



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA
OCEÁNICA ASOCIADA A LA VARIABILIDAD TERMAL
DURANTE EL PERIODO 2007 AL 2017 EN EL ECUADOR.**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR

MONTAÑO QUINTERO JAIR ABDEL

ASESOR

MSc. OTONIEL CESAR PALACIOS CELIN

ESMERALDAS – OCTUBRE 2018

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis de grado aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presidente tribunal de Graduación

Lector 1

Lector 2

Coordinador Carrera de Gestión Ambiental
PhD. Jorge Velazco Vargas

Director de Tesis
MsC. Othoniel Palacios Celin

Esmeraldas, _____ de _____, 2018

Autoría

Yo, JAIR ABDEL MONTAÑO QUINTERO, declaro que la presente investigación enmarcada en el actual trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal. En virtud que el contenido de esta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

Jair Abdel Montaña Quintero

C.I. 0850274168

INDICE

Resumen	6
I. Presentación del tema de investigación	1
Planteamiento del problema.	2
Justificación.....	2
Objetivos.	2
II. Marco Teorico	3
Definiciones conceptuales.....	3
Temperatura superficial del mar	3
Distribución Superficial de la Temperatura	3
Productividad Primaria Oceánica.....	4
Variabilidad termal estacional.....	5
La variabilidad termal interanual.	5
Teledetección y satélites oceanográficos	6
Estudios relacionados.....	7
III. Materiales y Métodos	7
Área de Estudio	7
Características del área de Estudio.....	8
Metodología	10
Recolección de datos.....	10
Procesamiento de Imagen.....	10
Generación de Imágenes	11
Análisis.....	11
Análisis Estadístico.	12
Variabilidad Mensual de TSM, durante el 2007 – 2017	14
Análisis estacional de TSM, durante el 2007 – 2017	15
Análisis mensual de la clorofila a, del 2007 AL 2017	19
Análisis estacional de la Clorofila a, del 2007 al 2017:	20
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
IV. Discusión.....	27
Conclusiones	30
Bibliografía	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

✚ Ilustración 1. Fuente Kessler Variación estacional de la temperatura superficial del mar.....	4
✚ Ilustración 2. Distribución y desplazamiento de corrientes frías y calida a nivel mundial.	4
✚ Ilustración 3. Área de estudio, el área que abarcan las líneas paralelas dentro del mapa.	8
✚ Ilustración 4. Corrientes superficiales que afectan al Ecuador.	9
✚ Ilustración 5. Representa los meses de Enero a Diciembre, con los números del 1 al 12 en su respectiva secuencia, la escala hace referencia a los grados Celsius, exacta mente elevados a $\times 1e1$ que equivale a 10.	14
✚ Ilustración 6. Diciembre, Enero y Febrero; (2) Marzo, Abril y Mayo; (3) Junio, Julio y Agosto; (4) Septiembre, Octubre y Noviembre del 2007 al 2017, la escala hace referencia a los grados Celsius, exactamente elevados a $\times 1e1$ que equivale a 10.	15
✚ Ilustración 7. Representa los meses de Enero a Diciembre, con los números del 1 al 12 en su respectiva secuencia, la escala hace referencia a la medida de mg/m^3 , exactamente elevados a $\times 1e-2$ que equivale a -100.	19
✚ Ilustración 8, (1) Diciembre, Enero y Febrero; (2) Marzo, Abril y Mayo; (3) Junio, Julio y Agosto; (4) Septiembre, Octubre y Noviembre del 2007 al 2017 la escala hace referencia a la medida de mg/m^3 , exactamente elevados a $\times 1e-2$ que equivale a -100.	20

ÍNDICE DE GRÁFICOS

✚ Gráfico 1. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Diciembre, Enero y Febrero.	17
✚ Gráfico 2. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Marzo, Abril y Mayo.....	17
✚ Gráfico 3. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Junio, Julio y Agosto.....	18
✚ Gráfico 4. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre.....	18
✚ Gráfico 5 Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Diciembre, Enero, y Febrero.....	22
✚ Gráfico 6. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Marzo, Abril y Mayo.....	22
✚ Gráfico 7. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Junio, Julio, y Agosto.....	23
✚ Gráfico 8. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Septiembre, Octubre, y Noviembre.....	23

ÍNDICE DE ECUACIONES.

✚ Ecuación 1. El Coeficiente de Correlación de Pearson.....	12
✚ Ecuación 2. Regresión lineal:	12

Resumen

El Pacífico Ecuatorial Oriental por su ubicación cumple un rol fundamental en la variabilidad climática interanual y estacional a nivel regional y local. Uno de los factores que definen los cambios desde el punto de vista biológico y químico en el océano, corresponde a la productividad primaria. Existe una interrelación entre las diferentes variables tanto físicas, biológicas, y químicas en el océano que definen el comportamiento del ecosistema marino, una de las cuales corresponde a la relación que existe entre productividad primaria a través de su principal indicador que es la clorofila -a, con la temperatura superficial del mar. El objetivo principal del presente trabajo es determinar el comportamiento de la variabilidad termal frente a las costas del Ecuador, y su influencia sobre la productividad primaria en la región, a partir de datos satelitales, durante el periodo de 2007 al 2017. Uno de los principales resultados demuestra que la temperatura promedio de los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, en el año del 2015 obtuvo un registro de valores más elevados, superiores a 26°C igual que la productividad primaria.

Palabras clave:

Variabilidad termal, Productividad Primaria, Clorofila -a, Temperatura superficial del mar, ciclo Estacional, Variabilidad Interanual.

Abstract

The Eastern Equatorial Pacific, due to its location, plays a fundamental role in inter-annual and seasonal climate variability at a regional level, one of the factors that define the changes from the biological and chemical point of view in the ocean corresponds to primary productivity. There is an interrelation between the physical, biological and chemical variables in the ocean that define the behavior of the marine ecosystem. The relation between primary productivity and sea surface temperature, therefore, the main objective of this work was to determine the behavior of thermal variability off the coast of Ecuador, and its influence on productivity in the region, based on satellite data, during the period from 2007 to 2017, one of the main results in which the average temperature of the months of September , October and November, which are in the year of 2015, obtain a higher index, the temperature reached at higher levels than the other years, reaching more than 26 ° C, as well as primary productivity, this fell to a lot in This time unlike the other years, In conclusion this research work could serve as a baseline pair one in disease related to many more environmental factors.

Keywords:

Climate Variability, Primary Productivity, Chlorophyll A, Temperature, Seasonal Variability, Interannual Variability.

I. INTRODUCCIÓN

Presentación del tema de investigación

La variabilidad climática corresponde al cambio o variación de las condiciones naturales dentro de un período determinado, dentro del cual se encuentra la variabilidad diurna, estacional, interanual, decadal, y así subsecuentemente.

El océano, a lo largo del Pacífico Tropical Oriental, mantiene características muy particulares en cuanto al ecosistema y hábitat marino, los cuales se encuentran bajo la influencia de variables oceanográficas, tanto físicas, biológicas, y químicas, como por ejemplo la temperatura, la salinidad, la productividad primaria, siendo esta última establecida principalmente por los nutrientes, oxígeno disuelto, y la clorofila-A (1).

La necesidad de investigar los cambios en el océano a nivel superficial y subsuperficial, han llevado a la búsqueda del mejoramiento de la cobertura tanto espacial como temporal de la información, la cual es cubierta en forma primaria a través de los datos observacionales a partir de los programas nacionales, regionales, y mundiales de observación del océano. A nivel nacional se ha llevado a cabo el monitoreo a través de los registros de los cruceros nacionales en plataformas de investigación tanto del INOCAR como el INP. A nivel global existen programas de monitoreo a través de las boyas TAO de la NOAA. No obstante, existen áreas no cubiertas, y procesos a nivel de mesoescala que no pueden ser discriminados por los datos observacionales.

En la actualidad, gracias a los avances tecnológicos existen herramientas, que permiten realizar un análisis adecuado, a través de la teledetección aplicada al océano, por medio de las imágenes y datos que generan los distintos satélites NOAA, TERRA, AQUA, SENTINEL, entre otros, que aportan al análisis de las principales variables, a nivel superficial del océano. Los cuales contribuyen al estudio de los cambios a nivel espacial, y temporal en períodos y escalas necesarias para la comprensión de la variabilidad climática.

La variabilidad termal está asociada a los procesos océano atmosféricos, cuyos cambios ocurren a nivel espacial y temporal. La temperatura superficial es una variable que permite diferenciar de forma significativa la fluctuación normal del clima incluyendo los factores que lo inducen.

Planteamiento del problema.

El Pacífico Tropical Oriental, posee una relevancia para la comprensión y estudio de procesos océano atmosférico a escala global siendo uno de ellos la determinación de la productividad primaria, la cual se encuentra estrechamente relacionada con la biomasa en el océano.

Con estos fundamentos, se considera identificar de qué manera influye la variabilidad termal en la productividad primaria oceánica en el Ecuador, mediante el análisis de cómo esta ha variado en este periodo y cuál ha sido su comportamiento en el frente ecuatorial. Además de la identificación de la normal de la productividad primaria oceánica y la relación que tiene con la variabilidad climática.

Justificación

La importancia de este estudio radica en proporcionar información pertinente de cómo la variabilidad climática ejerce su influencia en la productividad primaria, con la finalidad de generar una línea base para futuros estudios ambientales y oceanográficos, puesto que permitirá comprender la influencia de la variabilidad climática en la productividad primaria.

Objetivos.

Determinar el comportamiento de la variabilidad termal frente a las costas del Ecuador, y su influencia sobre la productividad primaria en la región, a partir de datos satelitales, durante el periodo de 2007 al 2017.

Y de forma específica:

- Establecer los factores de la variabilidad termal estacional en el océano frente a la costa del Ecuador y su comportamiento durante el periodo 2007 al 2017.
- Determinar el comportamiento típico anual y la variabilidad estacional de la temperatura su frente a la costa del Ecuador a partir de información satelital.
- Determinar la relación existente entre la variabilidad climática y la productividad primaria registrada durante la última década, y su correspondiente influencia.

II. MARCO TEORICO

Definiciones conceptuales

Temperatura superficial del mar

Es la medida de la cantidad de calor que tiene un cuerpo, es alta cuando existe una mayor cantidad de energía o de calor contenido, (1). En los océanos la temperatura varía entre -1.7°C (regiones polares) y un máximo de 30°C en aguas tropicales, (2). La variación de la temperatura depende de la cantidad de radiación solar recibida, que es llamada Insolación, considerando la importancia de este parámetro desde el punto de vista de la propagación del sonido en el agua de mar, se procederá a continuación a explicar su estructura tanto horizontal como vertical.

Distribución Superficial de la Temperatura

La intensidad de insolación o radiación solar recibida en la Tierra depende principalmente del ángulo al cual se reciben los rayos del sol, y la distribución de la temperatura sobre la Tierra varía con la latitud y la estación del año, debido al ángulo de inclinación de la Tierra, 23.5°C), (4). En latitudes medias la mayor insolación ocurre en los equinoccios de Marzo y Septiembre, en las regiones ecuatoriales la insolación permanece alta durante el resto del año, (4,5). La Figura II-1 demuestra la variación de la temperatura entre los meses de enero a marzo y de julio a septiembre.

Adicionalmente a la variación espacial de la cantidad de calor recibida procedente del sol, el cambio de la temperatura superficial del mar depende de la circulación oceánica, la cual es forzada por el intercambio de calor entre la superficie del mar y la columna de agua, lo cual permite la circulación de corrientes marinas, explicando el apareamiento de ciertas corrientes frías en determinada época del año en ciertos lugares, como frente al Ecuador con el advenimiento de la corriente fría de Humboldt proveniente de las región polar antártica ver Figura II-2 durante el segundo semestre del año.

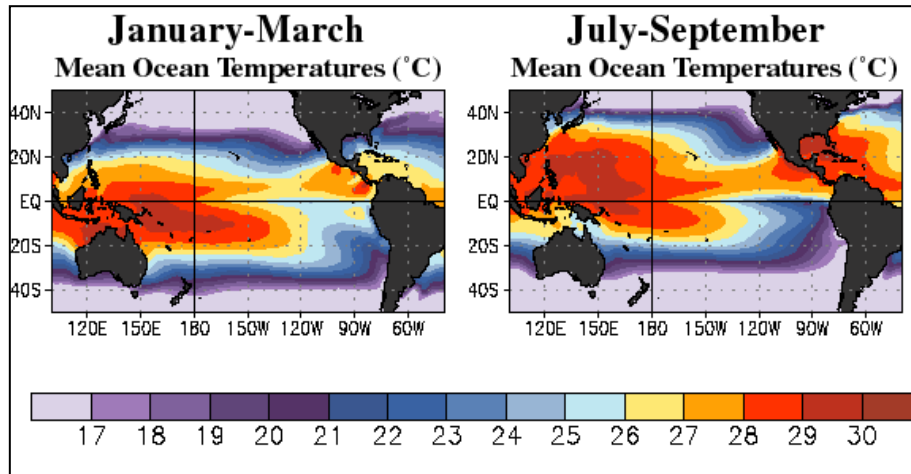


Ilustración 1. Fuente Kessler Variación estacional de la temperatura superficial del mar.

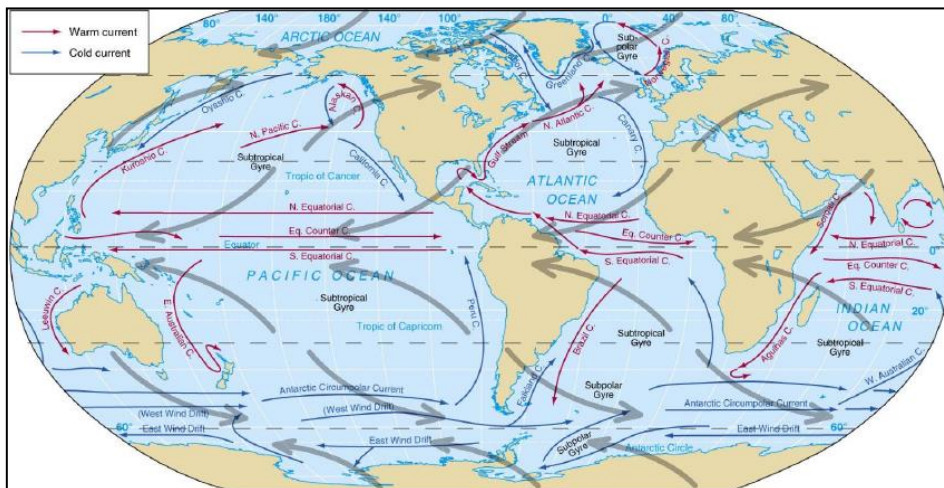


Ilustración 2. Distribución y desplazamiento de corrientes frías y calidas a nivel mundial.

Productividad Primaria Oceánica

La productividad primaria oceánica se refiere a la tasa fotosintética de fijación de carbono en la zona fótica de los océanos. En la presencia de luz y nutrientes –nitrógeno y fósforo, principalmente–, los organismos contenedores de clorofila transforman el carbón disuelto inorgánico en moléculas orgánicas, produciendo materia orgánica (6). La productividad primaria del fitoplancton marino es un factor importante en el sistema climático ya que está involucrado en la partición del dióxido de carbono entre el océano y la atmósfera (3).

Existen diversos mecanismos oceánicos que pueden demostrar de un cambio en la productividad primaria, incluyendo el estudio de varios factores entre ellos la circulación

oceánica, salinidad y temperatura del océano (6). Estos factores podrían definir características ecológicas propias de un área costera, incluyendo el movimiento de las poblaciones de seres vivos en cuanto a la cantidad materia orgánica y la época que esta aparece (5).

Variabilidad Termal Estacional.

En el área oceánica del Ecuador, el comportamiento climático se da a lo largo del año debido al cambio las variables oceanográficas (temperatura, corrientes, salinidad, entre otros) y atmosféricos (vientos superficiales, flujo de calor, calor latente, y calor sensible). La temperatura es uno de los indicadores más prominentes que tiene el océano, puesto que esta variable contribuye a determinar el ciclo estacional a lo largo de un año típico, es decir, la etapa húmeda, seca y de transición, que son producto de la influencia que ejerce la circulación oceánica en la Zona Ecuatorial, a través de la corriente de El Niño, corriente Sur Ecuatorial, orriente de Cromwell, y los sistemas oceánicos como el Frente ecuatorial y atmosféricos como los vientos alisios y la zona de convergencia intertropical (6).

Según el INOCAR, la variabilidad termal estacional es un proceso recurrente, que también presenta alteraciones debido al arribo del Evento del niño/a y la presencia de las ondas Kelvin provenientes del Pacífico Occidental a las costas del Ecuador en forma permanente.

La primera etapa, corresponde al calentamiento de las aguas producto de la influencia de la corriente de El Niño, que desciende desde Panamá hasta el área norte frente a las costas del Ecuador, para el equilibrio de los procesos primarios dentro del ecosistema marino (7).

En los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, viene la etapa de descenso en los registros de la temperatura superficial del mar. Esta fase es producida por la influencia de la corriente de Humboldt que es arrastrada a las costas del Ecuador por los vientos alisios (4).

La variabilidad termal interanual.

El principal indicador corresponde al evento El Niño Oscilación del Sur, este evento es aperiódico y recurrente, afecta a las costas ecuatorianas y peruanas con elevados niveles de precipitación, cambios en la temperatura superficial del mar, nivel del mar, circulación de corrientes,, lo cual afecta a las especies marinas y microorganismos en especial a la productividad primaria (8).

Teledetección y Satélites Oceanográficos.

La teledetección, es una disciplina científica, que integra un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, análisis e interpretación de eventos en el océano, la atmósfera, y la tierra (9).

Para el empleo de Información Satelital, existen sensores remotos que cumplen con una función muy importante en los aspectos geográficos y espaciales del desarrollo y gestión de actividades marinas (9). Los sensores satelitales, aéreos, terrestres y submarinos, adquieren gran cantidad de datos relacionados especialmente con la temperatura, velocidad de las corrientes, concentración de clorofilas y el uso de aguas y tierras (10).

En sus inicios, los satélites que tuvieron más importancia en cuanto al ámbito oceanográfico fueron los siguientes: TOPEX/POSEIDON, lanzado en 1992 en Estados Unidos; NOAA 7, en 1981 fue al espacio gracias al mismo gobierno; SASTAR, lanzado en 1997 por la NASA; además está el JASON-1; ENVISAT; el SMOS, LANDSAT, SPOT y el AQUARIUS (11).

Con los datos de todos estos satélites, era necesaria una medición precisa y de gran resolución de la temperatura del mar, la serie de estos datos le dio paso a MODIS, AVHRR y VIIRS, que son sensores multidisciplinarios que proporcionan información sobre la tierra, océano y atmosfera. Esto permitió la adquisición de imágenes de alta resolución en el infrarrojo, mediante el uso de radiómetros multiespectrales, lo que dio paso a estudiar la temperatura superficial del océano y otros parámetros, teniendo una mayor cobertura espacial. MODIS a diferencia de AVHRR, proporciona una mayor resolución espacial y una mayor resolución espectral, lo que permite un análisis más detallado y captación de los procesos que ocurren a una escala local.

Los mapas oceanográficos que comparan distintas variables, son una realidad en la actualidad, su concepción tiene como intención observar a nivel multitemporal las fluctuaciones de las variables del océano, y generar información útil para la toma de decisiones, especialmente a los profesionales que trabajan con acuicultura y pesca a gran escala (7).

Estudios relacionados

El Instituto Nacional de Pesca, describe al incremento en las tendencias e inclusive en los comportamientos anómalos extremos, a nivel de océano se considerado como consecuencia de la variabilidad climática, o en estudios más amplios incluirse dentro del cambio climático (13).

“La variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada al ENOS”, indica que para la región de la costa que al ocurrir un evento de EL Niño o de La Niña, la temperatura superficial del mar aumenta por encima de los promedios, alterando la normalidad de las condiciones locales, a nivel estacional. (14).

III. Materiales y Métodos

Área de Estudio

Para el desarrollo del presente estudio, se definió el área oceánica, y marino costera frente al Ecuador continental, la cual permite lograr una cobertura de los procesos y cambios que ocurren a nivel espacial e interanual, de los parámetros oceanográficos en estudio.

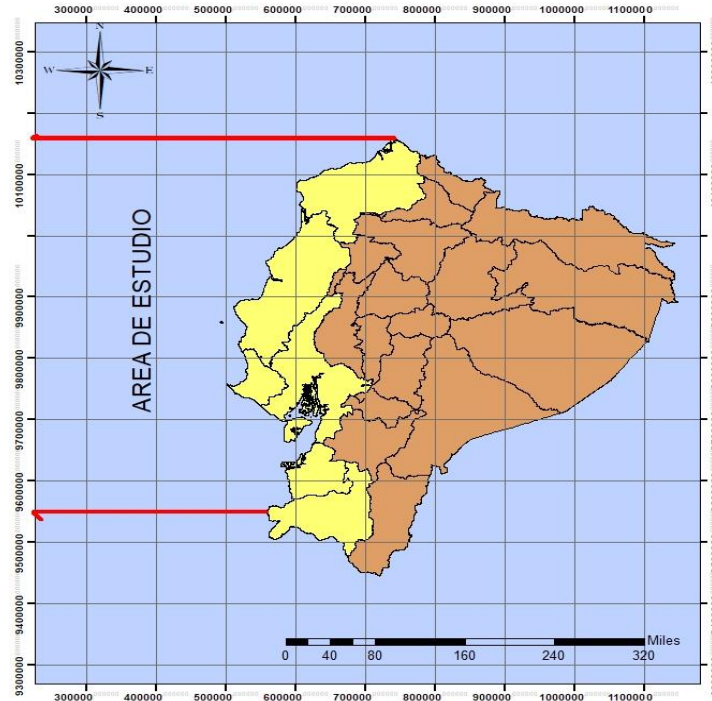


Ilustración 3. Área de estudio, el área que abarcan las líneas paralelas dentro del mapa.

Características del área de Estudio

El Pacífico Ecuatorial Oriental, presenta un sistema de corrientes superficiales y subsuperficiales, las cuales presentan características definidas en cuanto a su estructura, conformación y variabilidad. Existen dos corrientes relacionadas directamente con el cambio de masas de agua en aguas frente a las costas del Ecuador continental que son la corriente de El Niño y la Corriente de Humboldt. Las corrientes que ejercen, su influencia en aguas frente al Ecuador, que son la Corriente Ecuatorial del Norte, Contracorriente Ecuatorial del Norte, Corriente ecuatorial, Corriente Ecuatorial del Sur, y Subcorriente Ecuatorial.

La corriente de El Niño, nombre dado en alusión al Niño Jesús, debido a que normalmente esta corriente comienza a manifestarse en las proximidades de la Navidad. Se caracteriza por ser de aguas cálidas y aparece entre los meses de diciembre a abril. Esta corriente provoca el aumento de la Temperatura Superficial del Mar, y sus meses de mayor intensidad son de febrero a marzo. Posee un flujo estrecho costero de norte a sur y

proviene de la Cuenca de Panamá, baja hasta las costas ecuatorianas y peruanas calentando el agua del mar. (INOCAR, 2003).

La corriente de Humboldt, conocida también como la Corriente del Perú, es caracterizada por sus aguas frías provenientes del sur del continente, se presenta entre los meses de agosto a noviembre, con el arribo de esta corriente al sur del Ecuador se produce una disminución en la Temperatura Superficial y la del aire.

Frente a las costas del Ecuador se encuentran definidas dos épocas de año dentro de las cuales varían las condiciones océano-atmosféricas de nuestra área. Durante los primeros meses del año, (enero hasta mitad de mayo) se desarrolla la estación húmeda caracterizada por el descenso latitudinal de aguas cálidas provenientes de Panamá. De acuerdo a lo anterior, se tiene que en la zona norte del país la temperatura del agua de mar oscila entre 25 y 30°C en esa época y la salinidad es menor a 34 ups, en la región sur la temperatura varía en un rango de 18 a 24°C y salinidad es de aproximadamente 35 ups; el límite de ambas regiones se conoce como “frente ecuatorial”. Las variaciones de la posición e intensidad del frente ecuatorial son estacionales.

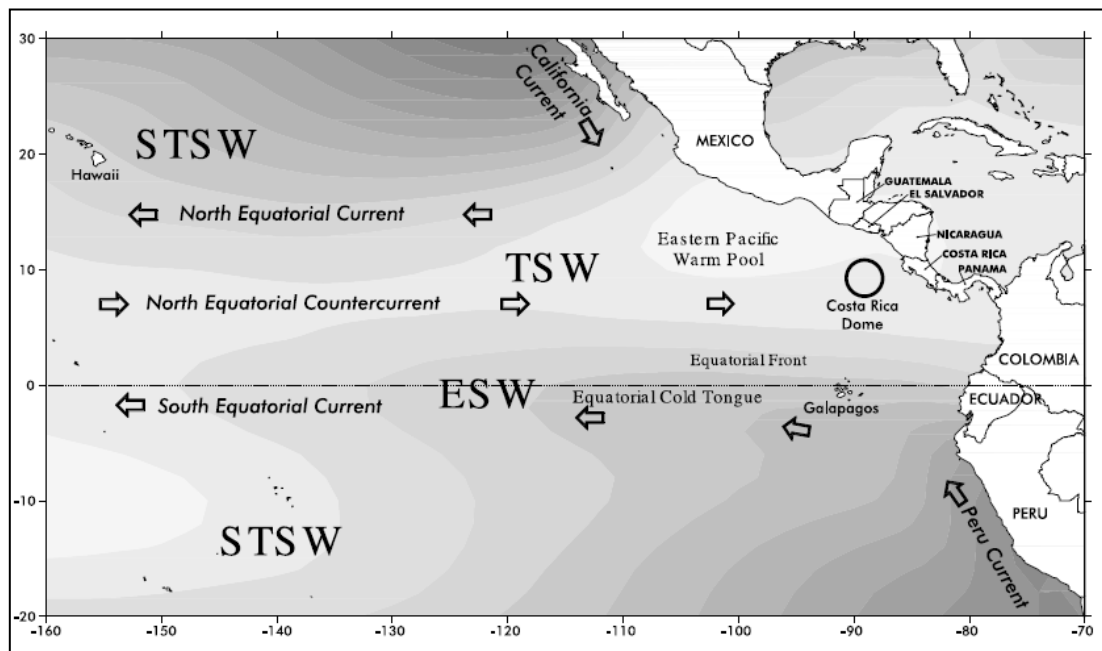


Ilustración 4. Corrientes superficiales que afectan al Ecuador.

De igual forma, entre los meses de agosto hasta septiembre se presenta la estación seca caracterizada por el arribo de masas de agua frías provenientes del sur de continente a

través de la influencia de la corriente de Humboldt, durante la estación húmeda el frente ecuatorial desaparece de las aguas ecuatorianas.

Metodología

Recolección de datos

Las variables de estudio corresponden a la temperatura superficial del mar, y la clorofila-A, los cuales son descargados de fuentes abiertas, de la base de datos de los sensores AVHRR de la NOAA, y el sensor MODIS, de la NASA, los cuales tienen una resolución espacial y radiométrica adecuada para la discriminación de los cambios en las variables de estudio, a escala espacial y temporal.

Procesamiento de Imagen

Luego sigue la fase de preparación en la cual se instala el pack de herramientas en la versión de Linux, es necesario considerar que estas herramientas de análisis operan mediante plataforma Linux, plataforma Ubuntu, para ellos se realizaron inicialmente las configuraciones, en el hardware y software, e incorporando las librerías, y los compiladores de lenguaje de programación Fortran (Gfortran77), tomando en cuenta las aplicaciones de Ferret (v7.4), Matlab (R2017b) y CDO (Versión 1.9.4), las cuales permitirán establecer la variabilidad interanual y estacional, estas aplicaciones permiten procesar grandes volúmenes de datos, para el procesamiento, se trabajó con los comandos establecidos por el programa, el tiempo de procesamiento dependió de la resolución horizontal y temporal de los datos, a fin de verificar se emplearan con los datos directamente, o si es necesario el método de interpolación y reducción de la escala temporal. Para el presente estudio se ajustó la resolución espacial y temporal mediante la aplicación de métodos de interpolación, y aplicación de filtros.

Una vez realizado el procesamiento de los datos, se realizarán los cálculos para la determinación de la variabilidad estacional, tomando en cuenta los periodos de enero a abril, mayo a julio, agosto a noviembre. Se aplicará una validación inicial entre datos observacionales y de satélite a fin de determinar el grado de certeza de los datos de percepción remota a evaluar en relación a las mediciones in situ a través de datos de las boyas TAO de la NOAA (7).

Generación de Imágenes

La generación de imágenes, está basada en el uso de herramientas opensource, y el desarrollo de programas computacionales para la interpolación adecuada de los datos, y el correspondiente filtro, las aplicaciones sirven como herramientas para generar estos cálculos, ellas se encargan de validar y eliminar datos que interfieran con la calidad de imagen. Estas herramientas se encargan de realizar los filtros de información por estación, año, mes, día, como el usuario lo desee, con la facilidad de generar la imagen de acuerdo a la temporalidad del área de estudio.

La calidad de la imagen dependerá de la aplicación de filtros u otros elementos que permitan una legibilidad para para el lector. Cabe mencionar que el ambiente no es del todo perfecto para los satélites, muchas veces existe gran cantidad de nubosidad, por ende, el satélite que se utiliza en este tipo de investigaciones debe ser interpolar, este obtiene 2 imágenes del en caso de que exista demasiada nubosidad y disminuir el margen de error.

Análisis

Para el análisis de la variabilidad climática estacional, se realizará un procesamiento mensual de temperatura superficial del mar del año 2007 al 2017, esto incluye un análisis trimestral para ver como varia la temperatura en esos 10 años.

Para la variabilidad interanual, se realizar un análisis estadístico del promedio de temperatura de cada año durante cada trimestre del año, para determinar, por medio de la temperatura, la influencia del evento de El Niño. La unidad de medida de temperatura será en grados Celsius.

Finalmente, para la productividad primaria, se realizará un análisis mensual y trimestral de la clorofila-a, para determinar cómo esta ha variado en los últimos años. Asimismo, se relacionarán estos datos para poder determinar cómo influye una variable sobre la otra. Para la clorofila a se utilizará Mg/m³ como medida de esta variable.

Análisis Estadístico.

Se determinará el comportamiento de las variables cuantitativas temperatura superficial del mar y clorofila-a, a fin de correlacionar y determinar tendencias, para ello se utilizarán medidas de asociación lineal como el Coeficiente de correlación de Pearson. EL empleo de la correlación se refiere al grado de asociación entre dos variables (x_1 , x_2) o bien (x , y) .

El Coeficiente de Correlación de Pearson (r): Mide el grado de Asociación Lineal entre dos variables Cuantitativas. Si r es positivo: la asociación entre x e y es directamente proporcional, es decir que cuando x aumenta y también aumenta; y viceversa. Si $r=1$: la asociación lineal es perfecta. Si r es negativo: la asociación entre x e y es inversamente proporcional, es decir que cuando x aumenta y disminuye; y viceversa. Si $r=-1$: la asociación lineal es perfecta. Si r es cero: no existe asociación entre x e y .

Ecuación 1. El Coeficiente de Correlación de Pearson

$$r = \frac{COV(x, y)}{S_x S_y} \rightarrow r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - nxy}{(n-1)S_x S_y} \quad -1 \leq r \leq 1$$

Asimismo, se utilizarán métodos de regresión lineal para determinar un modelo de comportamiento de las variables. Cuando existen dos o más variables que pueden estar relacionadas entre sí, interesa conocer si se relacionan (correlación), cómo se relacionan (métrica), y como en base a este modelo se puede pronosticar el efecto de una variable respecto a la otra.

La regresión lineal será utilizada para determinar, la relación que existe entre la variabilidad termal, y la productividad primaria, a esto se le aplicara el método de correlación de Pearson, que mide la asociación lineal entre 2 variables y en la prueba puede determinar si son independientes o una depende de la otra. El modelo de regresión lineal es un modelo matemático utilizado para predecir el efecto de una variable sobre otra, ambas cuantitativas. La relación se puede representar gráficamente mediante una línea recta. El modelo de regresión completo es:

Ecuación 2. Regresión lineal:

Y es el valor de la variable dependiente
A o alfa es el intercepto, donde cruza el eje Y
B o beta es la pendiente o inclinación

$$y = \alpha + \beta x + e$$

La variable X o independiente o predictora (está bajo el control del investigador), la variable Y es la variable dependiente o predicha. Los valores de X son fijos (seleccionados previamente por el investigador). Para cada X, existe un conjunto de valores de Y, que deben seguir una distribución normal (es decir, los valores de Y deben ser normales), para aplicar con validez los procedimientos de inferencia y/o estimación.

Finalmente, se determinará el error medio cuadrático, o RMSE, que mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. Es decir, compara un valor predicho y un valor observado o conocido. En este caso el error de las estimaciones de temperatura superficial del mar en relación a la clorofila-A.

Resultados

Variabilidad Termal

Los presentes resultados estan destinados al análisis TSM, temperatura superficial del mar.

Variabilidad Mensual de TSM, durante el 2007 – 2017

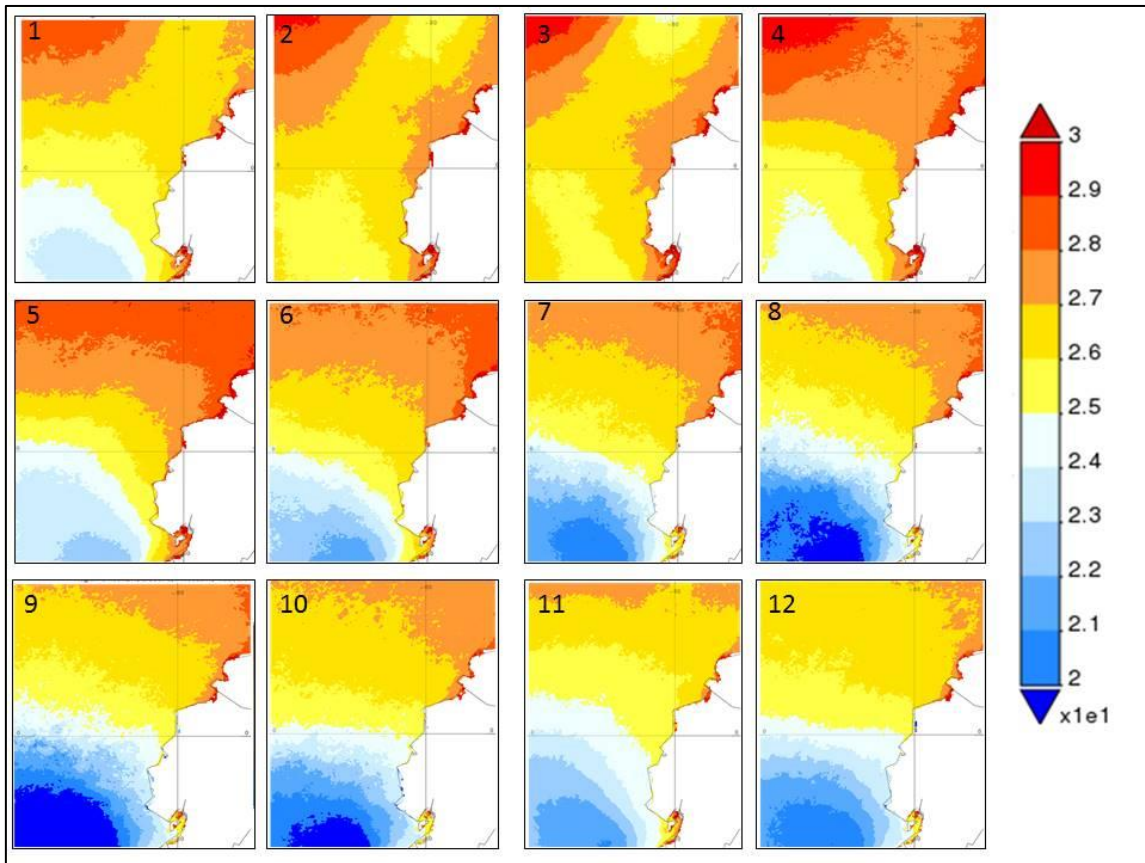


Ilustración 5. Representa los meses de Enero a Diciembre, con los números del 1 al 12 en su respectiva secuencia (de izquierda a derecha y de arriba abajo), la escala hace referencia a los grados Celsius, exacta mente elevados a $\times 1e1$ que equivale a 10. Se evidencia que en los primeros meses del año, la TSM varía entre 26 y 27° C, principalmente frente a la costa de Esmeraldas, a medida que pasan los meses hasta el mes de abril tiene un comportamiento típico, y este varía a partir de mes de mayo cuando se ve que existe un declive de temperatura, o una especie de transición de la temperatura durante mayo hasta agosto que la temperatura superficial ha disminuido por la influencia de la corriente de Humboldt, y esta permanece así hasta inicios de noviembre, llegando a diciembre donde se repite el mismo proceso.

Análisis estacional de TSM, durante el 2007 – 2017

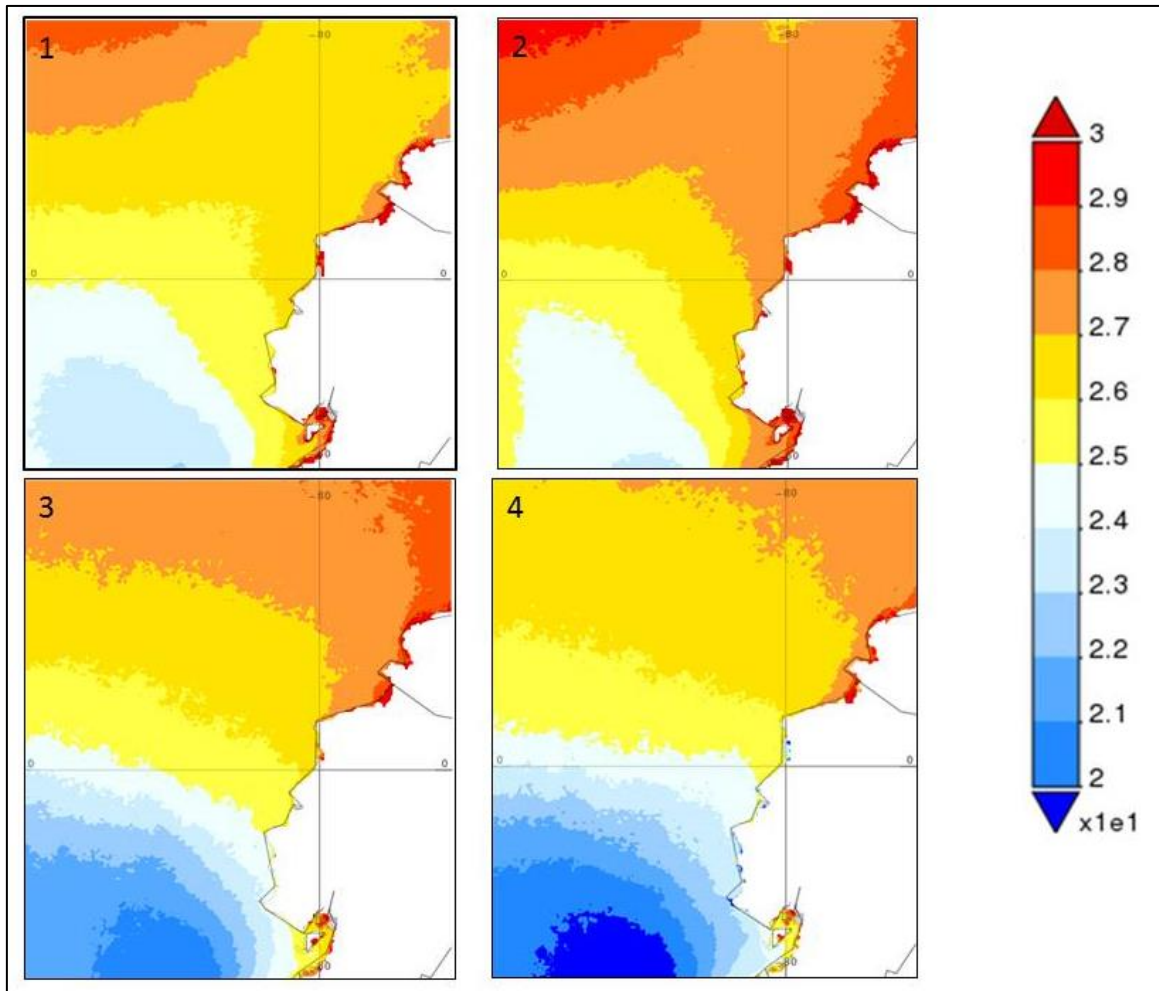


Ilustración 6. Diciembre, Enero y Febrero; (2) Marzo, Abril y Mayo; (3) Junio, Julio y Agosto; (4) Septiembre, Octubre y Noviembre del 2007 al 2017, la escala hace referencia a los grados Celsius, exactamente elevados a $\times 10^1$ que equivale a 10.

Los resultados del análisis trimestral de la temperatura superficial del mar, indican que el trimestre donde existe mayor temperatura, es en Marzo, Abril y Mayo, mientras que la temperatura disminuye el último trimestre que es Septiembre, Octubre y Noviembre.

Se puede observar, que el menor registro de temperatura superficial del mar llega a menos de 20°C a nivel de la Isla de la Plata y a nivel de esmeraldas, en el trimestre más alto de temperatura superficial del océano puede alcanzar hasta más de 28°C .

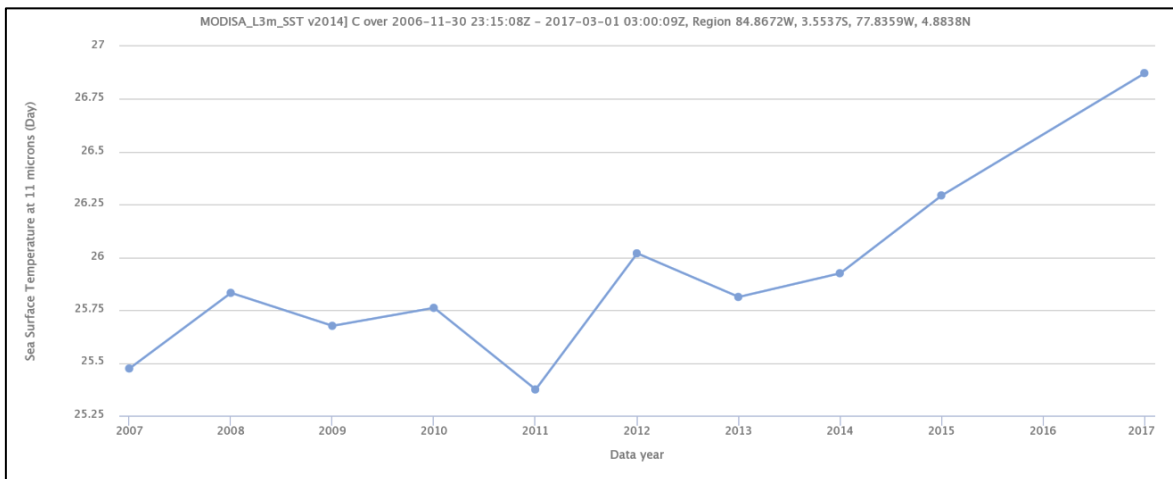
Lo anterior demuestra cuantitativamente el prominente ciclo estacional existente frente a las costas del Ecuador en relación a la TSM, lo cual se encuentra directamente afectado en los primeros meses del año por el arribo del frente Ecuatorial que arrastra aguas cálidas desde Panamá. Asimismo, en forma tácita se observa el punto de inflexión en cuanto a

los registros de TSM con el decrecimiento, y el correspondiente registro de las temperaturas más bajas principalmente a mediados del mes de septiembre, debido a la influencia de la Corriente de Humboldt.

Nótese que en el segundo semestre del año continúa el registro de temperaturas elevadas en el océano en el área norte del país, lo cual obedece al elevado calor específico que posee el océano, es decir que posee una capacidad prominente para retener el calor acumulado durante los primeros meses del año, el cual alcanza su pico en el mes de abril y comienza su decrecimiento en forma progresiva, razón por la cual, en su conjunto, se aprecian solo ligeros cambios en el segundo trimestre, en relación al primero.

Analisis Interanual

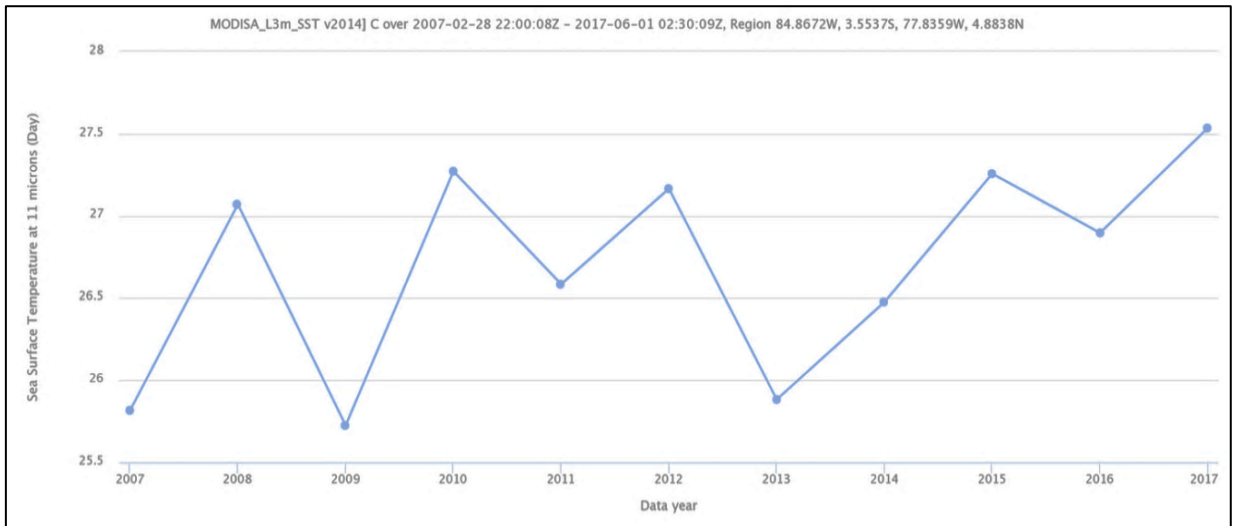
Grafico 1. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Diciembre, Enero y Febrero



La temperatura superficial alcanzo su tope más alto en esta etapa en el año 2017.

La temperatura promedio de los meses de Diciembre, Enero y Febrero, determina que en los años del 2014 al 2017, la temperatura alcanzó niveles superiores a los otros años, a pesar de que en el 2011 fue el año con más bajos registros de temperatura, de la década en estudio, donde la temperatura estuvo por debajo de los 25,5 grados Celsius, mientras que el año 2015, 2016 y 2017 se obtuvo un incremento de la temperatura.

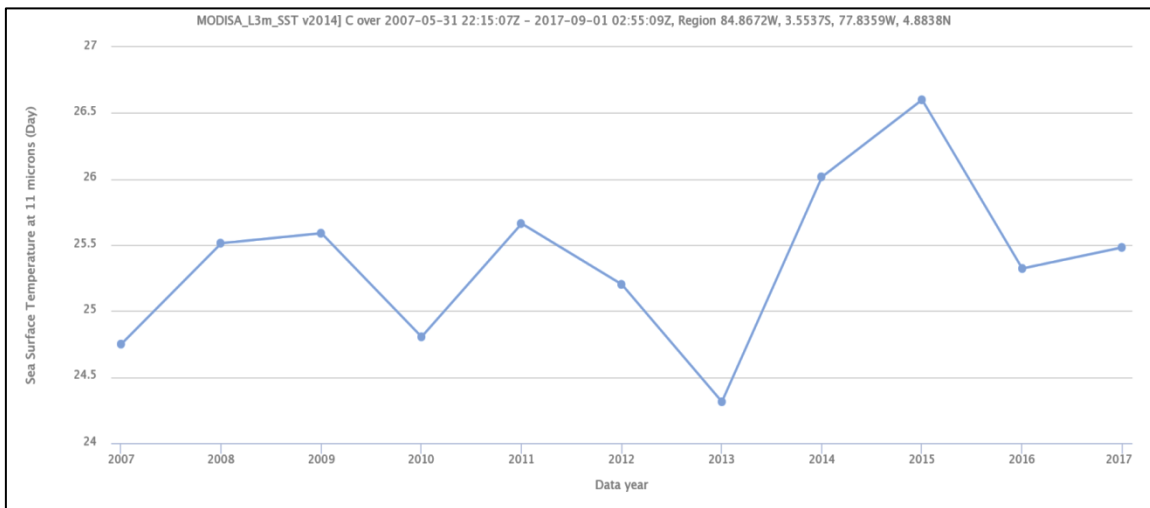
Grafico 2. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Marzo, Abril y Mayo.



La temperatura superficial alcanzó su tope más alto en esta etapa en el año 2017.

La temperatura promedio de los meses de Marzo, Abril y Mayo, determina que en el 2017 que obtuvo más de 27,5°C, la temperatura alcanzó niveles superiores a los otros años, mientras que en el 2009, la temperatura estuvo por debajo de 26°C.

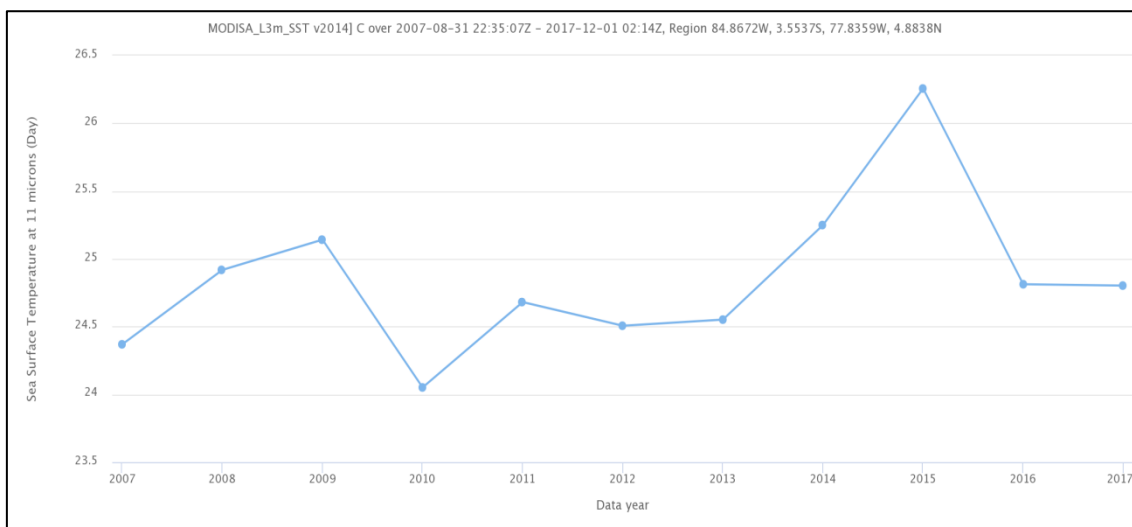
Grafico 3. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Junio, Julio y Agosto.



La temperatura superficial alcanzo su tope más alto en esta etapa en el año 2015.

La temperatura promedio de los meses de Junio, Julio y Agosto, determina que en el año del 2015 se obtuvo un mayor índice, la temperatura alcanzó niveles superiores a los otros años, llegando a más de 26,5°C, al igual que el 2013 fue el año con la temperatura superficial del mar más baja, durante esa década.

Grafico 4. Serie de tiempo de la temperatura superficial del mar entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre.



La temperatura superficial alcanzo su tope más alto en esta etapa en el año 2015.

La temperatura promedio de los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, determina que en el año del 2015 se obtuvo un mayor índice, la temperatura alcanzo niveles superiores a los otros años, llegando a más de 26°C.

Los registros anteriores indican que en el 2015 la variabilidad climática interanual e interestacional normal sufrió una variación en la temperatura puesto que esta fue más alta de lo normal, mientras que en los años anteriores, en el 2010, los registros de temperatura fueron más bajos, esto indica que existe una variabilidad interanual en el área oceánica del Ecuador.

Análisis mensual de la clorofila a, del 2007 AL 2017

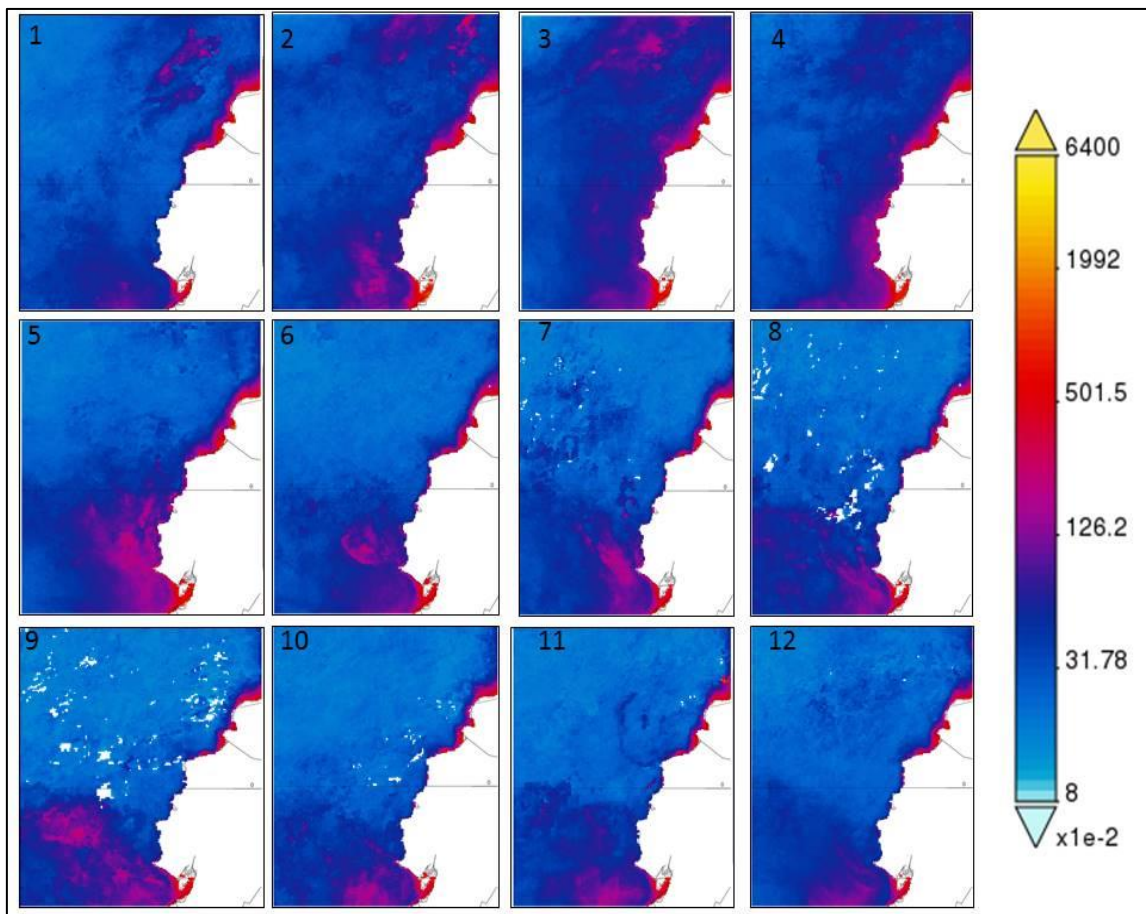


Ilustración 7. Representa los meses de Enero a Diciembre, con los números del 1 al 12 en su respectiva secuencia, la escala hace referencia a la medida de mg/m^3 , exactamente elevados a $\times 10^{-2}$ que equivale a $\times 100$.

En el mes de Enero Febrero y Marzo, cuentan con una distribución de la clorofila más amplia que los otros meses, tal parece que la productividad primaria invade las costas del Ecuador, cuando está a una temperatura determinada, con lo visto anteriormente en la temperatura superficial del mar, mientras la temperatura oscile entre 18 y 23°C, existirá una cantidad proporcional de productividad primaria, mientras que cuando está muy baja la temperatura o muy alta, habrá una disminución de la cantidad de algas,

Análisis estacional de la Clorofila a, del 2007 al 2017:

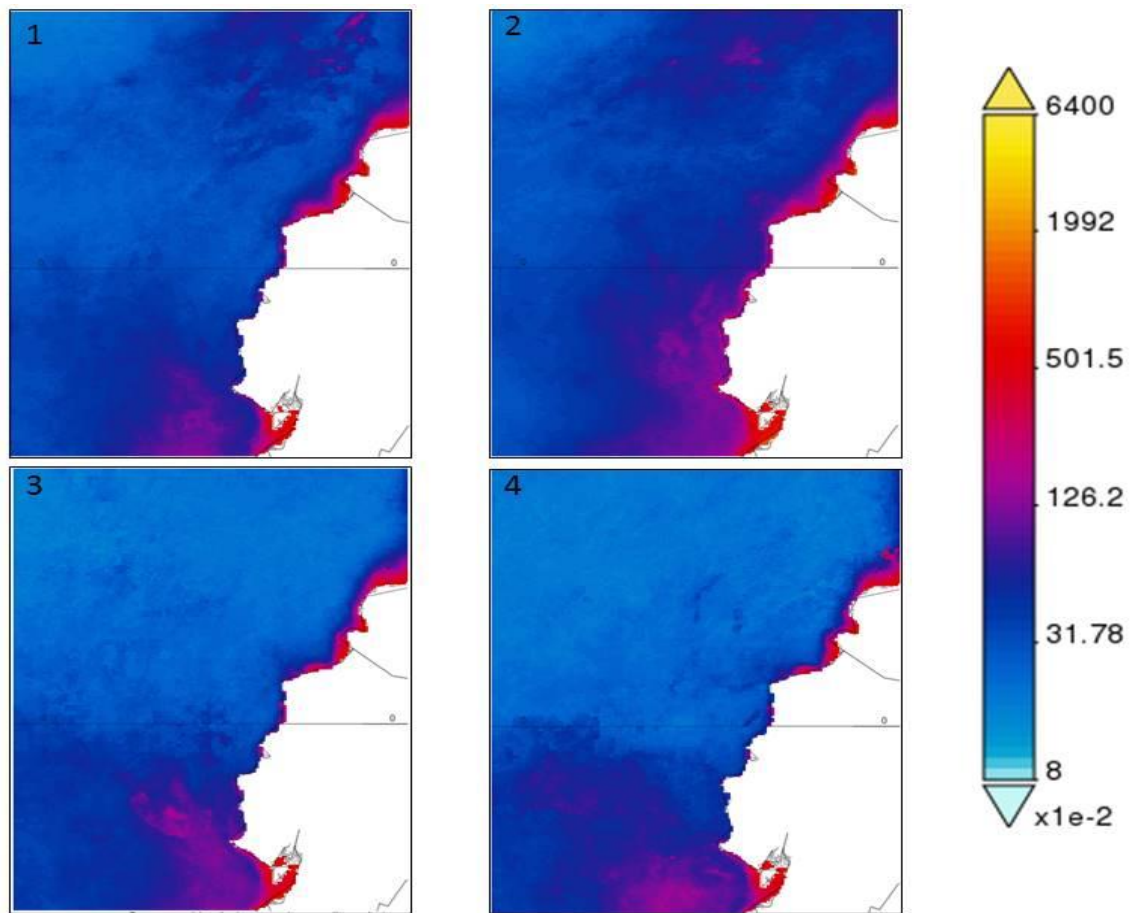
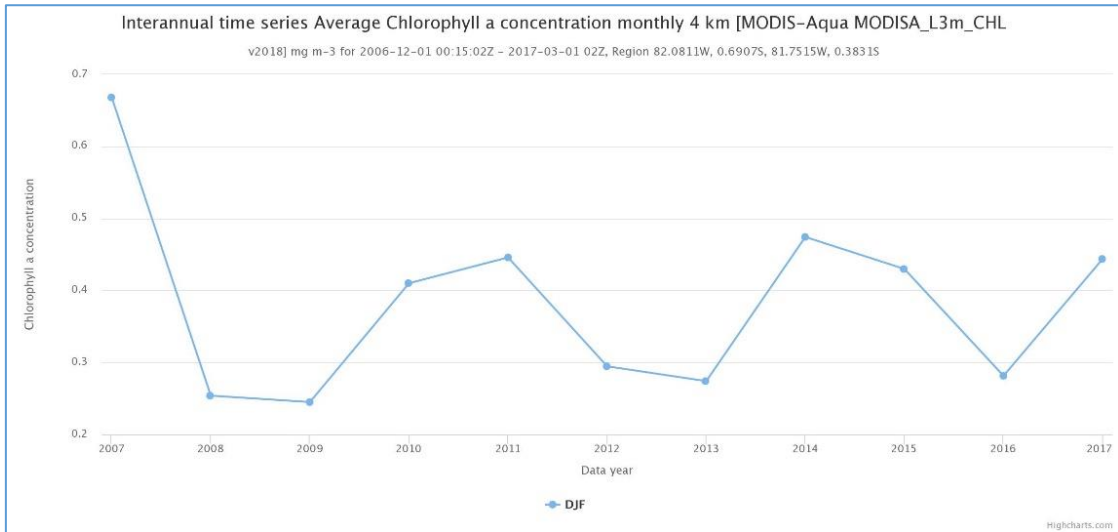


Ilustración 8, (1) Diciembre, Enero y Febrero; (2) Marzo, Abril y Mayo; (3) Junio, Julio y Agosto; (4) Septiembre, Octubre y Noviembre del 2007 al 2017 la escala hace referencia a la medida de mg/m^3 , exactamente elevados a $\times 10^{-2}$ que equivale a $\cdot 100$.

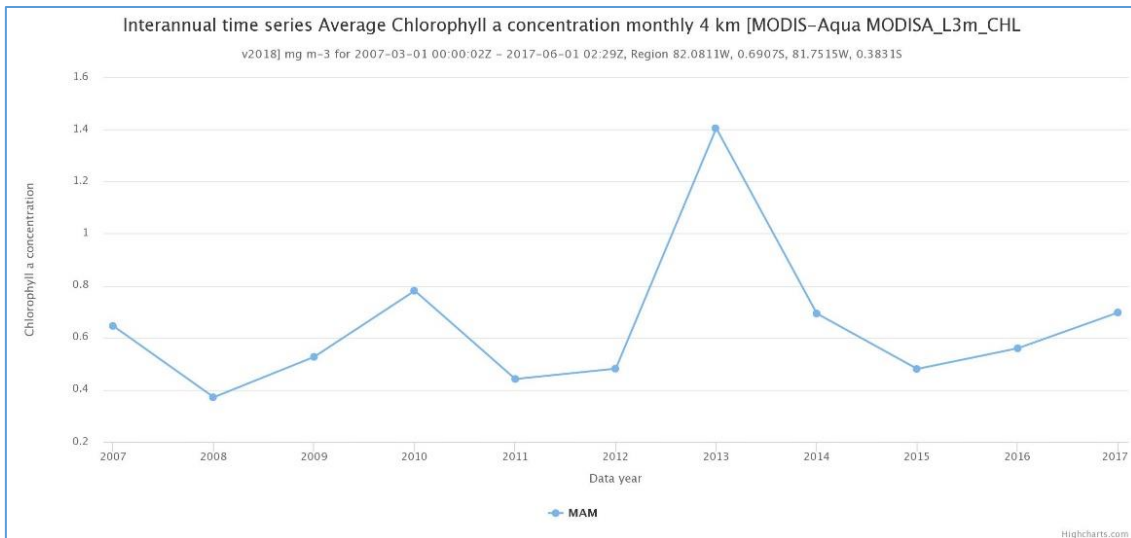
En el primer trimestre, la cantidad difiere a los otros meses, mientras que en el segundo trimestre que comprende el periodo de transición, la cantidad de clorofila A tiene un aumento proporcional, y llega a ser el trimestre con mayor cantidad de productividad primaria, mientras que en los meses con temperatura más baja, la cantidad de productividad primaria llega a su tope, entre Guayas y Esmeraldas y se expande al nivel de la Isla de la Plata, que prácticamente comprenden a Manabí y Santa Elena.

Grafico 5 Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Diciembre, Enero, y Febrero.



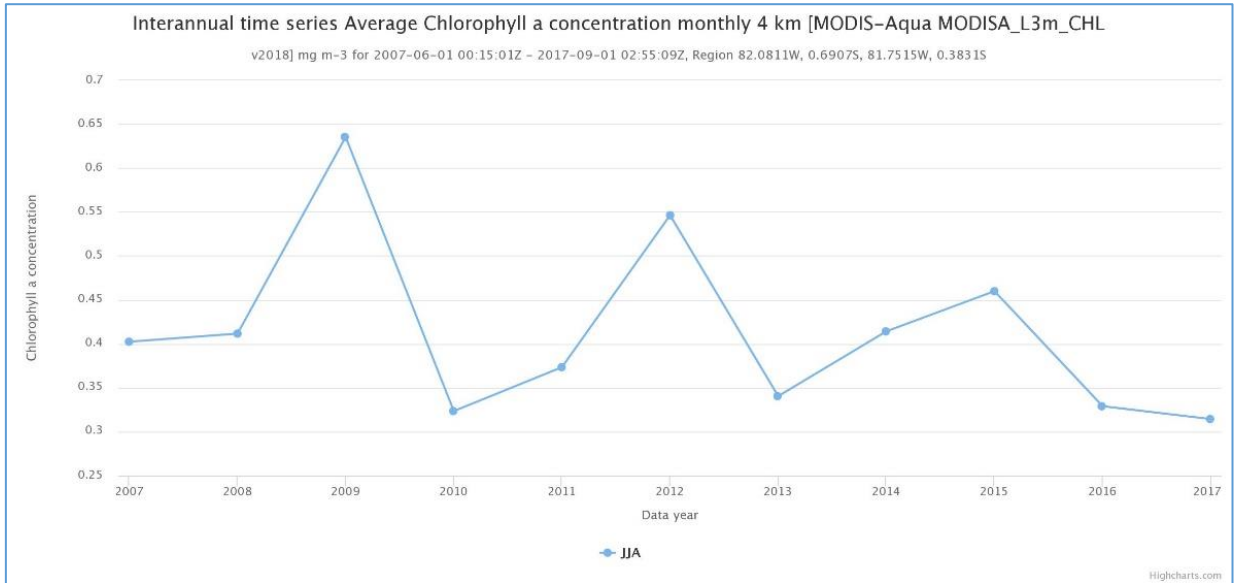
Durante este periodo se pudo presenciar que en el año 2017 existio mayor cantidad de clorofila A en el año 2007, en el mismo año la temperatura estuvo por debajo de los 26°C.

Grafico 6. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Marzo, Abril y Mayo.



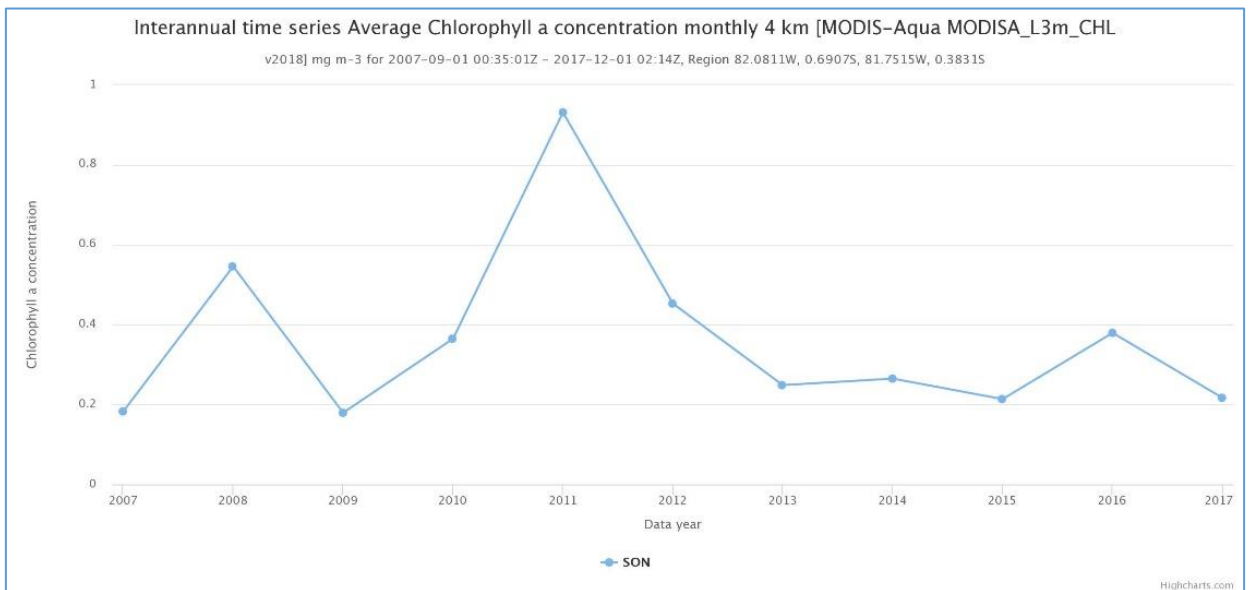
En este año la temperatura superficial (grafico 2), en el mismo trimestre en el año 2011 alcanzo una temperatura de 26,2°C y 1,45 mg/m3 de clorofila A un dato muy interesante.

Grafico 7. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Junio, Julio, y Agosto.



En el año 2009, 2012 y 2015, la productividad primaria en las costas del Ecuador alcanzó medidas altas, en el año 2010 durante este trimestre alcanza su punto más bajo en esta década.

Grafico 8. Serie de tiempo del parámetro de clorofila-a entre los años 2007 y 2017, entre los meses de Septiembre, Octubre, y Noviembre..



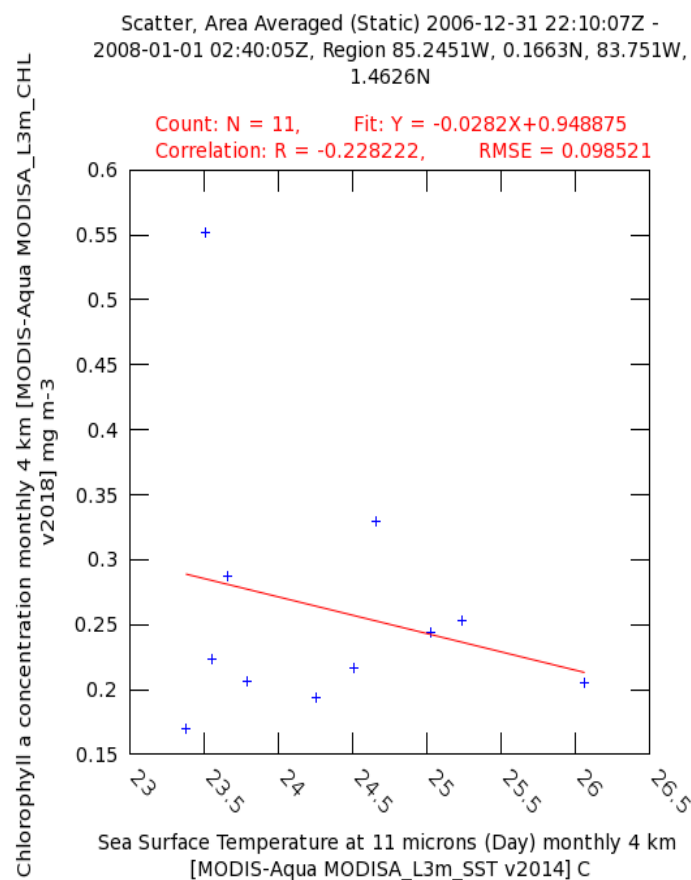
En el 2011, en este trimestre, la temperatura superficial alcanzó 24,5°C y el presente gráfico indica que la productividad primaria llegó a 0,90 siendo el mayor nivel en la década de este trimestre.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Aplicación de coeficiente de correlación de Pearson R, y Métodos de regresión lineal.

Se realizó una estimación, donde se tomaría dos años de los 10 para realizar un análisis estadístico, salió del 2007, el año 2017 y se realizó un análisis del año 2015 para ver cómo ha cambiado la correlación que existe.

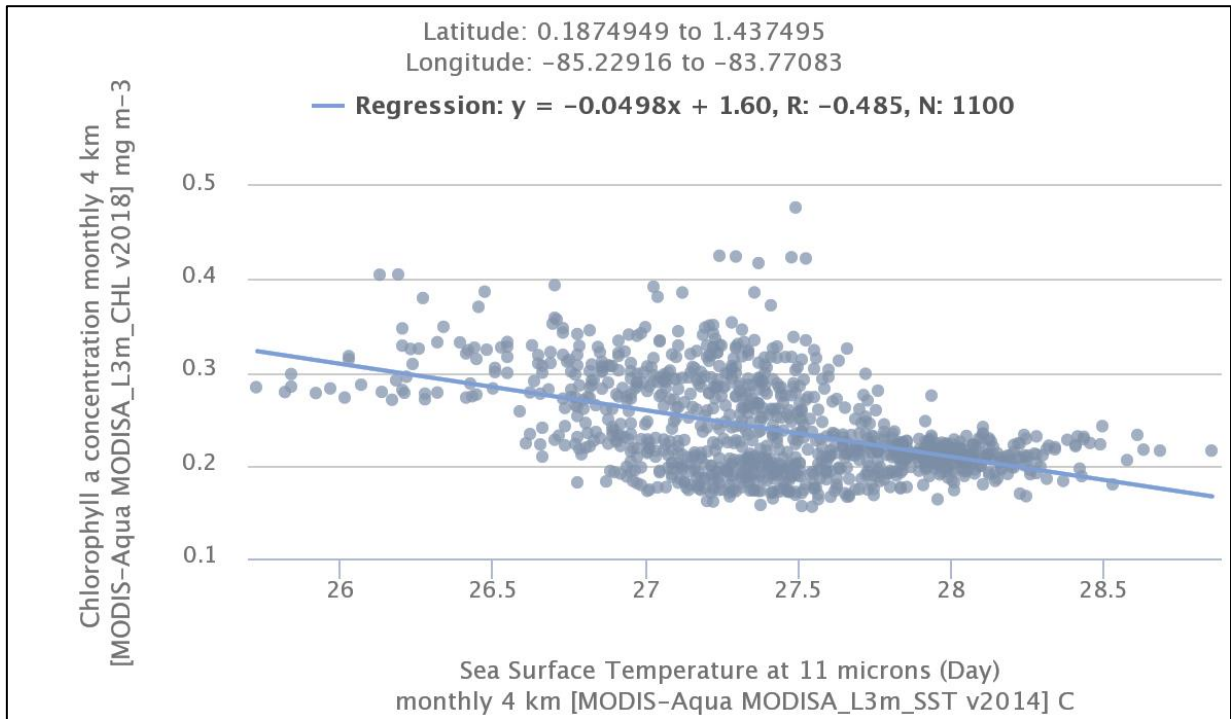
Grafico 9. Correlación de la clorofila A y TSM durante el año 2007



Existe una correlación entre la clorofila a y la TSM, como representa la regresión lineal, temperatura representada en °C y Clorofila a con mg-m3.

El siguiente grafico indica que existe una relación baja, a pesar de eso ratifica que a menor temperatura mayor productividad primaria, en cuanto a datos encontramos datos de temperatura entre 24,6°C y 24,7°C hubo un máximo de clorofila A, ubicado entre 0,30 y 0,55 mg – m3.

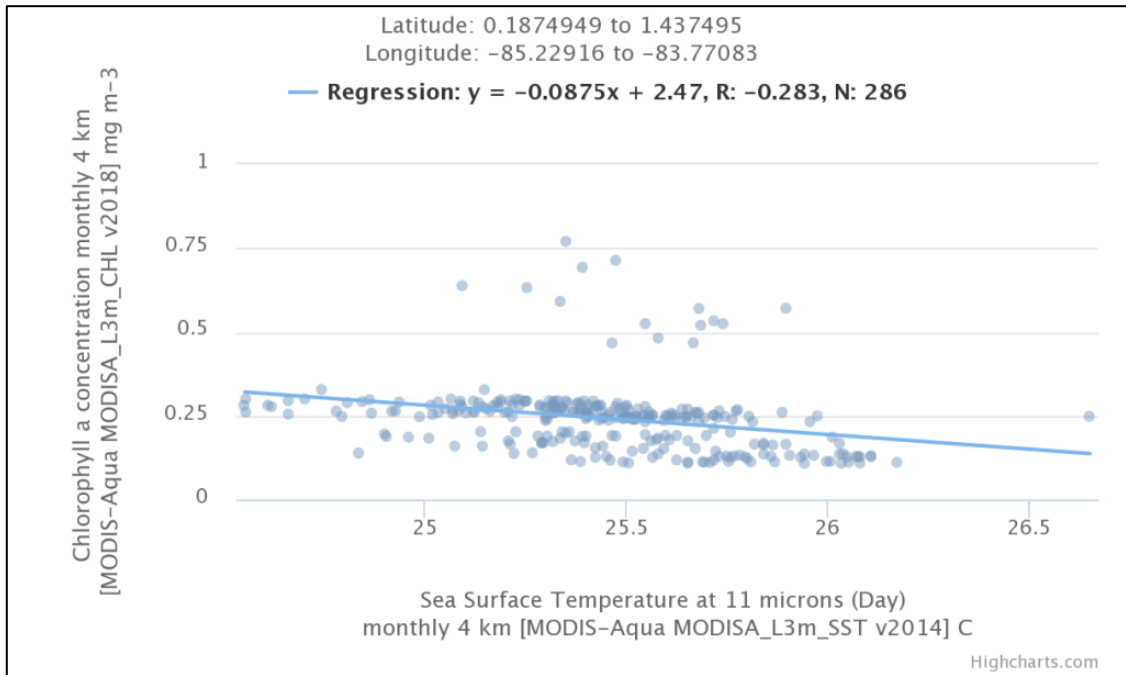
Gráfico 10. Correlación de la clorofila A y TSM durante el año 2017



Existe una correlación entre la clorofila a y la TSM, como representa la regresión lineal, temperatura representada en °C y Clorofila a con mg-m³.

Los puntos de dispersión, determinan la relación que existe entre la TSM y la clorofila a, es muy baja, en este año existe una variabilidad de la temperatura entre 26 y 28,5°C, diferente a la del primer año, lo que representa es que ha existido un aumento de la temperatura hasta la fecha del 2017 y esta tiene como resultado un bajo índice de productividad primaria puesto que los puntos de dispersión tienden a la temperatura de 27 entre 28, teniendo apenas solo 0,2mg m⁻³ de clorofila A.

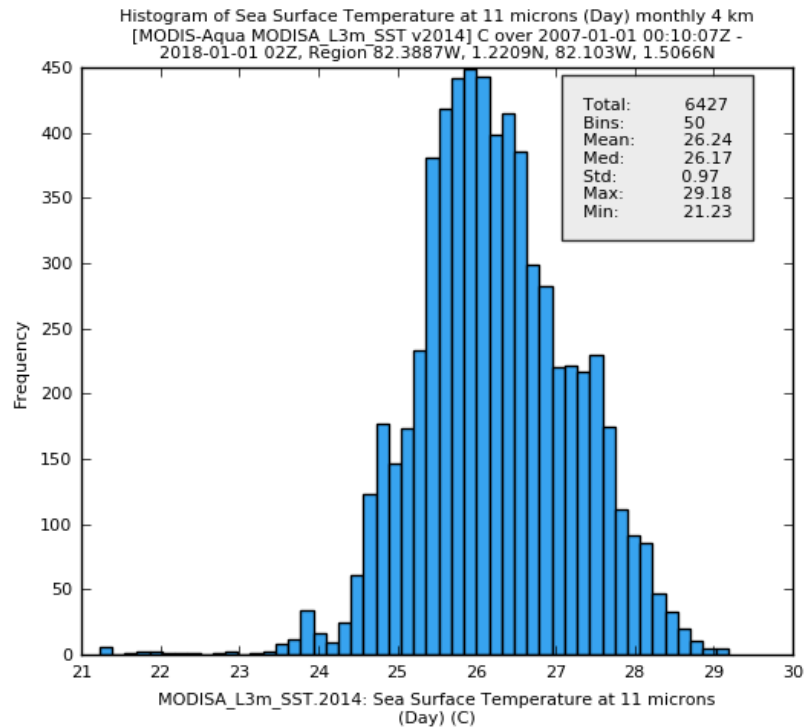
Grafico 11. Correlación de la clorofila A y TSM durante el año 2006



Existe una correlación entre la clorofila a y la TSM, como representa la regresión lineal, temperatura representada en °C y Clorofila a con mg-m3.

El grafico representa que entre la TSM y la clorofila a, en este año, productividad primaria alta en relación de la década que se está trabajando, estamos hablando que los puntos de dispersión tienen una tendencia de temperatura de 25,5°C, teniendo entre la más alta 0,75 mg m-3 de Clorofila A, y la tendencia propone lo mismo a menor temperatura mayor productividad primaria.

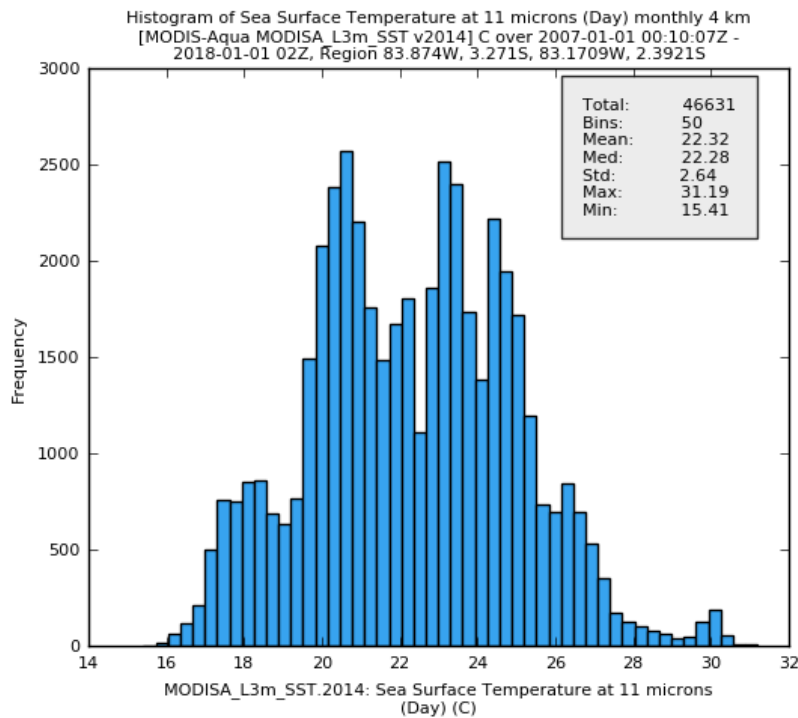
Gráfico 11. Histograma de valores de TSM en el área norte frente a Esmeraldas, período entre el 2007 y 2017



Para fines de comparar, el comportamiento de la temperatura superficial del mar entre el área norte y sur respectivamente frente a las costas del Ecuador, se emplearon histogramas, donde en el gráfico superior representa los registros a partir de los datos satelitales, en el área norte comprendidos entre el año 2007 y 2017 correspondientes a los promedios mensuales. Se puede observar que el valor promedio se encuentra alrededor de los 26 C, la mayoría de los registros conforme al histograma oscilan entre 25 y 28 C, con una desviación estándar de 0,97.

En cuanto a los datos obtenidos para el área sur del Ecuador, representados en el histograma de frecuencias inferior, la media de temperatura superficial del mar se encuentra alrededor de los 22 C, los valores oscilan principalmente entre 20 y 26 C, la desviación estándar se encuentra en 2,64, observando una ligera dispersión en el rango de datos observados.

Gráfico 11. Histograma de valores de TSM en el área sur frente al Golfo de Guayaquil en el área oceánica, período entre el 2007 y 2017



IV. Discusión

“Los factores afectan a la productividad primaria”, tesis realizada por Medina (2016), hace referencia, a la importancia que tiene la profundidad y la temperatura en el medio oceánico, su resultado afirma que la productividad primaria aumenta en las zonas cercanas a las costas y a los ríos por el aporte que dan las crecientes y la descomposición de hojas, etc., por otra parte es muy importante considerar los aspectos o características de las zonas, como principal resultado ellos obtuvieron que la productividad primaria es elevada en Zonas Inshore del mar; que son las zonas más cercanas a la costa, mientras que en las zonas offshore, que es en el mar abierto, la productividad primaria, en la zona Inshore, obtuvo un resultado muy alto como ya se mencionó anteriormente, esta zona de la región costera se ve influenciada de gran cantidad de ríos y manglares, por ende tiene un aporte adicional, las zonas offshore no tienen tanta concentración por la influencia de la corriente y la profundidad, y al ser zonas de mar abierto la concentración disminuye.

Este trabajo de investigación indica que en las zonas del mar de Ecuador cercano a las costas, la productividad primaria llegan a valores casi de 1.1 mg/m³, valores realmente altos, a diferencia de las zonas abiertas ubicadas más al sur que son lo en estación de 2 y

3 de la ilustración 5, indican que de acuerdo al promedio en el periodo 2007 al 2017, en la zona de mar afuera la productividad primaria se encuentra en 0,126 mg/m³, que a diferencia de la zona costera es mínimo.

Una investigación realizada en la zona norte del mundo, en México, en la zona de Baja California, elaborada por Morales (2014), donde realiza un modelamiento de la productividad primaria oceánica, y la relaciona con factores ambientales entre ellos la temperatura superficial del mar, cabe indicar que el área de estudio las condiciones climáticas y ambientales son muy diferentes, pero el establece que en el periodo de estudio la variabilidad climática que existe en la zona altera la calidad de la productividad primaria, que en la época de primavera la productividad primaria, empieza a aumentar, y que sus valores tienen un promedio de 1,1 o 1,2 mg/m³. Este corrobora con los resultados estadísticos que indican que existe una correlación entre la temperatura superficial y la productividad primaria, es baja por ende se podría afirmar que existen otros factores que influyen en la productividad primaria (15).

Por otro lado, se debe considerar el área de estudio, Ecuador es un país donde intervienen varios factores que alteran las condiciones oceánicas, una investigación realizada en Colombia, por Giraldo (2006), en la Isla de Gorgona, del Pacífico colombiano, el realizó un estudio donde correlaciona la productividad primaria con otros factores como salinidad, turbidez etc., ellos indican que la temperatura en el Pacífico colombiano no varía mucho, se comparó este estudio con estudios de la misma área, uno de ellos fue el plan de caracterización anual colombiano.

Lo anterior, indica que, la TSM desde enero hasta mayo muestra un calentamiento de las aguas, desde mayo hasta noviembre se registra un enfriamiento y en diciembre nuevamente empieza un calentamiento, condiciones similares a las de Ecuador, pero un dato muy importante es que la temperatura superficial en Ecuador difiere de 28°C a hasta 25°C en el mismo periodo, mientras que en Colombia la temperatura difiere de 30° hasta 27°C, lo que probablemente quiere decir que la productividad primaria en Colombia se ve afectada por la corriente cálida del sur que baja desde Panamá.

Además, en este trabajo de investigación uno de los resultados más importantes dentro del análisis interanual de la variabilidad climática, se dio en el año 2015, en este año la temperatura superficial marina se encontró entre 27° y 28°C, dato muy interesante porque

según una publicación registrada en Colombia, por Fernández (2015), donde él hace referencia a los cambios que han existido en relación al Evento del niño y como ha venido aumentando en el último trimestre de los años 2016 y 2017, resultados que se ven fácilmente en las estadísticas, además de estudiar las posibles precipitaciones que se generarían por la temperatura superficial del océano y efecto de fertilización que podría tener en aguas costeras gracias a el arrastre de nutrientes del área continental.

En ese mismo año, este trabajo de investigación indica que la productividad primaria en el Ecuador disminuyó en 0,45 mg/m³, Capel (1998), luego de haber realizado un trabajo de investigación con respecto a la producción de algas en la costa de Perú, Ecuador y Colombia, indico como resultado después del evento del niño del 97, mediante una representación aritmética, donde propone que este evento eleva la temperatura superficial entre 2° y 3°, a lo largo del pacífico, generando un impacto para los países como Ecuador, Colombia y Perú, en cuanto a la producción primaria (16).

Un dato relevante, es la metodología del trabajo que realizó López en el año 2010, es una de las más utilizadas que difiere a la actual, puesto que él utiliza los datos reales, él considera que para que la investigación sea representada realmente, se debe realizar muestreos sean más específicos, Palacios en el año 2016, dentro de su metodología explica que la utilización de datos satelitales, brindan mayor cantidad de datos y que la calidad de los satélites ha mejorado la captación de información para realizar trabajos de investigación. Las aplicaciones que se utilizan en el ambiente de Linux y las bibliotecas digitales facilitan el manejo de datos satelitales, y la información a pesar de que no todos los datos viables el 90% de ellos son más exactos que el de los datos físicos, puesto que su calibración es continua (7).

Finalmente, la variabilidad termal que sufre el pacífico está correctamente marcada estacionalmente y por el evento del Niño y Niña, interanualmente, los datos de temperatura, totalmente responden como este interviene estacionalmente con la variable producción primaria, la temperatura superficial por ser una variable constante y de medición física. La clorofila A, está muy relacionado con muchas variables especialmente con la temperatura

De acuerdo a los registros presentados en los histogramas de frecuencias, se puede apreciar que existe una diferencia entre el [área norte y sur del Ecuador, en los rangos de

temperatura superficial del mar, teniendo los valores más elevados en el norte, lo cual ocurre debido a la presencia del frente ecuatorial, y la influencia estacional de la corriente de El Niño. Consecuentemente, en el área sur, existe una prominente influencia de la corriente de Humboldt, lo cual fue demostrado en el presente trabajo.

Se observa que si bien es cierto los datos satelitales contribuyen a una mayor comprensión de los sistemas oceánicos, debido a su mayor cobertura espacial; no obstante, se encuentran supeditados a la resolución temporal, es decir el periodo de tiempo en el cual se obtienen los datos, los cuales para su empleo son utilizados en rangos de tiempo, ya sea de días o promedios mensuales. Se observa, que los datos de clorofila requieren una mejor resolución temporal, a fin de poder detectar cambios significativos a nivel de mesoescala.

Sin embargo, a escala regional, y desde el punto de vista del ciclo estacional, se aprecia una diferencia considerable entre los primeros meses del año, y los meses del último trimestre, principalmente en el mes de septiembre, cuando existe el arribo y la mayor influencia de la corriente de Humboldt en aguas ecuatorianas. Para futuros trabajos es necesario considerar un mayor rango de datos a fin de poder determinar cambios a nivel de variabilidad decadal, es decir un periodo de al menos 30 años, y poder detectar el comportamiento de las variables y su relación con el cambio climático. A pesar de aquello, el presente estudio se centró en la variabilidad estacional e interanual, tomando en cuenta dos parámetros relevantes desde el punto de vista físico y biológico, lo cual contribuirá en el campo de las ciencias oceánicas en el Ecuador.

Conclusiones

Como conclusión, los resultados de la investigación demuestran que en el Ecuador la variabilidad termal estacional, tiene una normalidad de 3 épocas, cada una se ve muy influenciada por las corrientes que arriban en la costa del Ecuador, permitiendo decir que de acuerdo a los resultados la productividad primaria tiene una correlación muy baja con la temperatura superficial, por lo que se puede interpretar que existen otros factores que intervienen con la presencia de la productividad primaria, se recomienda que para las próximas investigaciones se consideren más variables físicas que tengan relación con la productividad primaria.

También se puede concluir diciendo, que el año más caliente fue el año 2015 con una temperatura media de aproximadamente 27.3°C y una media de clorofila a casi de $0.34\text{mg}/\text{m}^3$, al contrario que en el año 2011, 2009 y 2007 que existió una temperatura superficial por debajo de los 25°C en sus épocas respectivas, alcanzado valores de hasta $1.1\text{mg}/\text{m}^3$, una recomendación es difundir esta información, para emplear soluciones acordes a la falta de productividad en lugares claves, puesto que existen años que no son proporcionales y podría servir como un recurso para estudiar al ecosistema marino en cuando al análisis de los factores ambientales, y aún más en cómo funciona la migración de especies marinas, no solo frente a las costas del Ecuador sino que a nivel del Pacífico norte y sur.

Finalmente, la relación que tiene la productividad primaria con la variabilidad termal es muy estrecha, la temperatura desde el punto de vista oceanográfico es uno de los motores metabólicos para la presencia de la productividad primaria, pero no es el único que incide, la relación que esto tiene con la gestión ambiental, es la representación de los cambios estacionales e interanuales que sufre el área marina costera del Ecuador, en cuanto a 2 variables que influyen directamente con la vida marina, la recomendación que se puede priorizar es utilizar esta investigación como línea base, en la base de diagnóstico de los distintos problemas que existen relacionados con el clima y la migración de especies.

Bibliografía

1. Pond and Pickard. Introductory Dynamical Oceanography Burlington, UK: Elsevier; 2009.
2. Talley and Pickard. Descriptive Physical Oceanography an Introduction San Diego, US.A.: Elsevier; 2011.
3. Oceanografía IEd. Especial, Oceanografía Operacional. Revista Instituto Español. 2016 Junio; I(24).
4. Wright and Colling. Seawater: Its Composition properties and Behaviour Oxford, United Kindom: The Open University; 1995.
5. Hidore and Oliver. Climatology, An Atmospheric Science Indiana, USA: Pearson; 2009.
6. IDEAM. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE VARIABLES OCÉANO-ATMOSFÉRICAS SOBRE LA CUENA DEL PACÍFICO COLOMBIANO. ideam.gov.co. 2017;; p. 14-25.
7. Palacios O. ANALYSIS OF INTERANNUAL VARIABILITY IN THE EASTERN EQUATORIAL PACIFIC OCEAN USING A HIGH RESOLUTION REGIONAL OCEAN MODELING SYSTEM. Texas A&M University. 2016.
8. Pourrut P. Clima del Ecuador. Horizon. 2012; III(1).
9. Melo J. TELEDETECCIÓN APLICADA AL ESTUDIO DE FENÓMENOS OCEANOGRÁFICOS SUPERFICIALES. Meteorología Colombiana. 2012 Marzo;(5).
10. Millan S. TELEDETECCIÓN APLICADA AL RECONOCIMIENTO DE PRADERAS DE PASTOS MARINOS EN AMBIENTES DE BAJA VISIBILIDAD: LA GUAJIRA, COLOMBIA. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR. 2016 Agosto; II(45).
11. Mcdaid J. Sistemas de información geografica, sensores remotos y mapeos para el desarrollo y la gestion de la acuicultura. FAO documento tecnico. 2009 Septiembre; II(1).

12. Aristegui J. Aplicacion de la teledeteccion a modelos regionales de productividad primaria: Areas de afloramiento. ULPGC. 1997;; p. 4-19.
13. INOCAR. Principios de Hidroacústica Guayaquil, Ecuador: INOCAR; 2003.
14. Proaño M. Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. CienciAmérica. 2017 Mayo; VI(2).
15. Morales C. Productividad primaria modelada, 1998–2006. inecc.gob.mx. 2014;; p. 349-364.
16. Capel J. El niño y su impaco global en 1997 y 1998. Dialnet. 1998;; p. 15-40.
17. Trujillo and Thurman. Essential of Oceanography (11th Edition) San Antonio, USA.: Prentice Hall; 2013.
18. Rodriguez JC. Regines Marinas. Titulaciongeografia. 2013.
19. Barreiro M. Oceanografia dinamica. Meteo-fisico. 2014.
20. Campos M. Distribucion de la clorofila en las aguas adyacentes a las islas de providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano. Scielo. 2011;; p. 347-360.
21. Lopez C. Climatologia. Universidad de Sevilla. 2013.
22. NASA. Zona de convergenia intertropical ZCIT, presenta una estructura mas compleja y duradera. RAM. 2002; VI: p. 21-29.
23. FAO. Productividad primaria y Clima. AGRIS. 2017.
24. Ocean Solutions. Pacific Ocean Synthesis. Center foro ocean solutions. 2009;; p. 100-125.
25. Kessler. The circulation of eastern tropical Pacific: a review. ELSEVIER. 2006;; p. 181-217.

26. Fiedler P. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. ELSEVIER. 2006;; p. 143-180.
27. Wang C. ENSO variability the eastern tropical Pacific: A review. ELSEVIER. 2006;; p. 239-266.
28. Hernandez F. Analisis de la variabilidad climatica de la costa Ecuatoriana. Acta Oceanografica del pacifico. 2006;; p. 1-13.
29. IRD. La corriente de Humboldt: el ecosistema de los extremos. Actualite scientifique. 2009.
30. Barroso D. Contribucion de la teledeteccion a la oceanografia operacional desde CREPAD. Revista de teledeteccion. 2007;; p. 95-99.
31. Navarro G. Variabilidad espacio-temporarl del fitoplacton en el Golfo de Cadiz a traves de imagenes termincas y de color Oceanico. Reserch Gate. 2005;; p. 21-23.
32. INOCAR. CAPÍTULO I: Información General de la República del Ecuador. Inocar mil Ecuador. 2012.
33. Hernandez F. “ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA COSTA. <http://inocar.mil.ec>. 2006 Julio; 13(1).
34. Fiedler P. ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. ELSEVIER. 2006 Mayo; 69(239-266).