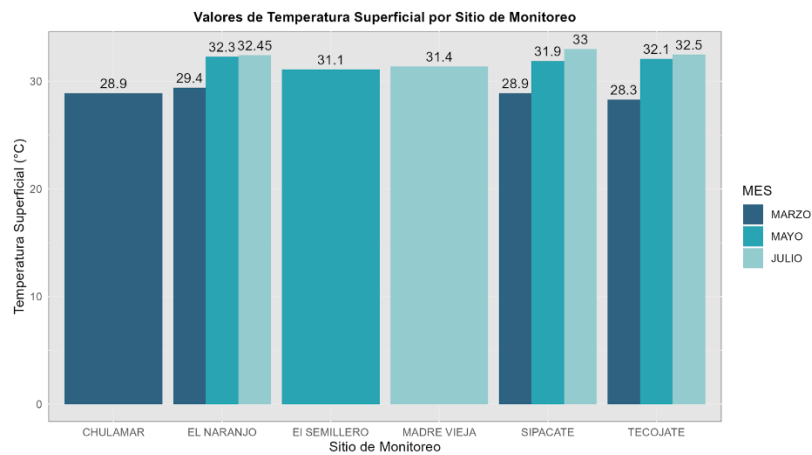


Figura 21.1: Valores de temperatura superficial por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio

La salinidad, es un factor determinante en la variación de la composición de fitoplancton, ya que influye en la osmorregulación de las células fitoplanctónicas, por lo que variaciones en la salinidad afectan la absorción de nutrientes y el crecimiento celular (Brennan & Mitchell, 2015). Durante el monitoreo del mes de marzo, se observaron valores por encima de 33.5 PSU en Chulamar, El Naranjo, Sipacate y Tecojate, lo que coincide con los niveles en lugares estuarinos que llegan a 30 PSU o mayores (Figura 21.2). Para el mes de mayo, se presentó un aumento mayor a 33.6 PSU para los sitios previamente descritos, mientras que El Semillero y Tecojate presentaron los valores más bajos con 29.9 y 29 PSU respectivamente, considerando estos sitios como polihalinos (18-30 PSU); mientras que los sitios de El Naranjo, Sipacate y Madre Vieja obtuvieron valores entre 29.8 hasta 31.2 PSU (Figura 21.2). Los cambios en la salinidad pueden ser producidos por la contribución de agua provenientes de lluvias y/o fuentes antropogénicas lo que impacta aspectos en la comunidad fitoplanctónica (Sew & Todd, 2020; Salcedo-Garduño et. al. 2018).

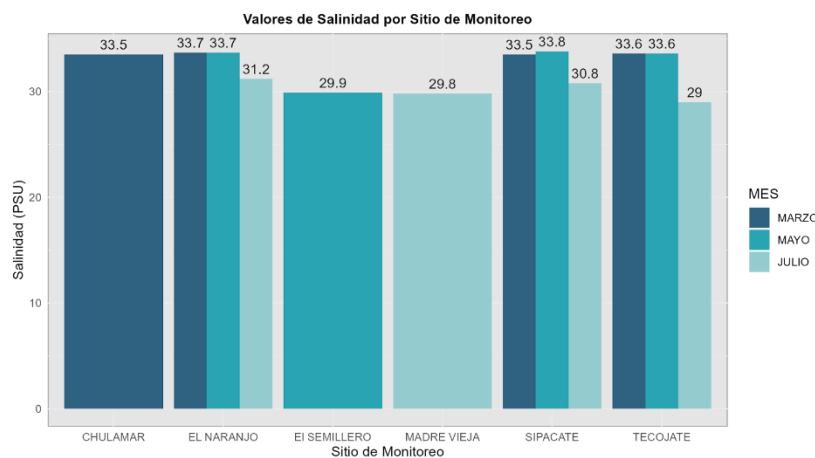


Figura 21.2: Valores de salinidad por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

La conductividad ($\mu\text{S/cm}$), por su parte, presentó un leve aumento de marzo a mayo con niveles mayores a $50.3 \mu\text{S/cm}$ en El Naranjo y Sipacate y durante el mes de julio su disminución con niveles cercanos a $46 \mu\text{S/cm}$ (Figura 21.3). En cuanto a Tecojate, se observó una disminución a lo largo de los tres meses desde $51.1 \mu\text{S/cm}$ hasta $43.8 \mu\text{S/cm}$ durante el mes de julio. La conductividad aumenta a medida que crece la cantidad de sales disueltas, por lo que se encuentra muy relacionada con la salinidad y los sólidos disueltos (TDS) (Zheng, Fu, Liu, Xiao, Wang & Shi, 2018; Anderson, Boerlage & Dixon, 2017). Debido a factores externos, se realizaron mediciones una sola vez en distintos meses para los sitios de Chulamar, El Semillero y Madre Vieja. La conductividad para Chulamar es bastante cercana a los valores obtenidos para el mes de marzo, con niveles de $50.8 \mu\text{S/cm}$. El Semillero y Madre Vieja presentan niveles de $42.38 \mu\text{S/cm}$ (mayo) y $44.71 \mu\text{S/cm}$ (julio) respectivamente.

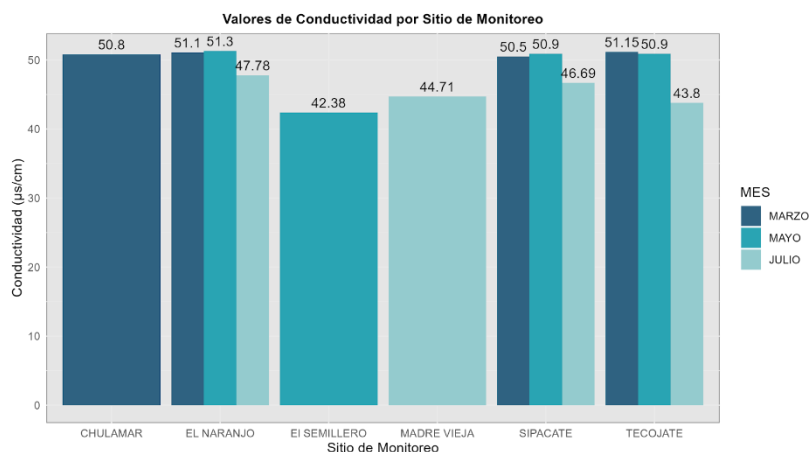


Figura 21.3: Valores de conductividad por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

Debido a las variaciones de solubilidad mineral, los valores de sólidos disueltos totales (TDS) suelen variar geográficamente y entre estaciones, ya que debido a las lluvias estos valores suelen aumentar (Essa, Elshobary, Attiah, Salem, Keshta & Edokpayi, 2024). Durante el mes de marzo en las localidades muestreadas, los valores de sólidos disueltos totales fueron todos mayores a 36 Mg/L (Figura 21.4). El Naranjo y Sipacate presentaron una disminución hacia el mes de mayo, con valores de 35.8 y 35.9 Mg/L respectivamente, mientras que Tecojate aumentó a 36.7 Mg/L . El valor más bajo para esta variable lo presentó El Semillero con 28.62 Mg/L en el mes de mayo. Para el mes de julio, todos los sitios mostraron valores mayores a 32.43 Mg/L (Figura 21.4). Altos valores de TDS pueden crear estrés osmótico en los organismos fitoplanctónicos haciendo difícil mantener el balance hídrico, además de ello afecta la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y fósforo causando deficiencias o reducción en el crecimiento (Fernández-González et al., 2022). Por otro lado, un aumento en los niveles de TDS también puede afectar el alcance de

la luz en la columna de agua, reduciendo la disponibilidad de luz para la realización de fotosíntesis (Essa, Elshobary, Attiah, Salem, Keshta & Edokpayi, 2024).

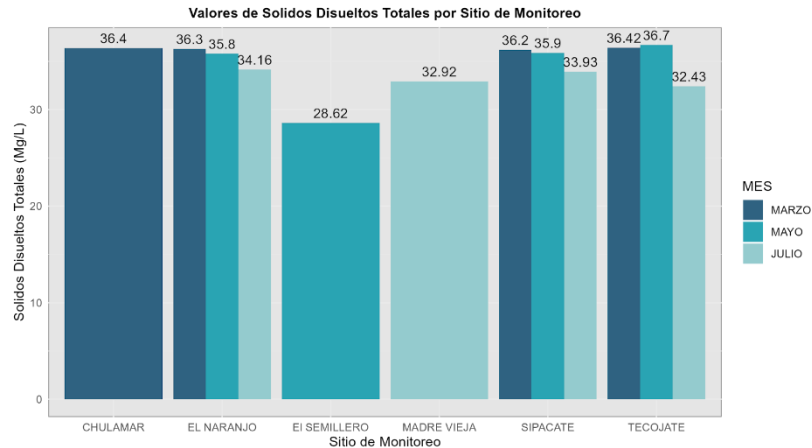


Figura 21.4: Valores de sólidos disueltos totales por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

Los valores de oxígeno disuelto presentaron un patrón bastante similar en los sitios muestreados (Figura 21.5). El Naranjo, Sipacate y Tecojate presentaron valores mayores a 7.49 Mg/L durante el mes de marzo, con un incremento en mayo por encima de 8.52 Mg/L (Figura 21.5). En Chulamar para el mes de marzo obtuvo un valor de 7.3 Mg/L; mientras que en el Semillero el valor fue de 7.71 Mg/L (Figura 21.5). El oxígeno disuelto en agua de buena calidad generalmente debe tener concentraciones de oxígeno disuelto superiores a 6.5-8 mg/L, cuando se presentan niveles menores a 2-3 miligramos por litro (hipoxia), se observa una disminución de la biodiversidad fitoplanctónica y cambios en la estructura comunitaria (Diaz & Rosenberg, 2008; Ohrel & Register, 2007).

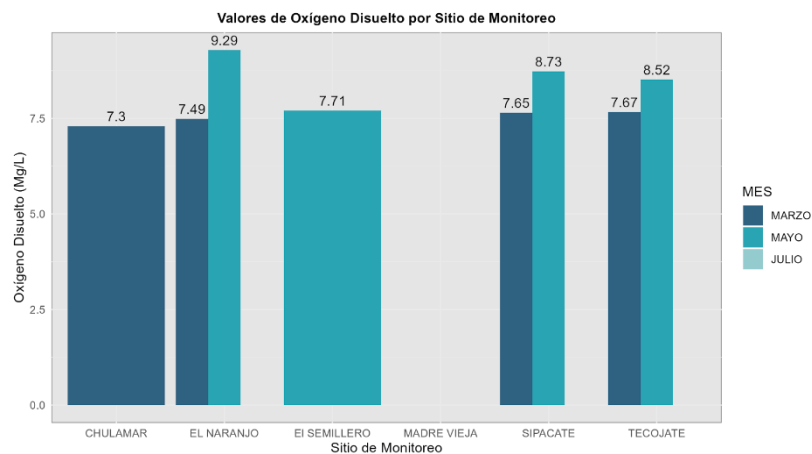


Figura 21.5: Valores de oxígeno disuelto por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

El oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno están interrelacionados y son fundamentales para evaluar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos ya que en un ecosistema saludable la saturación suele ser de aproximadamente 80-120 % (Ohrel & Register, 2006). Durante el mes de marzo en Tecojate, El Naranjo y Sipacate se presentaron valores de porcentaje por arriba del 96.7% que incrementaron por encima del 117.1% en mayo (Figura 21.6). De la misma manera en Chulamar, el valor para el mes de marzo fue de 95% y para el mes de mayo el porcentaje de saturación de oxígeno en el Semillero fue de 106.2%. (Figura 21.6). Este tipo de porcentaje es común en cuerpos de agua fotosintéticamente activos (Ohrel & Register, 2006).

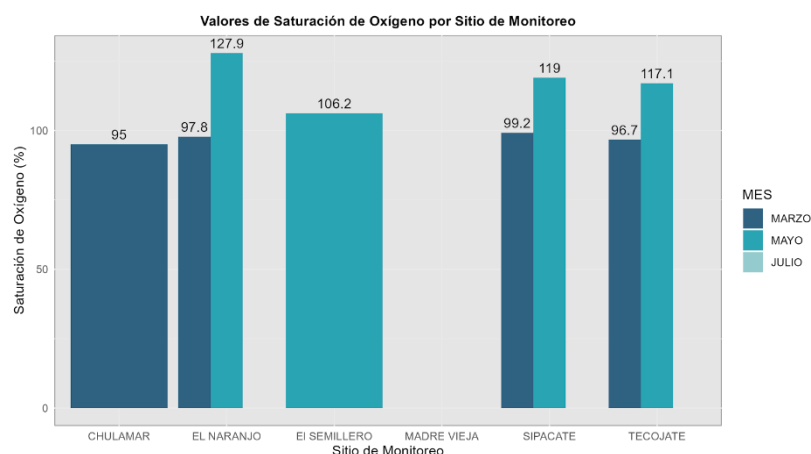


Figura 21.6: Valores de saturación de oxígeno por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

Los valores de pH en El Naranjo y Tecojate aumentaron de marzo a mayo de ~7.88 a ~8.15, mientras que en el mes de julio ambos sitios presentaron una disminución a 8.13 y 7.97 respectivamente (Figura 21.7). Chulamar obtuvo un valor de 7.9, similar a los demás sitios para el mes de marzo. Durante el mes de mayo, El Semillero presentó valores levemente bajos a comparación de los demás sitios para el mes de mayo. El sitio con el pH más alto de los sitios muestreados fue Madre Vieja con un valor de 8.17 (Figura 21.7). Se ha observado un crecimiento óptimo de algunas especies de dinoflagelados causantes de FAN, en conjunto con otra serie de factores, en valores relativamente altos de pH (e.j. un pH de 8) (Raven, Gobler & Hansen, 2020). Valores de pH por encima de 8, disminuye la tasa de crecimiento de algunas especies (Raven, Gobler & Hansen, 2020); mientras que valores de pH más bajos (e.j. cercano a 6) puede reducir la tasa de fotosíntesis en estos organismos además de afectar negativamente la formación de esqueletos calcáreos (Raven, Gobler & Hansen, 2020). El aumento de CO₂ presente en la atmósfera conduce a la acidificación de los océanos, por lo que estos organismos se verán seriamente afectados conforme se intensifique el cambio climático (Raven, Gobler & Hansen, 2020).

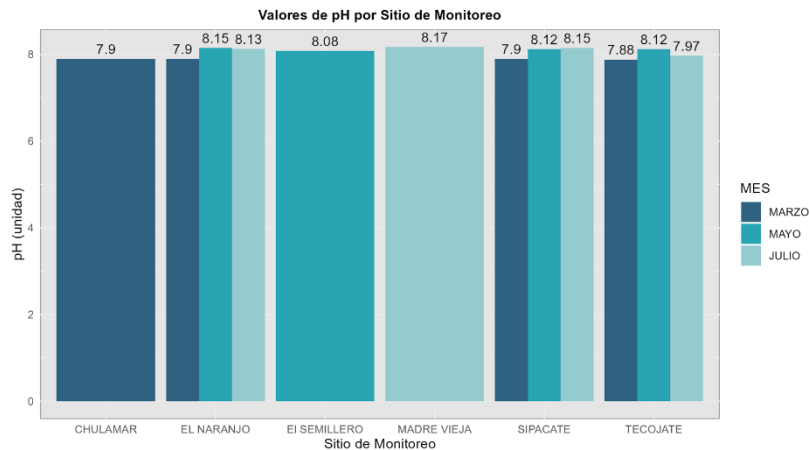


Figura 21.7: Valores de pH por sitio de muestreo durante marzo, mayo y julio.

22. Anexos

Cuadro 22.1. Valores de índice Pielou calculado para todas las localidades durante los tres meses analizados.

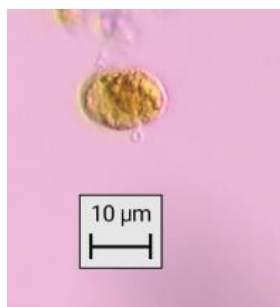
Localidad	Marzo	Mayo	Julio
Sipacate	0.757	0.933	0.659
Tecojate	0.852	0.721	0.758
Naranjo	0.957	0.861	0.704
Chulamar	0.834	---	---
Semillero	---	0.659	---
Madre Vieja	---	---	0.674

Con respecto al índice de Pielou se puede observar que durante el mes de marzo la localidad con mayor equidad es Naranjo, mientras que la de menor equidad es Sipacate. es coincidente con el índice de Shannon y Simpson (Figura 20.1.4). En cuanto al mes de mayo, Sipacate es la localidad con mayor equidad y la localidad Semillero es la de menor equidad, lo que coincide con los valores más bajos para el índice de Simpson y Shannon (Figura 20.2.4). Para el mes de julio se muestran los valores más bajos del índice demostrando cierta inequidad en la composición de la comunidad en las muestras, esto es coincidente con lo reportado en la (Figura 20.3.4) y el análisis realizado para el mes.

Algunas especies de fitoplancton identificadas en el monitoreo durante los meses de marzo, mayo y julio.



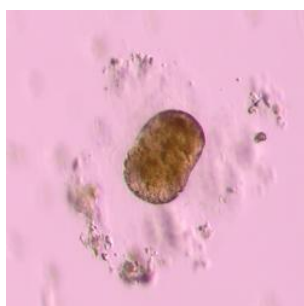
Gymnodinium catenatum



Alexandrium cf. tamarense



Dinophysis caudata



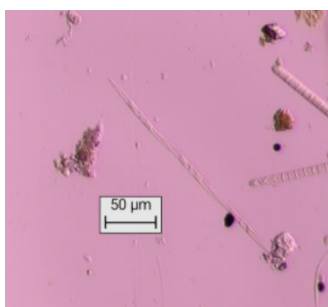
Margalefidinium polykrikoides



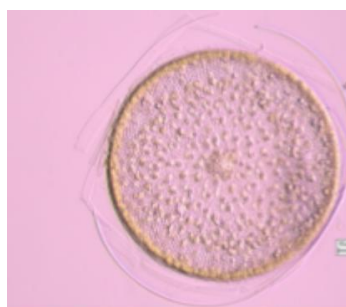
Anabaena sp.



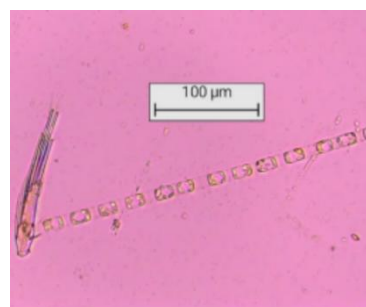
Trichodesmium erythraeum



Pseudo-nitzschia c.f. subpacifica



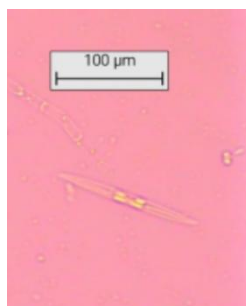
Coscinodiscus centralis



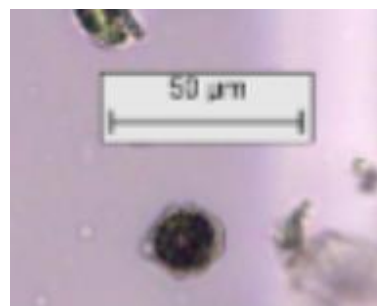
Skeletonema costatum



Karenia sp.



Pseudo-nitzschia pungens



Scrippsiella

Algunas especies de zooplancton identificadas en el monitoreo durante el mes de mayo.



Euterpina acutifrons



Familia Corycaeidae



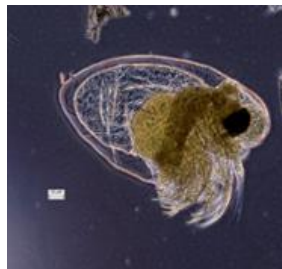
Acrocalanus sp.



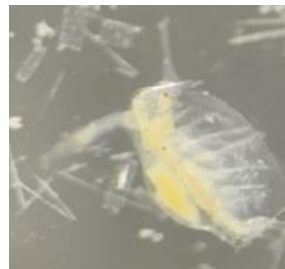
nauplio



Zoea decapoda



Evadne sp.



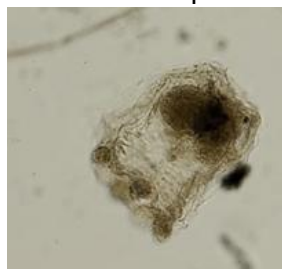
Penilia sp.



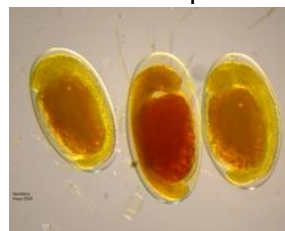
Clase appendicularia



Phylum Chaetognatha



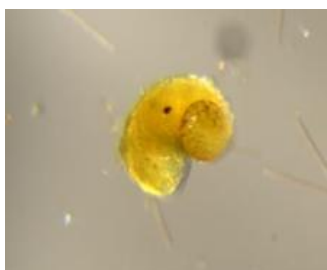
Orden
Anthoathecata



Superclase
Actinopterygii



Orden Spionida



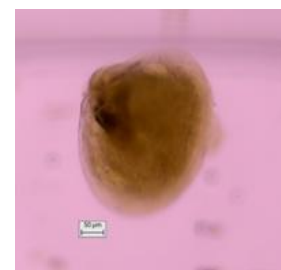
Clase gastropoda
morfo 1



Clase gastropoda
morfo 2



Familia Hydrobiidae



Clase Bivalvia

Referencias

- Ajani, P. A., Larsson, M. E., Woodcock, S., Rubio, A., Farrell, H., Brett, S., & Murray, S. A. (2020). Fifteen years of *Pseudo-nitzschia* in an Australian estuary, including the first potentially toxic *P. delicatissima* bloom in the southern hemisphere. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 236, 106651. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106651>
- Alcalado, P.M. (1998). Conceptos e Índices Relacionados con la Diversidad. *Avicennia*, 8(9): 7-21
- Alfaro Martinez, E. J. (1997). Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria.
- Andersen, P. (1996). Design and Implementation of some Harmful Algal Monitoring Systems IOC Technical Series No. 44.
- Anderson D.M., Boerlage S.F.E., Dixon M.B. (2017). Harmful Algal Blooms (HABs) and Desalination: A Guide to Impacts, Monitoring and Management. UNESCO
- Aqua earth-observing, s. (s.f.). Mission AQUA. Obtenido de <https://aqua.nasa.gov/>
- AquaStatus. (s.f.). [aqua.nasa.gov](https://aqua.nasa.gov/sites/default/files/AquaStatus.pdf). Obtenido de <https://aqua.nasa.gov/sites/default/files/AquaStatus.pdf>
- Aquino-Cruz, A., Purdie, D. A., & Morris, S. (2018). Effect of increasing sea water temperature on the growth and toxin production of the benthic dinoflagellate *Prorocentrum lima*. *Hydrobiologia*, 813, 103-122.
- Arapov, J., Ujević, I., Pfannkuchen, D. M., Godrijan, J., Bakrač, A., Gladan, Ž. N., & Marasović, I. (2016). Domoic acid in phytoplankton net samples and shellfish from the Krka River estuary in the Central Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science*, 17(2), Article 2. <https://doi.org/10.12681/mms.1471>
- Arjona, F. J.-C.-J. (2007). Osmoregulatory response of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) to changes in environmental salinity. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*.
- Attaran Fariman, G., Loghmani, M., & Mirkazehi Rigi, A. (2018). The Effect of Environmental Factors on the Abundance of Dinoflagellate Cysts in Sediments of the Southeastern Coast of Iran in Hot and Cold Seasons. *Journal of Oceanography*, 9(34), 59-67.
- Bailey, S. (2014). MODIS-Terra Ocean Color Reprocessing. Obtenido de <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>
- Bailey, S. (s.f.-a). Ocean Color L3. Obtenido de <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>
- Bailey, S. (s.f.-b). NASA OceanColor WEB. Obtenido de What We Do.: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/about/>
- Band-Schmidt, C.J., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Núñez-Vázquez, e. & Hernández-Sandoval, F.E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21 (3): 381-413
- Band-Schmidt, C. J., Durán-Riveroll, L. M., Bustillos-Guzmán, J. J., Leyva-Valencia, I., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E. J., Hernández-Sandoval, F. E., & Ramírez-Rodríguez, D. V. (2019). Paralytic Toxin Producing Dinoflagellates in Latin America: Ecology and Physiology. *Frontiers in Marine Science*, 6, 42. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00042>
- Baohong, C., Kang, W., Huige, G., & Hui, L. (2021). *Karenia mikimotoi* blooms in coastal waters of China from 1998 to 2017. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 249, 107034. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107034>

- Bars, L., Vries, D., H., & Drijfhout, S. (2019). Sea level rise and its spatial variations. Technical report. Royal Netherlands Meteorological Institute. Ministry of Infrastructure and Water Management. Obtenido de <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmi/pubTR/TR372.pdf>
- Bear, R. R. (s.f.). Biogeochemical Cycles. Obtenido de <https://archive.org/details/cnx-org-col11569>
- Bergant, K., Susnik, Strojjan, M., & A., a. S. (2005). Sea level variability at Adriatic coast and its relationship to atmospheric forcing. *Annales Geophysicae*. Obtenido de <https://angeo.copernicus.org/articles/23/1997/2005/angeo-23-1997-2005.pdf>
- Bindoff, N. L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J. M., Gulev, S., ... & Woodworth, P. (2007). Observations: oceanic climate change and sea level.
- Bi R., Cao Z., Ismar-Rebitz SMH, Sommer U, Zhang H, Ding Y & Zhao M. (2021). Responses of Marine Diatom-Dinoflagellate Competition to Multiple Environmental Drivers: Abundance, Elemental, and Biochemical Aspects. *Front. Microbiol.* 12:731786. doi: 10.3389/fmicb.2021.731786
- Borbolla, M., Colín, F., Vidal Pérez, M., & May, M. (2006). Marea roja de Tabasco 2005, *Karenia brevis*. 12, 425–433.
- Brennan, G. L., & Mitchell, E. A. (2015). Impact of salinity on the marine planktonic environment. *Marine Biology Research*, 11 (4), 338-350.
- Cadenas, M. (2012). Nivel del mar y régimen de marea en las estaciones mareográficas de Colombia. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/23877/Caracteristicas+Mareas.pdf/55110c0b-9bd6-4c97-ab2e-c99807e3fc01>
- Cai, Y., Qi, L., Shan, T., Liu, Y., Zhang, N., Lu, X., & Fan, Y. (2022). Application of Phytoplankton Taxonomic α -Diversity Indices to Assess Trophic States in Barrier Lake: A Case of Jingpo Lake. *Diversity*, 14(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/d14111003>
- Caruana, A. M. (2018). Microalgae and Toxins. En I. A. Levine & J. Fleurence (Eds.), *Microalgae in Health and Disease Prevention*. Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00013-X>
- Cervantes-Urieta, V.; Trujillo-Tapia, M.; Violante-González, J.; Moreno-Díaz, G.; Rojas-Herrera A.; & Rosas-Guerrero, V. (2021). Temporal dynamics of the phytoplankton community associated with environmental factors and harmful algal blooms in Acapulco Bay, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(1): 110-124
- Cessi, P. (s.f.). Lecture 4: Thermohaline Circulation Variability. Obtenido de Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI): <https://www.whoi.edu/files/server.do?id=21418&pt=10&p=17292>
- Cheng, L. A. (2024). New Record Ocean Temperatures and Related Climate Indicators in 2023. *Adv. Atmos. Sci.* 41, 1068–1082. doi:<https://doi.org/10.1007/s00376-024-3378-5>
- Cheng, L. v. (2022). Past and future ocean warming. *Nat Rev Earth Environ* 3, 776–794. doi:<https://doi.org/10.1038/s43017-022-00345-1>
- Cloern, J. E., & Cheng, R. T. (1981). Simulation model of *Skeletonema costatum* population dynamics in northern San Francisco Bay, California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 12(1), 83–100. [https://doi.org/10.1016/S0302-3524\(81\)80119-3](https://doi.org/10.1016/S0302-3524(81)80119-3)
- CoastWatch, N. (2018). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastwatch Program: NOAA Coastwatch: Central Operations and Portal to Regional Nodes. Obtenido de https://coastwatch.noaa.gov/cw_html/cwViewer.html
- COP25, C. C. (2019). Océano y cambio climático: 50 preguntas y respuestas. Santiago de Chile.
- Copernicus. (2024). Copernicus. Obtenido de 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit.: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>
- Copernicus (2023). Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast. Obtenido de: https://data.marine.copernicus.eu/product/GLOBAL_ANALYSISFORECAST_BGC_001_028/description
- CSIRO-, C. S. (s.f.). Why does sea level change? Obtenido de Causes of sea level change: <https://research.csiro.au/slrwavescoast/sea-level/sea-level-change/>
- Cuellar-Martinez, T., Ruiz-Fernández, A. C., Alonso-Hernández, C., Amaya-Monterrosa, O., Quintanilla, R., Carrillo-Ovalle, H. L., Arbeláez M, N., Díaz-Asencio, L., Méndez, S. M., Vargas, M., Chow-Wong, N. F., Valerio-Gonzalez, L. R., Enevoldsen, H., & Dechraoui Bottein, M.-Y. (2018). Addressing the Problem of Harmful Algal Blooms in Latin America and the Caribbean- A Regional Network for Early Warning and Response. *Frontiers in Marine Science*, 5, 409. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00409>

- de la Cruz, A., Logsdon, R., Lye, D., Guglielmi, S., Rice, A., & Kannan, M. S. (2017). Harmful algae bloom occurrence in urban ponds: relationship of toxin levels with cell density and species composition. *Journal of earth and environmental sciences*, 25, 704.
- Dhargalkar, V. K. & Ingole, B. S. (Ed). (2004). *Phytoplankton Identification Manual*. National Institute of Oceanography.
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926-929.
- Doblin, M. A., Blackburn, S. I., & Hallegraeff, G. M. (1999). Growth and biomass stimulation of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* (Graham) by dissolved organic substances. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 236(1), 33–47. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00193-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00193-2)
- Dodds, W. K. & Whiles, M. R. (Ed). (2010). *Freshwater Ecology, Concepts and Environmental Applications of Limnology*. Elsevier Inc.
- Durán-Riveroll LM, Cembella A.D. & Okolodkov Y.B. (2019). A Review on the Biodiversity and Biogeography of Toxigenic Benthic Marine Dinoflagellates of the Coasts of Latin America. *Front. Mar. Sci.* 6:148. doi: 10.3389/fmars.2019.00148
- Durvasula, S. V. (Ed.). (2020). *Dinoflagellates: Classification, evolution, physiology and ecological significance*. Nova Science Publishers.
- Earth Science Data Systems, N. (2016). Data Processing Levels. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/engage/open-data-services-and-software/data-information-policy/data-levels>
- Ej, B. (1997). Behavioral components of feeding selectivity of the heterotrophic dinoflagellate *Protoperidinium pellucidum*. *Marine Ecology Progress Series*, 153, 77–89. <https://doi.org/10.3354/meps153077>
- Encyclopaedia Britannica. (2025). Photic Zone. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/photic-zone>
- Eppley, R. W. (1972). "Temperature and phytoplankton growth in the sea." *Fishery Bulletin*, 70(4), 1063-1085
- Essa D., Elshobary, M.E., Attiah, A.M., Salem, Z.E., Keshta, A.E., Edokpayi, J.N. (2024). Assessing phytoplankton populations and their relation to water parameters as early alerts and biological indicators of the aquatic pollution. *Ecological Indicators* 159, 111721
- Fagín, E., Bravo, I., Garrido, J. L., Rodríguez, F., & Figueroa, R. I. (2019). *Scrippsiella acuminata* versus *Scrippsiella ramonii*: A Physiological Comparison. *Cytometry*, 95(9), 985–996. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.23849>
- Falkowski, P.G. & Raven, J.A. (2007). *Aquatic photosynthesis*. Princeton University Press, Oxford.
- Faust, M. A., & Gualledge, R. A. (2002). Identifying Harmful Marine Dinoflagellates. *Contributions from the United States National Herbarium*, 42, 1–144.
- Faust, M. A. (2006). Creation of the subgenus *Testeria* Faust subgen. nov. *Protoperidinium* Bergh from the SW Atlantic Ocean: *Protoperidinium novella* sp. nov. and *Protoperidinium concinna* sp. nov. *Dinophyceae*. *Phycologia*, 45(1), 1–9. <https://doi.org/10.2216/04-62.1>
- Fernández-González, C., Tarran, G.A., Schuback, N., Woodward, E.M.S., Arístegui, J., Marañón, E., (2022). Phytoplankton responses to changing temperature and nutrient availability are consistent across the tropical and subtropical Atlantic. *Commun. Biol.* 5, 1035. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03971-z>.
- FIU, F. I. (2015). El Niño Oscilación del Sur (ENOS) 2015–16 Región – Latinoamérica y el Caribe. Obtenido de Disaster Risk Reduction Program: https://drr.fiu.edu/enso-201516/enso_2015_fiu-drr-report_no2_espanol.pdf
- Flater, D. &. (s.f.). XTide: Harmonic tide clock and tide predictor.
- Fore, A. Y. (2019). *SMAP Salinity and Wind Speed Data User's Guide*.
- Frazier, S. (s.f.). MODIS Specifications. Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
- Garcia, H. E., Locarnini R. A., Boyer T. P. , Antonov J. I. , Baranova O. K. , Zweng M. M. & Johnson D. R. , (2010). *World Ocean Atlas 2009 Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Oxygen Saturation*. S. Levitus, Ed., NOAA Atlas NESDIS 70, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 344 pp.
- García-Pérez, J., Carrillo-Ovalle, L., Blanda, E. & Vargas-Montero, M. (2018). First report of the genus *Gambierdiscus* from the Atlantic coast of Guatemala. *Harmful Algae News*, 61, 9-10.
- García-Pérez, J., García-Lopez, A., Carrillo-Ovalle, L., Solares-Cortez, N. & López-Bran, R. (2020). Florecimiento algal nocivo de *Pyrodinium bahamense* en diciembre 2018 en la costa del Pacífico de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 7(1)

- Garrison, T. S. (2012). *Oceanography: an invitation to marine science*. Cengage Learning.
- GEBCO. (2020). GEBCO Overview. Obtenido de https://www.gebco.net/about_us/overview/
- GEBCO. (2024). Gebco_2024 Grid. Obtenido de https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2024/
- Gill, A. E. (1982). *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press.
- Gómez, F., Moreira, D., & López-García, P. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21 (3): 343-364.
- González, Á. M. (2013). Florecimiento de la diatomea potencialmente tóxica *Pseudo-nitzschia* cf. *Multistriata* en aguas cubanas. 33(1).
- Grattan, L. M. (2016). Harmful algal blooms and public health [Harmful Algal Blooms and Public Health]. *Harmful Algae*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.003>
- Grego, P. (2005). *The Moon and How to Observe it*. Springer.
- Hallegraeff, G. M., Blackburn, S. I., Doblin, M. A., & Bolch, C. J. S. (2012). Global toxicology, ecophysiology and population relationships of the chainforming PST dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *Harmful Algae*, 14, 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.018>
- Harris, A. M. (s.f.). A New High-Resolution Sea Surface Temperature Blended Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. doi:<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00002.1>
- Hasle, G. R. (2001). The Marine, Planktonic Diatom Family Thalassionemataceae: Morphology, Taxonomy and Distribution. *Diatom Research*, 16(1), 1–82. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2001.9705509>
- Hernández-Becerril, D. U., Alonso-Rodríguez, R., Álvarez-Góngora, C., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, G., Herrera-Silveira, J., Castillo, M. E. M. del, Juárez-Rulz, N., Merino-Virgilio, F., Morales-Blake, A., Ochoa, J. L., Orellana-Cepeda, E., Ramírez-Camarena, C., & Rodríguez-Salvador, R. (2007). Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABs) in Mexican Coasts. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. <https://doi.org/10.1080/10934520701480219>
- Hernández-Becerril, D. U. (2023). Further studies on the species diversity of the marine planktonic diatom genus *Skeletonema* (Bacillariophyta) in the Mexican Pacific. *Phytotaxa*, 607(3), 182–196. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.607.3.2>
- Heron, S. F.-K.-R. (2014). Climatology development for NOAA Coral Reef Watch's 5-km product suite. doi:<https://doi.org/10.7289/V59C6VBS>
- Hevia-Orube, J., Orive, E., David, H., Laza-Martinez, A., & Seoane, S. (2016). *Skeletonema* species in a temperate estuary: A morphological, molecular and physiological approach. *Diatom Research*, 31(3), 185–197. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2016.1228548>
- Iglesias, I. L.-G. (2010). La temperatura superficial del mar como herramienta de predicción climática. Environmental Physics Laboratory, Facultad de Ciencias.
- IIEG. (2019). GLOSARIO GPS/GNSS. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco: Geodesia, Fotogrametría, Topografía, Cartografía y catastro .
- INEGI. (1986). *Glosario de Términos Marinos y Litorales*.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- (2024). La Luna y sus fases. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/?p=7887>
- IOC. (2023). Intergovernmental Oceanographic Commission. Obtenido de Sea level station monitoring facility: <https://doi.org/10.14284/482>
- IPCC. (s.f.). IPCC, Special Report: Global Warming of 1.5°C Glossary. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/>
- Karthik, R., Padmavati, G., Elangovan, S. S., & Sachithanandam, V. (2017). Monitoring the Diatom bloom of *Leptocylindrus danicus* (Cleve 1889, Bacillariophyceae) in the coastal waters of South Andaman Island. *IJMS Vol.46(05)* [May 2017]. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/41662>
- Knox, G.A. (2001). *The Ecology of Seashores*. CRC Press
- Kraus, E. B., & Businger, J. A. (1994). *Atmosphere-ocean interaction* (Vol. 27). Oxford University Press.

- Kuhlbrodt, T. S. (2024). A Glimpse into the Future: The 2023 Ocean Temperature and Sea Ice Extremes in the Context of Longer-Term Climate Change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105(3), E474-E485. doi:<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0209.1>
- Laboratorio de Altimetría Satelital National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA-.(s.f.) Datos de Altimetría en tiempo real. <https://www.star.nesdis.noaa.gov/socd/lisa/NearRealTime/>
- Lee, R.E. (Ed.). (2008). *Phycology*. Cambridge University Press.
- Leiva-Cerezo, A. V. (2008). Eventos de Marea Roja Ocurrido en el Océano Pacífico de Guatemala. [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7606/1/Aldo%20Inicio%20Leiva%20Cerezo.pdf>
- Li, Y., Boonprakob, A., Gaonkar, C. C., Kooistra, W. H., Lange, C. B., Hernández-Becerril, D., ... & Lundholm, N. (2017). Diversity in the globally distributed diatom genus *Chaetoceros* (Bacillariophyceae): three new species from warm-temperate waters. *PLoS One*, 12(1), e0168887.
- Liu, Y., Gu, Y., Lou, Y., & Wang, G. (2021). Response mechanisms of domoic acid in *Pseudo-nitzschia* multiseries under copper stress. *Environmental Pollution*, 272, 115578. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115578>
- Long, M., Lelong, A., Bucciarelli, E., Le Grand, F., Hégaret, H., & Soudant, P. (2023). Physiological adaptation of the diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* under copper starvation. *Marine Environmental Research*, 188, 105995. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.105995>
- López-Cortés, D. J., Núñez Vázquez, E. J., Dorantes-Aranda, J. J., Band-Schmidt, C. J., Hernández-Sandoval, F. E., Bustillos-Guzmán, J. J., Leyva-Valencia, I., & Fernández-Herrera, L. J. (2019). The State of Knowledge of Harmful Algal Blooms of *Margalefidinium polykrikoides* (a.k.a. *Cochlodinium polykrikoides*) in Latin America. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00463>
- Lum WM, Sakamoto S, Yuasa K, Takahashi K, Kuwata K, Kodama T, Katayama T, Leaw CP, Lim PT, Takahashi K and Iwataki M. (2023). Comparative effects of temperature and salinity on growth of four harmful *Chattonella* spp. (Raphidophyceae) from tropical Asian waters. *Front. Mar. Sci.* 10:1127871. doi: 10.3389/fmars.2023.1127871
- Maciel-Baltazar, E., & Hernández-Becerril, D. U. (2013). Especies de dinoflagelados atecados (Dinophyta) de la costa de Chiapas, sur del Pacífico mexicano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(2), 245-259.
- Margalef, R. (1981). *Ecología*. Editorial Planeta, Barcelona
- Martínez-Hernández, E. & Hernández-Campos, H.E. (1991). Distribución de Quistes de Dinoflagelados y Acritarcas en Sedimentos Holocénicos del Golfo de California. *Paleontología Mexicana*. UNAM. Instituto de Geología, 57, pp. 120
- Martín-Sánchez M., Martín-Sánchez M.T. & Pinto G. (2013). Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones. *Educ. quím* vol.24 no.1
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. En: S. AVARIA, J. CARRASCO, J. RUTLLANT y E. YÁÑEZ. (eds.). 2004. *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile*. CONA, Chile, Valparaíso. Obtenido de <https://www.divulgameteo.es/uploads/ENSO-antecedentes-descripci%C3%B3n.pdf>
- Mei, W., Pasquero, C. & Primeau, F. (2012). The effect of translation speed upon the intensity of tropical cyclones over the tropical ocean. *Geophysical Research Letters* (39). <https://doi.org/10.1029/2011GL050765>
- Méndez, S.M., Mancera-Pineda, J.E., Dechraoui-Bottein, M.Y., Enevoldsen, H., Hernandez, C.A., Sunese, I., Rodríguez, R.A.; Amaya-Monterrosa, O., Quintanilla, R., Carrillo-Ovalle, H.L., Arbeláez, N., Vargas, M., Chow-Wong, N.F.; Valerio-González, L.R., Mardones, J.I., Pizarro, G., Proenca, L., Sanchez, S., Torres, G., Arencibia, G. & Delgado, G. (2018). Summary report on Harmful Algal Blooms in Latin America and the Caribbean (1956-2018). [Presentación de póster] DOI: 10.13140/RG.2.2.18677.42722
- Modis, C. (s.f.). Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/components.php>
- Morales-Pulido, J. M., & Aké-Castillo, J. A. (2019). *Coscinodiscus* y *Coscinodiscopsis* (Bacillariophyceae) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, golfo de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2790>
- Moreira-González, A. R., Fernandes, L. F., Uchida, H., Uesugi, A., Suzuki, T., Chomérat, N., Bilien, G., & Mafrá, L. L. (2019). Variations in morphology, growth, and toxicity among strains of the *Prorocentrum lima* species complex isolated from Cuba and Brazil. *Journal of Applied Phycology*, 31(1), 519–532. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1587-y>

- Morquecho, L., Góngora-González, D. T., & Okolodkov, Y. B. (2009). Cyst-theca relationships of Gonyaulacales and Peridinales (Dinophyceae) from Bahía Concepción, Gulf of California. *Acta Botánica Mexicana*, 88, 9–29.
- NASA. (2023). Slowdown of the Motion of the Ocean. Obtenido de <https://science.nasa.gov/earth/earth-atmosphere/slowdown-of-the-motion-of-the-ocean/>
- NASA. (s.f.). NASA Salinity: Overview. Obtenido de <https://salinity.oceansciences.org/overview.htm>
- National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA- (2024). Tropical Storm Sara Forecast Discussion. <https://www.nhc.noaa.gov/text/refresh/MIATCDAT4+shtml/080834.shtml>
- National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA- (s.f.). Tides and Water Levels. https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/
- National Ocean Service - National Oceanic and Atmospheric Administration. (15 de enero de 2025). Hypoxia. <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/hypoxia/>
- National Ocean Service - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), (2020). Ocean Acidification Program. [https://oceanacidification.noaa.gov/ocean-acidification-research/ocean-acidification-monitoring/#:~:text=pH%20is%20a%20measure%20of,lower%20pH%20\(more%20acidic\).](https://oceanacidification.noaa.gov/ocean-acidification-research/ocean-acidification-monitoring/#:~:text=pH%20is%20a%20measure%20of,lower%20pH%20(more%20acidic).)
- Nishimura, T., Hariganeya, N., Tawong, W., Sakanari, H., Yamaguchi, H., & Adachi, M. (2016). Quantitative PCR assay for detection and enumeration of ciguatera-causing dinoflagellate *Gambierdiscus* spp. (Gonyaulacales) in coastal areas of Japan. *Harmful Algae*, 52, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.11.018>
- NOAA. (2001). NOAA's Climate Prediction Center. Obtenido de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- NOAA. (2001). Who We Are/Climate Prediction Center. Obtenido de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/information/who_we_are/index.shtml
- NOAA. (2024). The Seasons (Equinoxes and Solstices). Obtenido de https://www.weather.gov/dvn/Climate_Astronomical_Seasons
- NOAA. (s.f.). Coastwatch Program. Obtenido de <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/about/noaa-coastwatch-program.html>
- NPP, S. (s.f.). National Polar-orbiting Partnership. Obtenido de <https://www.eoportal.org/satellite-missions/suomi-npp#suomi-npp-national-polar-orbiting-partnership-mission>
- Ohrel & Register, (2007). Volunteer Estuary Monitoring - A Methods Manual, Second Edition. The Ocean Conservancy.
- Okhapkin, A. G., Genkal, S. I., Vodeneeva, E. L., Sharagina, E. M., & Bondarev, O. O. (2016). To ecology and morphology of *Thalassiosira incerta* Makarova (Bacillariophyta). *Inland Water Biology*, 9(2), 126–134. <https://doi.org/10.1134/S1995082916020139>
- Okolodkov, Y. B., Merino-Virgilio, F. D. C., Aké-Castillo, J. A., Aguilar-Trujillo, A. C., Espinosa-Matías, S., & Herrera-Silveira, J. A. (2014). Seasonal changes in epiphytic dinoflagellate assemblages near the northern coast of the Yucatan Peninsula, Gulf of Mexico. *Acta botánica mexicana*, (107), 121-151.
- Ontoy, D. S. & Padua, R. N. (2014). Measuring species diversity for conservation biology: incorporating social and ecological importance of species. *Biodiversity Journal*, 5 (3): 387–390
- Oppenheimer, M., Glavovic, B., Hinkel, J., Wal, R. v., Magnan, A., Abd-Elgawad, A., . . . Sebesvari, & Z. (2019). Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. En: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009157964.006>
- Pal, R. & Choudhury, A. K. (2014). *An Introduction to Phytoplanktons: Diversity and Ecology*. Springer India.
- Parker, B. B. (2007). Tidal analysis and prediction.
- Paz-Cordón, K. E., Okolodkov, Y. B., Cobo-Gradín, F., Ortiz-Aldana, J. R., Martínez-Dubón, R. M., & Magali, R. (2022). Harmful algal blooms along the central Guatemalan Pacific coast. 19th International Conference on Harmful Algae, La Paz, B.C.S., Mexico. International Society for the Study of Harmful Algal Blooms, 10–15 October 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7032902>
- Paz-Cordón, K.E., Okolodkov, Y.B. & Cobo-Gradín, F. (2024). Harmful blooms caused by dinoflagellates in the Pacific of Guatemala (2019–2022). *Algologia*. 34(1): 3–19. <https://doi.org/10.15407/alg34.01.003>

- Peña-Manjarrez J.L., Gaxiola-Castro G. & Helenes-Escamilla J. (2009). Factores ambientales que influyen en la variabilidad de la producción de quistes de *Lingulodinium polyedrum* y *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae). *Ciencias Marinas*, 35(1): 1–14
- Perillo, G. M. (2017). Cursos de marea. El sistema circulatorio de los humedales costeros.
- Pineda, S. (8 de Junio de 2023). Aumenta oleaje: imágenes muestran cómo el mar se adentró y provocó estragos en playa de Sipacate y experto explica fenómeno. *Prensa Libre*. Obtenido de <https://www.prensalibre.com/ciudades/escuintla/aumenta-oleaje-imagenes-muestran-como-el-mar-se-adentro-y-provoco-estragos-en-playa-de-sipacate-y-expertos-explican-fenomeno-breaking/>
- Piontkovski, S. A., Serikova, I. M., Evstigneev, V. P., Prusova, I. Yu., Zagorodnaya, Y. A., Al-Hashmi, K. A., & Al-Abri, N. M. (2021). Seasonal blooms of the dinoflagellate algae *Noctiluca scintillans*: Regional and global scale aspects. *Regional Studies in Marine Science*, 44, 101771. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101771>
- Plataforma OceanColor Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio -NASA- (s.f.). Datos de Temperatura Superficial del Mar cercanos al tiempo real. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/getting-started/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2005). Proyecto Ciudadanía Ambiental Global. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
- Pugh, D. T. (2004). *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*. Cambridge University Press.
- Quijano-Scheggia, S., Olivos-Ortiz, A., Bustillos-Guzmán, J. J., Garcés, E., Gaviño-Rodríguez, J. H., Galicia-Pérez, M. A., ... & López-Cortés, D. J. (2012). Bloom of *Gymnodinium catenatum* in Bahía Santiago and Bahía Manzanillo, Colima, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 173-186.
- Raji, K., & Padmavati, G. (2014). Dinoflagellate bloom produced by *Protoperdinium divergens* response to ecological parameters and anthropogenic influences in the Junglighat Bay of South Andaman Islands. *Envi. Res*, 36(4), 19-27.
- Rani, M. M. (s.f.). Remote sensing of Ocean and coastal environment overview. *Remote Sensing of Ocean and Coastal Environments*,.
- Raven, J. A.; Gobler, C. J.; Hansen, P. J. (2020). Dynamic CO₂ and pH levels in coastal, estuarine, and inland waters: Theoretical and observed effects on harmful algal blooms. *Harmful Algae*, Volume 91, 101594, ISSN 1568-9883, <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.012>.
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Obtenido de <https://www.r-project.org/>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2022). *Diccionario de la lengua española* (23.a ed.).
- Reis Costa, P., Botelho, M., & Lefebvre, K. (2010). Characterization of paralytic shellfish toxins in seawater and sardines (*Sardina pilchardus*) during blooms of *Gymnodinium catenatum*. *Hydrobiologia*, 655, 89–97. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0406-5>
- REMARCO. (s.f.). Floraciones Algales Nocivas (Fan) Y Toxinas Marinas. Obtenido de Floraciones De Algas Nocivas (Fan): <https://www.env.nm.gov/surface-water-quality/es/habs/#:~:text=Los%20efectos%20sobre%20la%20salud,dolor%20abdominal%2C%20v%C3%B3mitos%20y%20diarrea>
- Reynolds, C. S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press
- Rodriguez, D. C., Etzel, R. A., Hall, S.; de Porras, E., Velasquez, O. H., Tauxe, R. V., Kilbourne, E. M. & Blake, P. A. (1990). Lethal Paralytic Shellfish Poisoning in Guatemala. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 42 (3). pp 267–271
- Rolton, A.; Rhodes, L.; Hutson, K.S.; Biessy, L.; Bui, T.; MacKenzie, L.; Symonds, J.E.; Smith, K.F. (2022). Effects of Harmful Algal Blooms on Fish and Shellfish Species: A Case Study of New Zealand in a Changing Environment. *Toxins*, 14, 341. <https://doi.org/10.3390/toxins14050341>
- Sampurno, J., Vallaes, V., Ardianto, R., & Hanert, E. (2021). Modeling interactions between tides, storm surges, and river discharges in the Kapuas River delta. *Biogeosciences*, Copernicus Publications. <https://doi.org/10.5194/bg-2021-273>
- Sarno, D., Kooistra, W. H. C. F., Medlin, L. K., Percopo, I., & Zingone, A. (2005). Diversity in the Genus *Skeletonema* (bacillariophyceae). II. An Assessment of the Taxonomy of *S. costatum*-Like Species with the Description of Four New Species. *Journal of Phycology*, 41(1), 151–176. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04067.x>
- Savitri, K. P. (2021). VNIR-SWIR infrared (imaging) spectroscopy for geothermal exploration: Current status and future directions. *Geothermics*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102178>

- Servicio de Hidrografía Naval República de Argentina. (s.f.). Tabla de Marea: Glosario de Términos Utilizados. Recuperado el 28/01/2025. https://www.hidro.gov.ar/oceanografia/tmareas/Form_TMareas.asp?op=11.
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (2002). Glosario de marea y corrientes. SHOA Pub. 3013. Recuperado el 28/02/2025 <https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20180105/20180105123055/pub3013.pdf>
- Shaika, N. A., Alhomaidi, E., Sarker, M. M., An Nur, A., Sadat, M. A., Awal, S., Mostafa, G., Hasan, S. J., Mahmud, Y., & Khan, S. (2023). Winter Bloom of Marine Cyanobacterium, *Trichodesmium erythraeum* and Its Relation to Environmental Factors. *Sustainability*, 15(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/su15021311>
- Shaxson, F. & (s.f.). Glosario de términos sobre humedad del suelo En Optimización de la Humedad del Suelo para la producción vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Shumway, S. E., Burkholder, J. M., & Morton, S. L. (Eds.). (2018). Harmful algal blooms: a compendium desk reference. John Wiley & Sons.
- SMOS. (s.f.). Overview - Mission Background. Obtenido de <https://earth.esa.int/eogateway/missions/smos/description>
- SOHA. (1992). Glosario de Marea y Corrientes Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la. Chile.
- Stanford-Solar-Center. (2022). Solstice and Equinox (Suntrack) Season Model. Obtenido de <https://solar-center.stanford.edu/AO/Sun-Track-Model.pdf>
- Stewart, R. (2024). Introduction to Physical Oceanography. Texas A & M University. LibreTexts Project Geosciences. [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Oceanography/Introduction_to_Physical_Oceanography_\(Stewart\)/17:_Coastal_Processes_and_Tides/17.3:_Storm_Surges](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Oceanography/Introduction_to_Physical_Oceanography_(Stewart)/17:_Coastal_Processes_and_Tides/17.3:_Storm_Surges)
- Sunesen, I., Méndez, S. M., Mancera-Pineda, J. E., Bottein, M. Y. D., & Enevoldsen, H. (2021). The Latin America and Caribbean HAB status report based on OBIS and HAEDAT maps and databases. *Harmful Algae*, 102, 101920.
- Stewart, R. H. (2008). Introduction to physical oceanography. . Stewart.
- Sverdrup, K. A. (2019). Investigating oceanography.
- Sverdrup H.U., M.W. Johnson Arid R.H. Fleming (1942) *The Oceans: Their Physics, Chemistry And General Biology*, Prentice-Hall Inc., 1087 pp.
- Sweet, W., Hamlington, B., Kopp, R., Weaver, C., Barnard, P., Bekaert, D., . . . Schmi, L. (2022). Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States: Updated Mean Projections and Extreme Water Level Probabilities Along U.S. Coastlines. NOAA Technical Report .
- Tenorio, C., Álvarez, G., Quijano-Scheggia, S., Perez-Alania, M., Arakaki, N., Araya, M., Álvarez, F., Blanco, J., & Uribe, E. (2021). First Report of Domoic Acid Production from *Pseudo-nitzschia multistriata* in Paracas Bay (Peru). *Toxins*, 13(6), 408. <https://doi.org/10.3390/toxins13060408>
- Thieurmél, B., & Elmarhraoui, A. (2023). suncalc: Compute Sun Position, Sunlight Phases, Moon Position and Lunar Phase. R package version 0.5.1. Obtenido de <https://CRAN.R-project.org/package=suncalc>
- Thome, K. (s.f.). About Terra. Obtenido de <https://terra.nasa.gov/about>
- Tominack, S. A., Coffey, K. Z., Yoskowitz, D., Sutton, G., & Wetz, M. S. (2020). An assessment of trends in the frequency and duration of *Karenia brevis* red tide blooms on the South Texas coast (western Gulf of Mexico). *PLOS ONE*, 15(9), e0239309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239309>
- Trenberth, K. E. (2001). Indices of el Niño evolution. Obtenido de *Journal of climate*, 14.
- Turki, I., M., N., L., & B., & S. (2020). Effects of Global Climate Oscillations on Intermonthly to Interannual Variability of Sea levels along the English Channel Coasts. *Francia: NW France Oceanología*.
- Universidad de Granada. (s.f.). Productores primarios. Obtenido de <https://www.ugr.es/~fmunoz/html/cadenatrof.htm>.
- Universidad Nacional de Cuyo. (2014). Ecología de comunidades y ecosistemas. Universidad Nacional de Cuyo
- VIIRS. (s.f.). Overview. Obtenido de <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/s-npp-nasa-viirs-overview/>
- VIMS, V. I. (2024). Processes Affecting Sea-Level Trends. Obtenido de <https://www.vims.edu/research/products/slrp/processes/>

- Vinogradov, S. &. (2010). Annual cycle in coastal sea level from tide gauges and altimetry. *Journal of Geophysical Research Oceans*.
- Von Storch, H., & Woth, K. (2008). Storm surges: perspectives and options. *Sustainability Science*, 3, 33-43.
- Walsham, P. A. (2022). Determination of chlorophyll in seawater.
- Warrick, R. &. (1990). Chapter 9: Sea Level Rise. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA: IPCC Scientific Assessment on Climate Change. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_chapter_09.pdf
- Watch, N. C. (s.f.). Methodology, Product Description, and Data Availability of CRW. Obtenido de <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/methodology.php>
- Widlansky, M., Long, X., & Schloesser, F. (2020). Increase in sea level variability with ocean warming associated with the nonlinear thermal expansion of seawater. *Communications Earth & Environment*. doi:<https://doi.org/10.1038/s43247-020-0008-8>.
- WMO. (1992). Vocabulario Meteorológico Internacional. World Meteorological Organization.
- WMO. (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima. World Meteorological Organization.
- Wu, X., Yang, Y., Yang, Y., Zhong, P., & Xu, N. (2022). Toxic Characteristics and Action Mode of the Mixotrophic Dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* on Co-Occurring Phytoplankton and Zooplankton. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010404>
- Yu, J. T. (2007). Changes of water temperature and harmful algal bloom in the Daya Bay in the northern South China Sea.
- Yun, S.-M., & Lee, J.-H. (2011). Morphology and distribution of some marine diatoms, family Rhizosoleniaceae, genus *Proboscia*, *Neocalyptrella*, *Pseudosolenia*, *Guinardia*, and *Dactyliosolen* in Korean coastal waters. *ALGAE*, 26(4), 299–315. <https://doi.org/10.4490/algae.2011.26.4.299>
- Zahedi Dizaji S., Attaran Fariman G. & MahdiZahedi M. (2021). Pigment content analysis in two HAB forming dinoflagellate species during the growth period. *Journal of Applied Phycology*, <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02331-w>
- Zhang, S., Zheng, T., Lundholm, N., Huang, X., Jiang, X., Li, A., & Li, Y. (2021). Chemical and morphological defenses of *Pseudo-nitzschia multiseries* in response to zooplankton grazing. *Harmful Algae*, 104, 102033. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102033>
- Zhang, S., Zheng, T., Zhou, M., Niu, B., & Li, Y. (2024). Exposure to the mixotrophic dinoflagellate *Lepidodinium* sp. And its cues increase toxin production of *Pseudo-nitzschia multiseries*. *Science of The Total Environment*, 914, 169812. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169812>
- Zheng, Z., Fu, Y., Liu, K., Xiao, R., Wang, X., Shi, H. (2018). Three-stage vertical distribution of seawater conductivity. *Nature Scientific Reports*, 8 (9916). DOI:10.1038/s41598-018-27931-y



7a. avenida, 14-57, zona 13, Guatemala
PBX: (502) 2310-5000
www.insivumeh.gob.gt



@Insivumehgt