



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ANÁLISIS DE LA SURGENCIA DE CABO
CORRIENTES, JALISCO, A PARTIR DE
IMÁGENES DE LA TEMPERATURA DE LA
SUPERFICIE DEL MAR, 2003-2013”**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERIA GEOMÁTICA

PRESENTA

AZUCENA RUIZ PÉREZ

DIRECTOR

ING. ERIK MÁRQUEZ GARCÍA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/032/15

Señorita
AZUCENA RUÍZ PÉREZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ERIK MÁRQUEZ GARCÍA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO GEOMÁTICO.

"ANÁLISIS DE LA SURGENCIA DE CABO CORRIENTES, JALISCO; A PARTIR DE IMÁGENES DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR, 2003-2013"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. PLANTEAMIENTO DEL TEMA
- III. SURGENCIA
- IV. ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA SURGENCIA
- V. RESULTADOS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 21 de abril del 2015.
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar.

DEDICATORIA

A mis padres. Martin Armando Ruiz Leyte y María de Lourdes Pérez Gutiérrez por siempre estar apoyándome incondicionalmente y dándome todos los mejores consejos para hacer de mí una mejor persona.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE ECUACIONES	1
INDICE DE GRAFICAS	1
INDICE DE FIGURAS.....	2
SIGLAS	3
Capítulo 1: Planteamiento del tema	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivo	6
1.3 Área de estudio	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Hipotesis	7
Capitulo 2: Conceptos y definición	8
2.1 Surgencia.....	8
2.2 Tipos de Surgencias	9
2.3 Importancia de las Surgencias	11
2.4 Imágenes satelitales Oceánicas de temperatura.....	12
2.5 Fenomeno del niño y la niña	13
2.5.1 El niño.....	13
2.5.2. La niña.....	14
2.5.3 Indice de ocurrencia del niño y la niña.....	14
Capitulo 3: Análisis Espacio- Temporal de la Surgencia.	15
3.1 Antecedentes	15
3.2 Imágenes satelitales empleadas en la deteccion de las surgencias.	15
3.2.1 Imágenes Modis.....	15
3.2.2 Algoritmos para la obtencion de la temperatura superficial del mar	16
3.3 Metodologia para la delimitacion de la surgencia	19
3.3.1 Promedios mensuales de TSM	19
3.3.2 <i>Promedios móviles</i>	22
3.4 Materiales, elección del instrumento y recursos	22
Capitulo 4: Resultados.	24
4.1 Formas y estructuras termicas que se presentan en una imagen de TMS. 24	24
4.2 Analisis temporal de la surgencia.....	24
4.3 Anomalías	29

4.4 Analisis espacial de la surgencia.....	33
4.5 Analisis espacio-temporal de la Surgencia.....	38
Capitulo 5: Conclusiones.....	40
5.1 Desarrollo de conclusiones.....	40
5.2 Recomendaciones.....	40
5.3 Glosario de términos.....	41
5.4 Referencias.....	43

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Temperatura de la superficie	17
Ecuación 2: Temp superficie en simulación numerica.....	18

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Anomalías estandarizadas de la temperatura superficial del océano Pacífico del este (Áreas rojas = El niño y áreas azules = La niña).....	14
Gráfica 2: Análisis temporal del transecto Costa.....	25
Gráfica 3: Análisis temporal del transecto 10Km.....	26
Gráfica 4: Análisis temporal del transecto 50Km.....	27
Gráfica 5: Análisis temporal del transecto 100Km.....	28
Gráfica 6: Anomalías del transecto costa.....	29
Gráfica 7: Anomalías del transecto 10 km.....	30
Gráfica 8: Anomalías del transecto 50 km.....	31
Gráfica 9: Anomalías del transecto 100 km.....	32
Gráfica 10: Mes típico del transecto costa.....	35
Gráfica 11: Mes típico del transecto 10km.	353
Gráfica 12: Mes típico del transecto 50km.	354
Gráfica 13: Grafica espacial Abril 2007.....	35
Gráfica 14: Grafica espacial Abril 2008.....	35
Gráfica 15: Grafica espacial Septiembre 2009.....	36
Gráfica 16: Grafica espacial Septiembre 2010.....	36
Gráfica 17: Grafica espacial Abril 2011.....	37
Gráfica 18: Grafica espacial Abril 2012.....	37
Gráfica 19: Grafica Espacio-Temporal Costa.....	38
Gráfica 20: Grafica Espacio-Temporal 10 km.....	38
Gráfica 21: Grafica Espacio-Temporal 50 km.....	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campo de acción.....	6
Figura 2: Diagramas de tipos de surgencias.....	9
Figura 3: Efecto Coriolis	10
Figura 4: Fenómeno el niño.....	13
Figura 5: Fenómeno de la niña	14
Figura 6: Satelite con sensor MODIS.....	15
Figura 7: Transecto Costa.....	20
Figura 8: Transecto 10km	20
Figura 9: Transecto 50km	21
Figura 10: Transecto 100km.....	21
Figura 11: Programa Excel.	22
Figura 12: Programa Originl.	23

SIGLAS

CONABIO

Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad

ENOS

El Niño Oscilación del Su

ESRL

Earth System Research Laboratory

IR

Espectro Infrarrojo

METEOSAT

Satélite Meteorológico

MODIS

Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer

NOAA

Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los E.U.A. (Global Monitoring Division).

SST

Temperatura Superficial del Mar

TSM

Temperatura de la Superficie del Mar

Capítulo 1: Planteamiento del tema

1.1 Introducción

La surgencia es un fenómeno oceanográfico el cual consiste en el movimiento de masas de agua que se desplazan de niveles profundos hacia la superficie.

El viento que sopla en la superficie del mar provoca, además de olas, corrientes de aguas superficiales llamadas corrientes de deriva, cuyo desplazamiento se transmite, por fricción, a los estratos acuáticos que están algo por debajo de la superficie (Louis, 1996). La dirección de esas corrientes sufre la influencia de la fuerza o efecto de Coriolis, cuya causa es la rotación de la Tierra.

Este movimiento vertical, o surgencia depende de los vientos y del desplazamiento de aguas, así como, de la temperatura del mar, genera cambios físicos y químicos en la zona eufótica, tales como disminución de la temperatura y del oxígeno (Marín, V.; et al., 1993).

Uno de los efectos principales respecto de los procesos productivos es el aumento de los nutrientes, especialmente nitrato, lo que conlleva a una buena producción pesquera y a su vez colabora con el enriquecimiento de especies marinas. El consecuente aumento de la productividad primaria es un complejo proceso de interacción físico-biológica (Gallegos, 2007; Marín, V.; et al., 1993).

La región que se encuentra ubicada frente a Cabo Corrientes, Jal., corresponde al área de transición entre aguas templadas y cálidas del Océano Pacífico oriental tropical frente a México, y por lo tanto presenta frentes térmicos y halinos. Las condiciones de surgencia en esta región pueden resultar de los vientos costeros hacia el ecuador durante invierno y primavera (López & Lara, 2009).

Este proyecto tiene como propósito analizar las variables físicas de la surgencia que se presenta en las costas de Cabo Corrientes, Jal., a través de un análisis de distribuciones específicas de Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) a partir de imágenes de satélite obtenidas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO).

La medición y el registro de variables físicas, químicas y biológicas de los mares de México, es una actividad de primordial importancia para cubrir las demandas básicas de cualquier estudio serio del impacto potencial del cambio

climático global en la región marina y continental de México (Martínez & Bremauntz, 2004).

La observación sistemática es necesaria para conocer, medir y describir de manera apropiada la variabilidad oceánica que pudiera identificarse como una manifestación regional del cambio climático y para advertir posibles impactos de carácter ambiental (Gallegos, 2007).

El análisis de la evolución espacio-temporal de distribuciones específicas de la (TSM) a partir de imágenes de satélite, permite descubrir e identificar de manera visual una diversidad de formas y estructuras térmicas que corresponden a procesos oceánicos de regularidad anual o interanual, entre las que se encuentran las surgencias (Gallegos, A.; Zavala, J.; et al., 1996-2003).

1.2 Objetivo

Determinar las características térmicas e intensidad de las surgencia en Cabo Corrientes, Jalisco a partir del análisis de imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar, para el periodo 2003-2013.

1.3 Área de estudio

El estudio se realizó en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, Jal., que comprende las latitudes de 22 N a 17 N como se muestran en la figura 1.

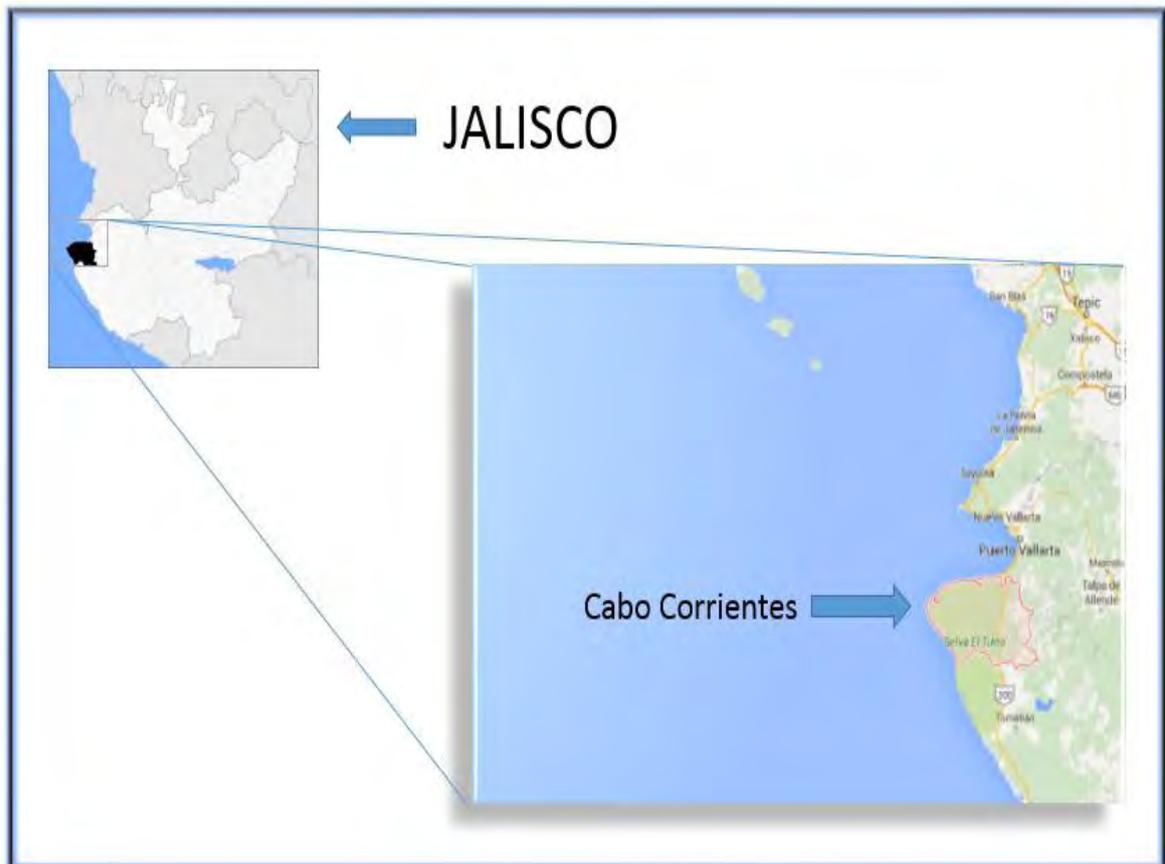


Figura 1: Campo de acción

1.4 Justificación

El Golfo de California ocupa una posición muy importante dentro de los 24 mares marginales y de los 5 grandes golfos del Océano Pacífico debido a su alta productividad biológica y a los fenómenos oceanográficos y meteorológicos que en él ocurren (García, 2008).

El mar frente a Cabo Corrientes es una región con esa misma productividad primaria, como resultado de esos fenómenos oceanográficos, así como el transporte de nutrientes hacia la zona eufótica (Alvarez, S.; et al., 2013). Esto da como resultado una alta diversidad y abundancia de especies.

La surgencia es uno de los procesos de interacción océano-atmósfera que ocurre en diversas regiones costeras y oceánicas del planeta. El agua superficial de ella, generalmente más fría, tiene mayores concentraciones de nutrientes y oxígeno disuelto que el agua superficial que reemplaza. Esta agua superficial fría, cuando tiene alta concentración de nutrientes, actúa como un fertilizante natural de litoral costero, poniendo a disposición de plantas y animales el alimento necesario para que realicen sus funciones reproductivas y de crecimiento (García, 2008).

El área de estudio es de interés debido a que la surgencia que se presenta en esta zona, es de suma importancia tanto en el ámbito económico como en el ámbito del medio ambiente, un ejemplo claro de la importancia de la surgencia es cuando existen huracanes estos se alimentan del agua caliente que se encuentra en la superficie del mar y cuando no existe la surgencia, los huracanes pueden impactar esta zona, provocando daños económicos y pérdidas humanas.

1.5 Hipótesis

Usando las técnicas de percepción remota empleando imágenes satelitales, permiten dar un seguimiento espacio-temporal de la surgencia.

En la zona de Cabo Corrientes la surgencia se presenta todos los meses con diferente intensidad y varía en los años que se presenta el fenómeno del Niño o la Niña.

Capítulo 2: Conceptos y definición

2.1 Surgencia.

La surgencia, (en inglés, upwelling), es un desplazamiento ascendente de aguas marinas, si bien el fenómeno ocurre también en lagos y embalse de agua dulce. Por el efecto de la *fuerza de Coriolis*, originada en la rotación de la Tierra, una columna de agua en movimiento experimenta una rotación de 90° con relación a la dirección del viento que la causó y que sopla a lo largo de la costa (este efecto se denomina transporte de *Ekman*) (Penchaszadeh, 1996).

De esta manera un viento que sople sobre la costa puede provocar un desplazamiento de aguas superficiales hacia mar adentro, compensado por un lento movimiento ascendente de aguas profundas en dirección a la costa, llamado surgencia o afloramiento de aguas.

Estas aguas de surgencia son de baja temperatura y sumamente ricas en nutrientes, resultantes de la remineralización por bacterias de los restos orgánicos que se van acumulando en las capas más profundas de la columna de agua. Al ponerse en contacto estas sales minerales con los organismos fotosintetizadores que habitan la capa superficial del mar, resulta una enorme productividad primaria, lo que se traduce, a través de la cadena alimentaria en una mayor biomasa pesquera (Penchaszadeh, 1996).

2.2 Tipos de Surgencias

El diagrama muestra varios tipos de surgencias: por transporte de Ekman; por acción de vientos constantes; surgencia en el océano abierto; y surgencia por diferencias de densidad (Las Surgencias: Importantes Procesos del mar Chileno, 1999).

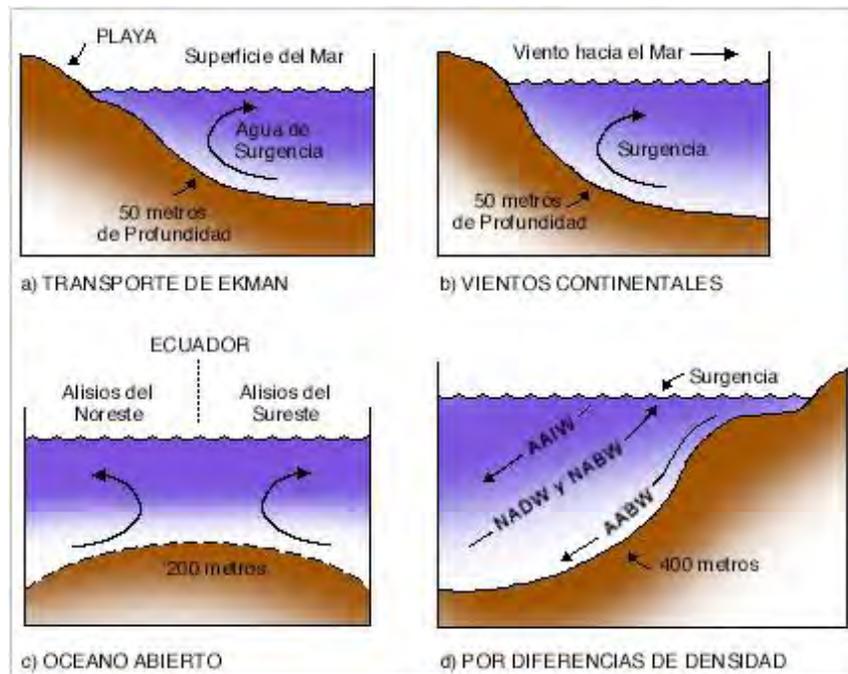


Figura 2: Diagramas de tipos de surgencias

Fuente: (Las Surgencias: Importantes Procesos del mar Chileno, 1999)

A. Por transporte de EKMAN. (Debida al efecto de Coriolis por el cual las aguas se desvían hacia la izquierda en el Hemisferio Sur).

El efecto de Coriolis hace que el agua que ha sido puesta en movimiento por los vientos sea desviada a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur. Sin embargo, debido a la fricción, las capas superficiales se mueven en un ángulo de 45° . Así, el cuerpo de agua puede pensarse como un conjunto de varios estratos, cada uno se mueve cada vez más lento por la fricción, en un movimiento en espiral cada vez más hacia la izquierda en el Hemisferio Sur hasta que la fricción es nula. La dirección del movimiento varía para cada capa, pero el flujo promedio es 90° a la izquierda del viento prevaeciente (Las Surgencias: Importantes Procesos del mar Chileno, 1999).

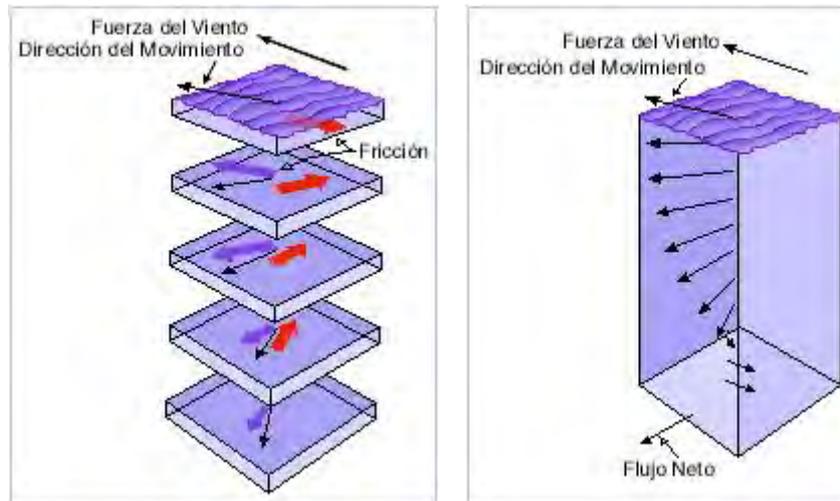


Figura 3: Efecto Coriolis

Fuente: (Las Surgencias: Importantes Procesos del mar Chileno, 1999)

B. Surgencia por acción de vientos continentales.

Ocurre con vientos constantes que soplan desde el continente hacia el centro del océano y que alejan el agua próxima al borde costero, haciendo emerger aguas por surgencia. Ocurre por ejemplo en las costas españolas del mediterráneo, por acción del mistral (fuerte viento continental).

C. Surgencia en el océano abierto

Es el caso de la surgencia ecuatorial debida a la divergencia producida por los vientos alisios que generan corrientes (Ecuatorial del norte y Ecuatorial del sur) que transportan agua hacia la derecha al norte del ecuador y hacia la izquierda al sur, generando surgencia.

D. Surgencia por diferencias de densidad.

Debidas a la circulación termohalina, en que el agua más densa se hunde y es reemplazada por aguas menos densas.

2.3 Importancia de las Surgencias

La importancia de las surgencias radica en el hecho que, al aportar aguas de mayor profundidad, la temperatura, por lo tanto, de dichas aguas es menor, lo que le confiere mayor posibilidad de oxígeno, que a su vez da mayor riqueza biótica, y, por ende, se constituyen en zonas de pesca de mayores perspectivas. También las surgencias tienen directa relación con las neblinas costeras, las que se presentan con mayores densidades y contenidos de agua en los sectores de presencia de dichas surgencias.

Tiene un gran impacto económico las surgencias en la pesca en cabo corrientes por medio de la explotación de diferentes especies pesqueras como son gorro, ostión, jaiba y pescados, ya que la presencia de la surgencia atribuye a que exista gran cantidad de nutrientes en el mar y esto favorece ampliamente a la reproducción de estas especies, y así mismo a la explotación en cabo corrientes, Jal.



Fotografía 1: Foto cerca de Cabo-Corrientes, Jalisco Sailboat "In the Mood" - Cabo Corrientes on a fairly calm day January 2007.

Fuente: cruiser380

2.4 Imágenes satelitales Oceánicas de temperatura

Desde 1973, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los E.U.A. (NOAA) ha estado involucrada en la determinación de la Temperatura Superficial del Mar (SST, por su nombre y siglas en ingles) a partir de datos obtenidos por satélite. El proceso de extraer información SST a partir de datos de radiómetros IR está bien establecido (referirse a la Figura 7.4). Cartas globales de la temperatura superficial del mar son producidas sobre bases operacionales. Están en forma de listados de computadora o mapas de contorno con mediciones espacialmente fluidas y radiométricamente corregidas. Ha sido posible con datos derivados de los satélites TIROS, NOAA y METEOSAT, producir cartas SST con una precisión de 0.5° - 2°C . en tiempo cercano al real (Fao, 2001).

Los satélites heliosincrónicos de la serie NOAA proporcionan fotografías de alta resolución (1 km) dos veces al día, mientras que los satélites geoestacionarios (GOES, METEOSAT) proporcionan fotografías cada media hora, pero con una resolución de únicamente 5 km. Los satélites geoestacionarios, son utilizados principalmente para áreas cercanas al ecuador donde la resolución del sensor es óptima. Para latitudes mayores a 40° , la distorsión de la imagen es generalmente demasiado extrema para usos operacionales (Fao, 2001).

La ocurrencia de nubes o bruma contaminan los datos en cierto grado, pero el conocimiento de las variaciones o tendencias diarias, permite la realización de correcciones por interpolación. La información real del mar proporcionada por los barcos, proporciona ayuda adicional para deducir los campos precisos de temperatura (Fao, 2001).

Al día de hoy, los mapas SST son principalmente utilizados por las flotas pesqueras de atún y salmón. Es bien sabido que algunas especies de atún se alimentan en el lado caliente del mar abierto en los frentes térmicos, mientras que el salmón se alimenta en el lado frío hacia el continente. La ocurrencia de estas especies en lagunas de puede estar correlacionada también con la SST. Adicionalmente, algunas características tales como giros, remolinos, inversiones y surgencias, las cuales son de importancia para las pesquerías, pueden ser detectados utilizando mapas SST (Fao, 2001).

2.5 Fenomeno del niño y la niña

La conexión entre los océanos y la atmósfera de la Tierra tiene un impacto directo sobre las condiciones meteorológicas y climáticas que experimentamos. El Niño y La Niña, así llamado El Niño Oscilación del Sur (ENOS), son salidas periódicas de temperatura superficial del mar esperados en el Océano Pacífico ecuatorial. Estas temperaturas oceánicas normales más cálidas o más frías que pueden afectar los patrones climáticos en todo el mundo, influyendo en alto y bajo sistemas de presión, vientos y precipitaciones. ENOS puede traer humedad muy necesaria a una región, mientras causando extremos de agua demasiado o demasiado poco en los demás (Fao, 2001).

La comprensión de los procesos que impulsan este tipo de interacciones es un componente clave en la mejora de las predicciones y avisos. La División de Ciencias Físicas ESRL estudia varios aspectos de ENOS incluyendo sus precursores, la predicción, la diversidad, y el clima y los ecosistemas impactos. Esta información puede ayudar a mantener a las comunidades seguras y guías de las decisiones relacionadas con temas como la administración del agua, la planificación de emergencia y resiliencia de los ecosistemas.

2.5.1 El niño

El fenómeno El Niño ocurre cuando los vientos alisios se debilitan y desde Indonesia y Australia llegan a Suramérica las aguas cálidas del Pacífico y desplazan las aguas frías de la corriente de Humboldt (El niño y la niña, 2004).

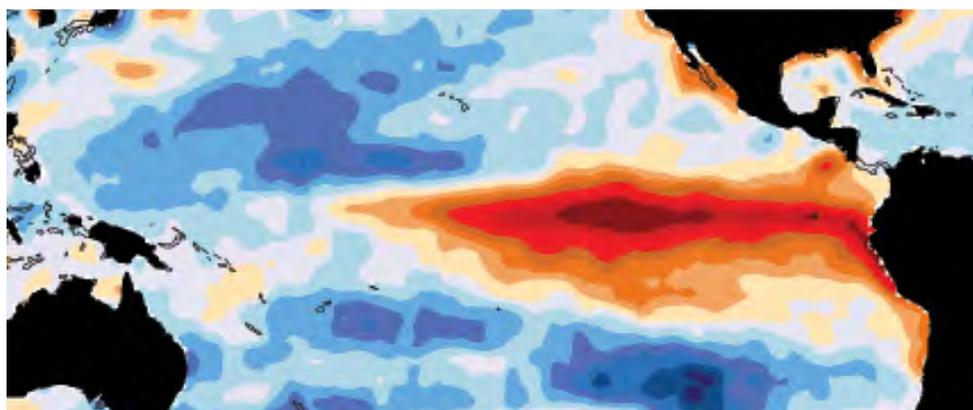


Figura 4: Fenómeno el niño

2.5.2. La niña

El fenómeno La Niña ocurre cuando los vientos alisios se intensifican y quedan en la superficie las aguas profundas más frías del Pacífico ecuatorial y disminuye la temperatura superficial del mar (El niño y la niña, 2004).

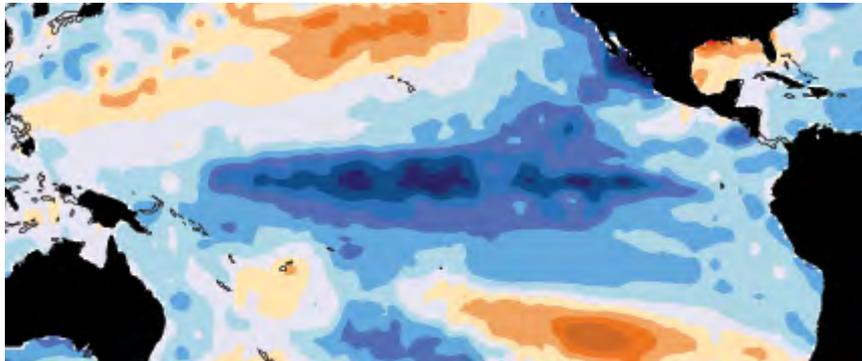
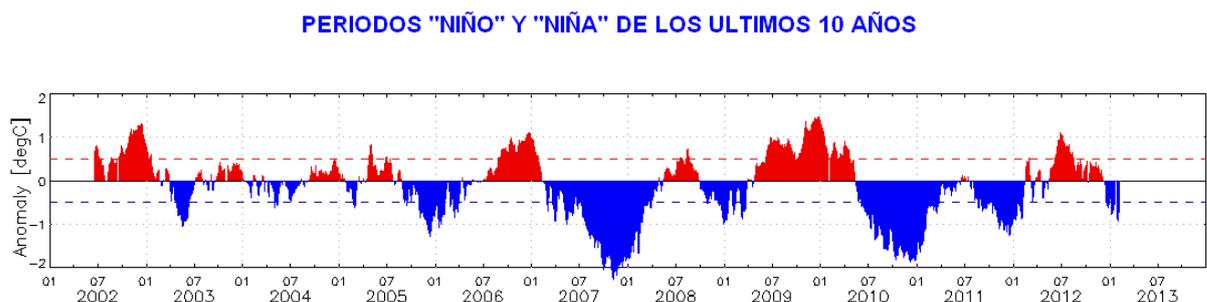


Figura 5: Fenómeno de la niña

2.5.3 Índice de ocurrencia del niño y la niña

Índice de ocurrencia del niño y la niña del 2002 en adelante

Se presenta a continuación una gráfica en donde se puede apreciar en forma sencilla, a lo largo de los últimos 10 años, la cantidad e intensidad del fenómeno climático de escala global ENOS ("El Niño Oscilación del Sur") (Met Ba, 2008-2016).



Gráfica 1: Anomalías estandarizadas de la temperatura superficial del océano Pacífico del este (Áreas rojas = El niño y áreas azules = La niña).

Fuente: (Met Ba, 2008-2016)

En esta grafica podemos observar que el fenómeno del niño se presentó con intensidad en los años del 2002-2003, 2006-2007, 2009-2010 y 2012; y el fenómeno de la niña en los años 2007-2008 y 2010-2011.

Capitulo 3: Análisis Espacio- Temporal de la Surgencia.

3.1 Antecedentes

La surgencia de cabo Corrientes. Se trata de una surgencia costera intermitente con mayor intensidad en primavera debida a la topografía y a los vientos (fenómeno de punta). Se extiende a todo lo largo de las costas de Jalisco y Nayarit (Zavala, J.; Et all., 2006).

3.2 Imágenes satelitales empleadas en la detección de las surgencias.

3.2.1 Imágenes Modis



Figura 6: Satelite con sensor MODIS.

Fuente: (Ficha Técnica TerraAqua, 2004)

Modis is un instrumento clave que abordan los satelites de Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM). La orbita del satelite Terra alrededor de la tierra va de norte a sur a travezando el ecuador en la mañana, mientras que el satelite Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador en la tarde (Ficha Técnica TerraAqua, 2004).

Terra MODIS y Aqua MODIS estan viendo toda la superficie de la tierra cada 1 o 2 dias, la adquisicion de datos se obtienen de 36 bandas espectrales con diferentes longitudes de ondas (Labrador, 2015).

Estos datos van a mejorar nuestra comprensión de la dinámica global y los procesos que ocurren en la tierra , en los océanos y en la atmósfera inferior.

MODIS está jugando un papel vital en el desarrollo de modelos de sistemas validos, globales, modelos interactivos de la tierra capaces de predecir el cambio global con precisión suficiente para ayudar a los responsables políticos en la toma de decisiones acertadas en relación con la protección de nuestro medio ambiente.

3.2.2 Algoritmos para la obtencion de la temperatura superficial del mar

Descripcion teorica

Dada la calibración de las radiancias de MODIS, que se derivan de la temperatura exacta de la superficie superficie del mar y las estadísticas asociadas, dependen de una habilidad para corregir los efectos que intervienen de la atmosfera en estas radiancias espectrales y para proporcionar mecanismos de asimilación que cubren las ventanas de tiempo-espacio de interés.

La detección de la temperatura superficial del mar a través de la atmósfera con infrarrojo térmico está sujeta a varios factores ambientales que degradan la exactitud de la temperatura percibida.

Las principales fuentes de error en la determinación radiométrica son:

- a) Destello del sol (MODIS bandas 20,22 y 23)
- b) Absorción del vapor de agua en la atmósfera (MODIS bandas 31 y 32)
- c) Rastro de la absorción de gas (todas las bandas)
- d) variaciones episódicas en la absorción de aerosol debido a erupciones volcánicas, el polvo terragenous sopladados hacia el mar, etc. (todas las bandas).

Aunque radiómetros satelitales detectan la temperatura de radiación del océano conocido como " piel" es decir la temperatura superficial, los resultados

del satélite son comúnmente comparados con mediciones de temperatura mayor en los superiores a varios metros del océano.

La interacción mar-aire modifica la relación entre estas dos variables y causan diferencias observables en el grueso y la radiación de temperaturas (Robinson, et al., 1984; Cornillon y Stramma, 1985; Schluessel et al., 1990).

Tenemos que estar preparados para cuantificar las diferencias regionales y temporales entre temperaturas superficiales. Este es uno de los objetivos al medir la Temperatura superficial del mar la calibración en la medición y a su vez la validación de la actividad.

La transmisividad atmosférica integrada sobre cada una de las bandas infrarrojas MODIS (20, 22, 23, 31, y 32) difiere.

En consecuencia, los algoritmos se pueden construir dependiendo de las diferencias de temperatura medida entre estas bandas (Anding y Kauth, 1970).

El más simple tal algoritmo asume que, para pequeñas cantidades acumulativas de vapor de agua, la atmósfera es suficientemente delgada (ópticamente) que la diferencia entre la temperatura medida en cualquier banda y la temperatura superficial puede ser cierto parametrizado como una simple función de la diferencia entre las temperaturas medidas en dos bandas con diferentes transmisiones atmosféricas.

Estamos utilizando el código de transferencia numérica radiativa línea por línea desarrollada en Rutherford Appleton Laboratory en el Reino Unido como base para el modelado de la absorción atmosférica y procesos de emisión en las bandas infrarrojas MODIS: (Llewellyn -Jones, et al, 1984; závody, et al., 1995).

Algoritmos lineales (MCSST) se basan en una fórmula de la siguiente forma para la temperatura de la superficie T_s :

$$T_s = \alpha + \beta T_i + \gamma(T_i - T_j) \quad \text{Ecuación 1: Temperatura de la superficie}$$

Donde los T_i 's son las temperaturas de brillo en varias bandas para un lugar determinado, los coeficientes α , β y γ dan la corrección parametrizada (Deschamps and Phulpin, 1980; Llewellyn-Jones et al., 1984), o puede derivarse empíricamente desde los conjuntos compuestos de observaciones de superficie y por satélite (Prabhakara, et al., 1974).

En la ecuación 1 tal algoritmo construido sobre las bandas 31 y 32 remplazaría i , j para el 31 y 32 respectivamente. Las relaciones equivalentes

pueden ser contruidos por algunas de las dos bandas pares. α , β y γ sus valores son -1, 1 y 3 respectivamente, para un típico algoritmo AVHRR 4,5 (T_s en °C) (McClain et al., 1983).

Aunque la Ecuación (1) es fácil de implementar, no se permite la corrección para los cambios en el aire debido a el escaneo angular de masa. (Llewellyn-Jones et al., 1984)

Desarrollar una tabla para la simulación numérica que permite modificaciones en la ecuación 1 en la siguiente forma:

$$T_s = \alpha + \beta' T_i + \gamma'(T_i - T_j) + \delta(1 - \sec(\theta)) \quad \text{Ecuación 2: Temp superficie en simulación numerica}$$

donde θ es el ángulo cenital y δ es es un coeficiente de ángulo de exploración adicional. Este enfoque reduce los errores en grandes angulas de exploración para atmosferas húmedas por más de 1K.

Para la estimación de la temperatura MODIS Sea_sfc (proto-algoritmo) se aplicará la corrección que es una variación de la ecuación (2) para múltiples pares de bandas disponibles. Esto se combina con un criterio objetivo basado en la dispersión observada para una región local poder determinar que combinación de bandas utilizar. También vamos a examinar la posibilidad de implementar una versión de la técnica NLSST (Walton et al., 1990), que proporciona un enfoque no lineal a la corrección atmosférica.

3.3 Metodología para la delimitación de la surgencia

Mediante imágenes satelitales térmicas se puede estudiar el comportamiento de las surgencias en la zona de cabo corrientes, Jalisco.

Para poder determinar y delimitar cuando se presenta una surgencia se realizó a través de 4 transectos ubicados en: costa, a 10 km de la costa, 50km de la costa y 100km de la costa. Los transectos son líneas trazadas a nuestra conveniencia que cruzan nuestra zona de estudio, las ocupamos para poder extraer información de la imagen satelital.

La elaboración de mapas promedios semanales, quincenales o mensuales de TSM tiene por objetivo es identificar la cobertura y temporalidad de muchos procesos dinámicos (corrientes, giros, etc) que gobiernan el medio marino y su influencia sobre la disponibilidad, distribución y abundancia de recursos hidrobiológicos (Cañon, 2012).

El procedimiento implica capturar información de la superficie marina (océano) a través del sensor AVHRR a bordo de la plataforma satelital NOAA, de la cual posteriormente se decodifica la señal por medio de la estación de trabajo HRPT. Los criterios que se tienen en cuenta para el procesamiento de la información, además de la cobertura espacial seleccionada, son la nubosidad y la corrección geométrica.

Para poder realizar este procedimiento se contó con la ayuda del programa ENVI para poder trazar cada transecto.

3.3.1 Promedios mensuales de TSM

Para construir la presente climatología se analizaron 132 imágenes de composición mensual a las que se les extrajo información mediante 4 transectos en la zona de estudio, ubicados paralelamente de la costa a 10km, 50km y 100km cada uno.

Las siguientes figuras (7-10) se representan los transectos de los promedios mensuales de TSM.

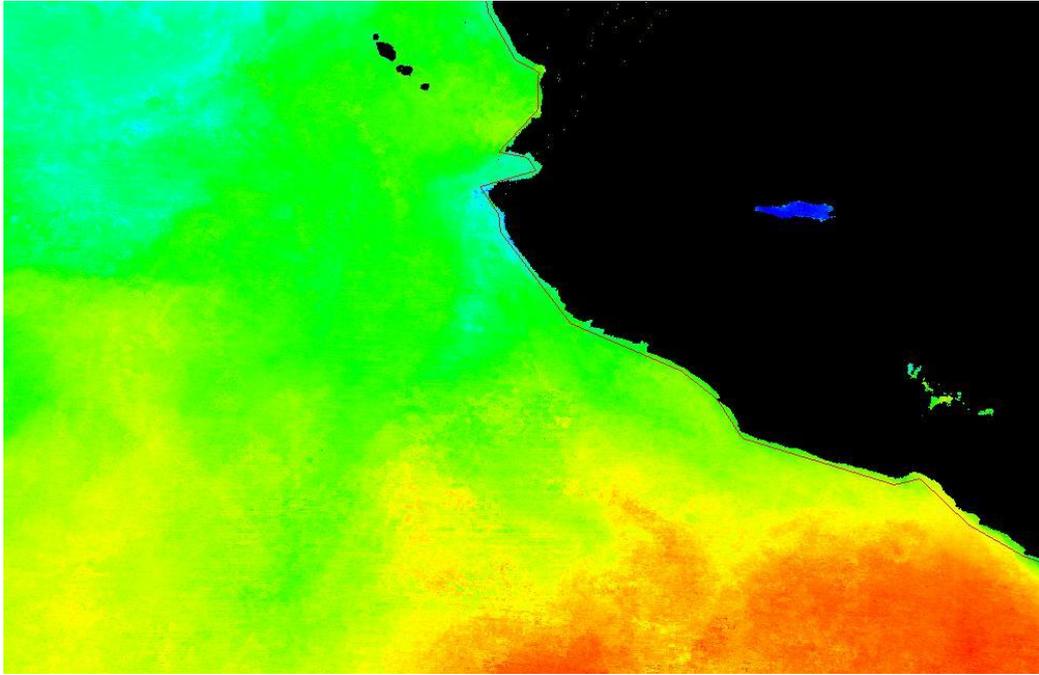


Figura7:TransectoCosta

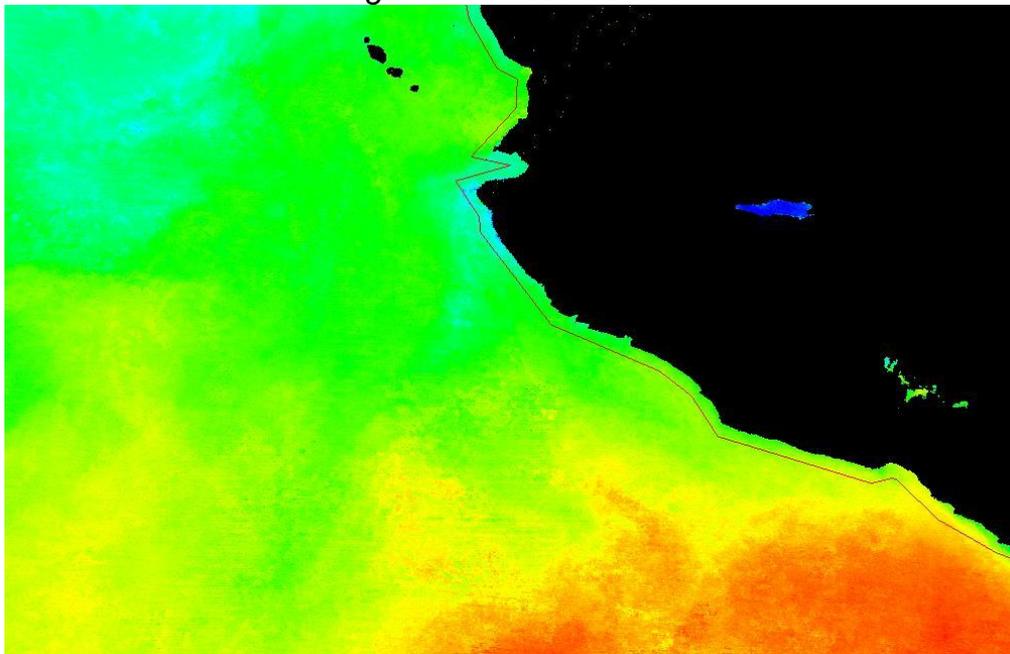


Figura8: Transecto 10km

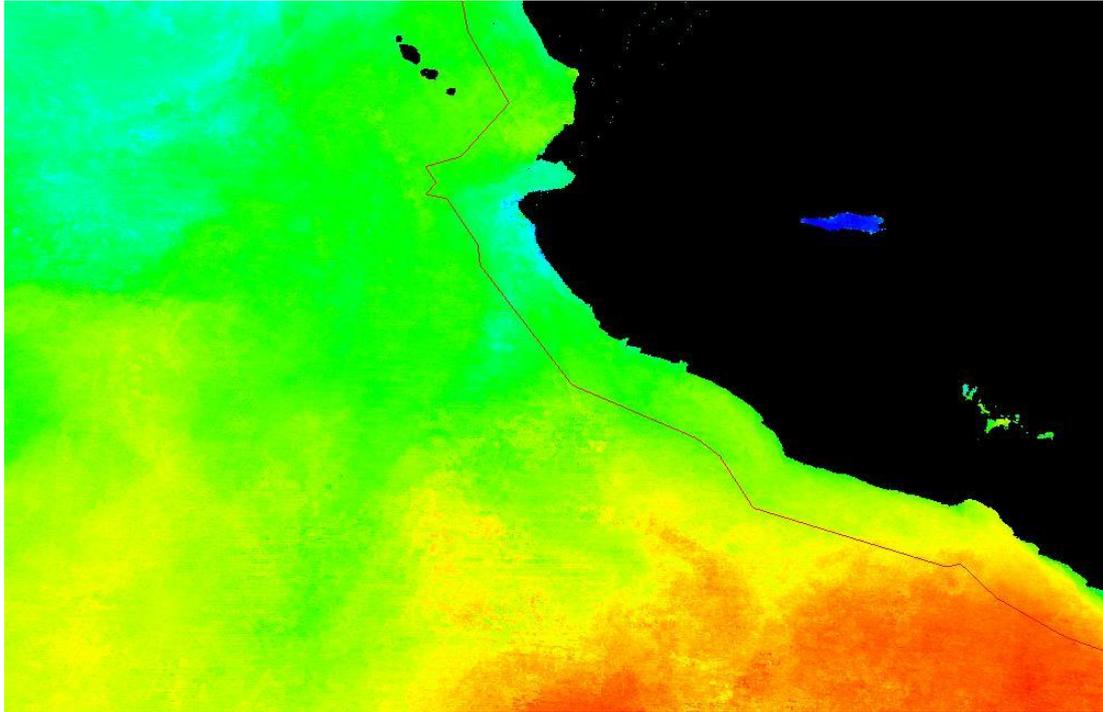


Figura 9: Transecto 50km

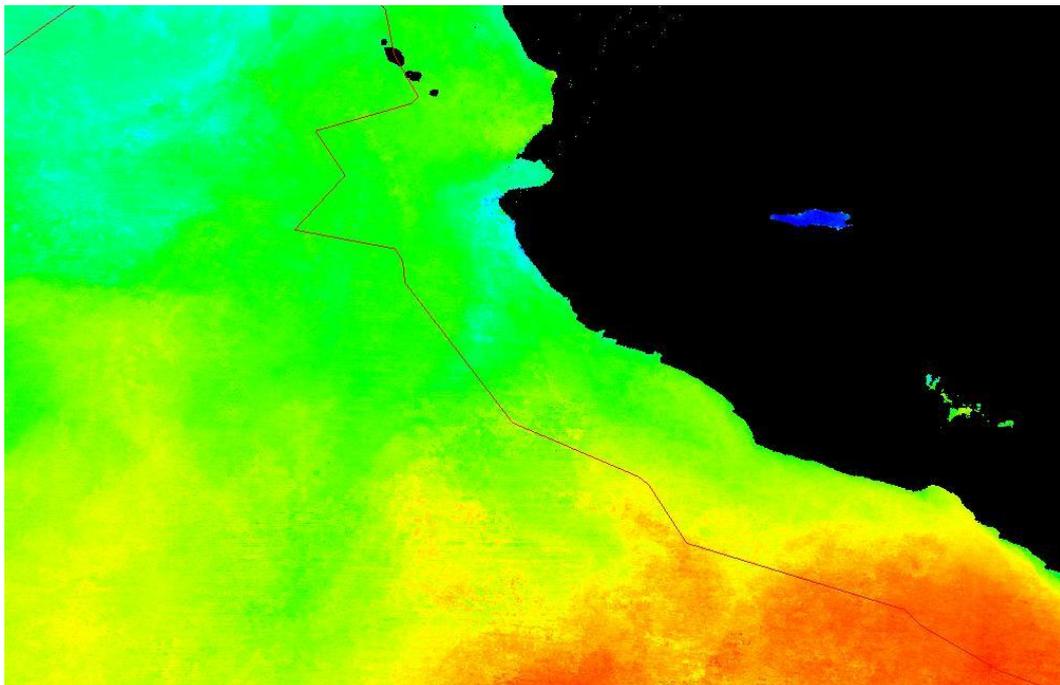


Figura 10: Transecto 100km

Con la ayuda de estos transectos se obtuvieron los valores de temperatura de estudio para determinar y delimitar las surgencias que se presentan en esta zona.

3.3.2 Promedios móviles

Con la finalidad de filtrar el ruido inherente al sistema de medición radiométrica, se aplicaron a cada mes 3 promedios móviles de 7, 5 y 3 puntos en columnas.

Posteriormente se graficaron los datos para tener la información de los años en cada transecto.

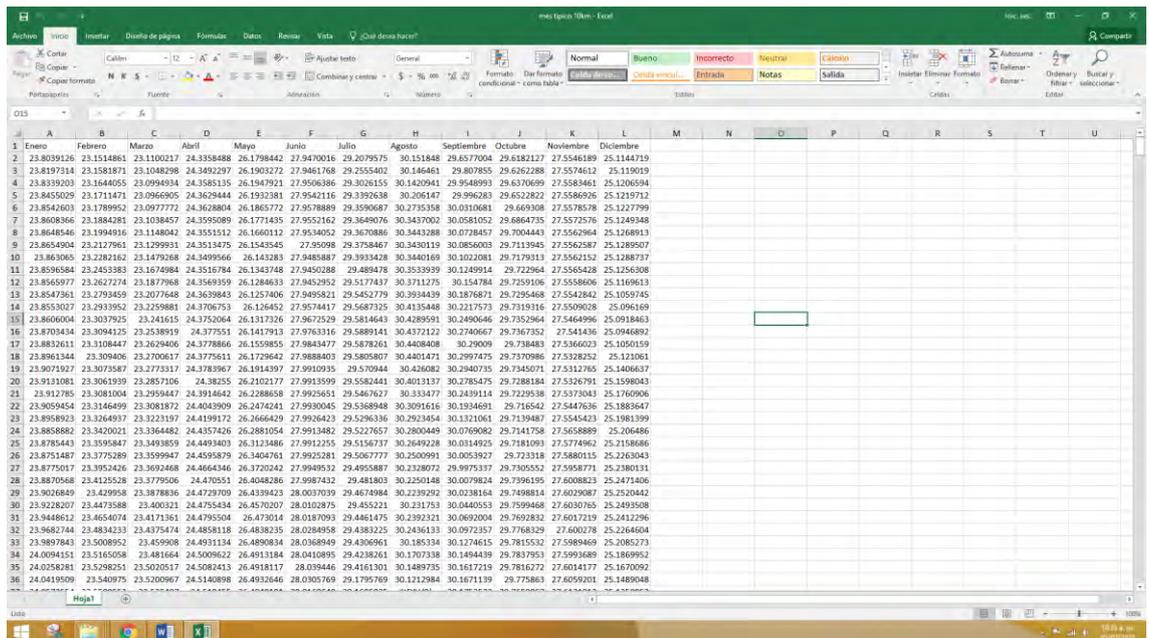


Figura 11: Programa Excel.

3.4 Materiales, elección del instrumento y recursos

El acervo de imágenes de composición mensual registrado por el satélite de orbita MODIS, correspondientes al periodo de enero 2003 a diciembre 2013, fue proporcionado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Las imágenes se procesaron en ENVI para extraer información de la temperatura del mar mediante 4 transectos antes mencionados, para el proceso de análisis de estos datos utilizamos Excel para sacar promedios móviles y así poder eliminar el ruido en la información obtenida de las imágenes.

Posteriormente en el programa de Origen se procesan los datos y se sacan tablas para poder detectar la surgencia de una manera más visual.

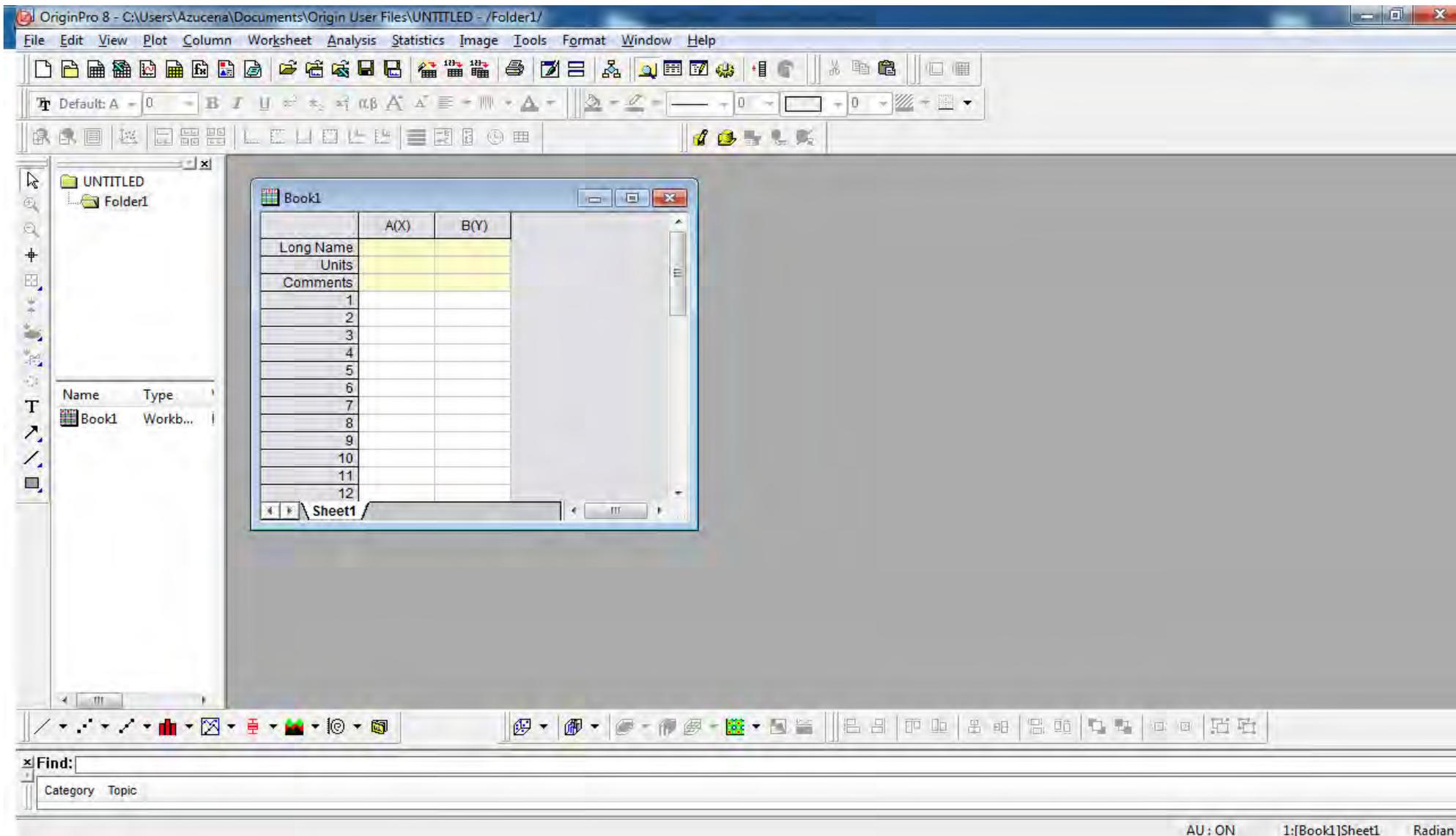


Figura 12: Programa Originl.

Capitulo 4: Resultados.

4.1 Formas y estructuras termicas que se presentan en una imagen de TMS.

Las imágenes obtenida de plataformas satelitales permiten estimar parametros tales como la TSM, lo cual da la posibilidad de evaluar y monitorear la dinámica de temperatura predominante en alguna zona especifica y su influencia sobre los recursos hidrobiológicos que se desarrollan en el medio.

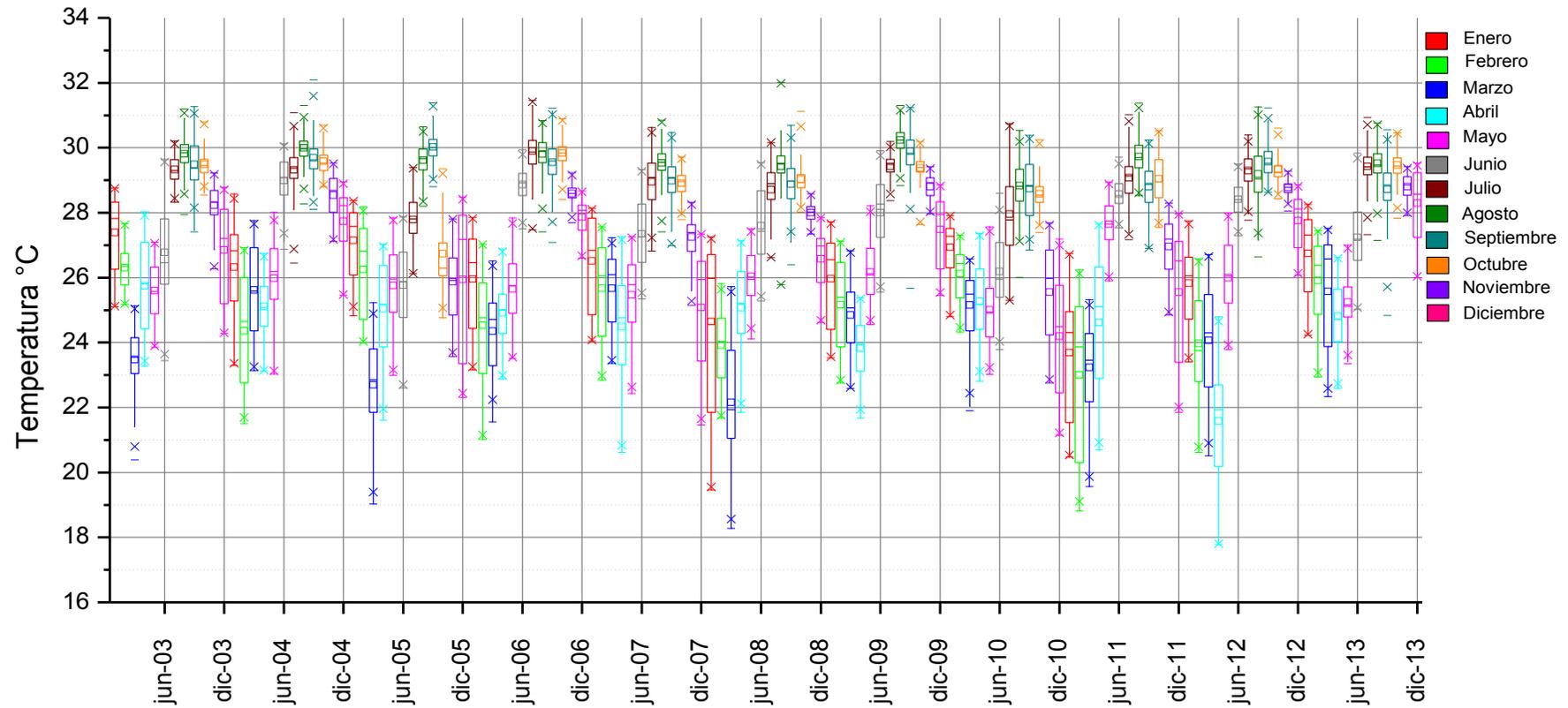
La mayor limitación de esta técnica estriba en que la temperatura es solo representativa de una capa extremadamente delgada, de dimensiones moleculares, denominada capa de piel del océano, cuya emisión en onda larga da lugar , tras un oportuno tratamiento (calibración radiométrica y corrección atmosférica) a los mapas de temperatura superficial del mar, (Pérez – Marrero, J. et al, 1998).

4.2 Analisis temporal de la surgencia

Este analisis consiste en analizar como estuvo variando la temperatura a lo largo de este periodo que comprende de enero del 2003 a diciembre del 2013.

En estas graficas se puede ver a simple vista que mes estuvo mas caliente a lo largo del periodo o que mes estuvo mas frio, asi tambien como que año fue el mas frio en el periodo en cada transecto.

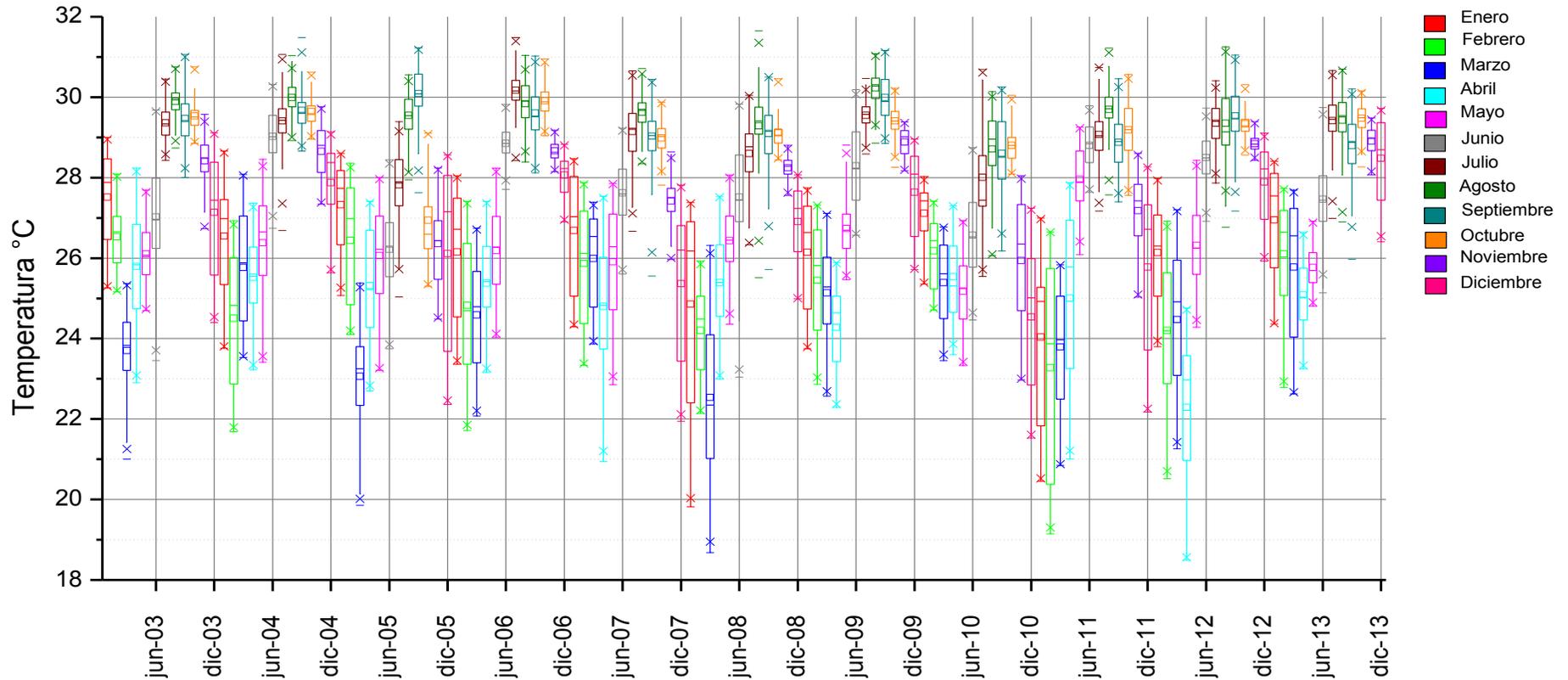
Transecto Costa



Gráfica 2: Análisis temporal del transecto Costa.

En la gráfica 2 de costa se pueden apreciar que todos los años mantuvieron una temperatura máxima promedio de 28.8 °C pero también se puede apreciar que en las temperaturas mínimas los meses de marzo del 2003, marzo del 2005, marzo del 2008, enero, febrero y marzo del 2011 y abril del 2012 fueron los meses más fríos respecto a la media de 24.78 en el periodo estudiado del 2003 al 2013.

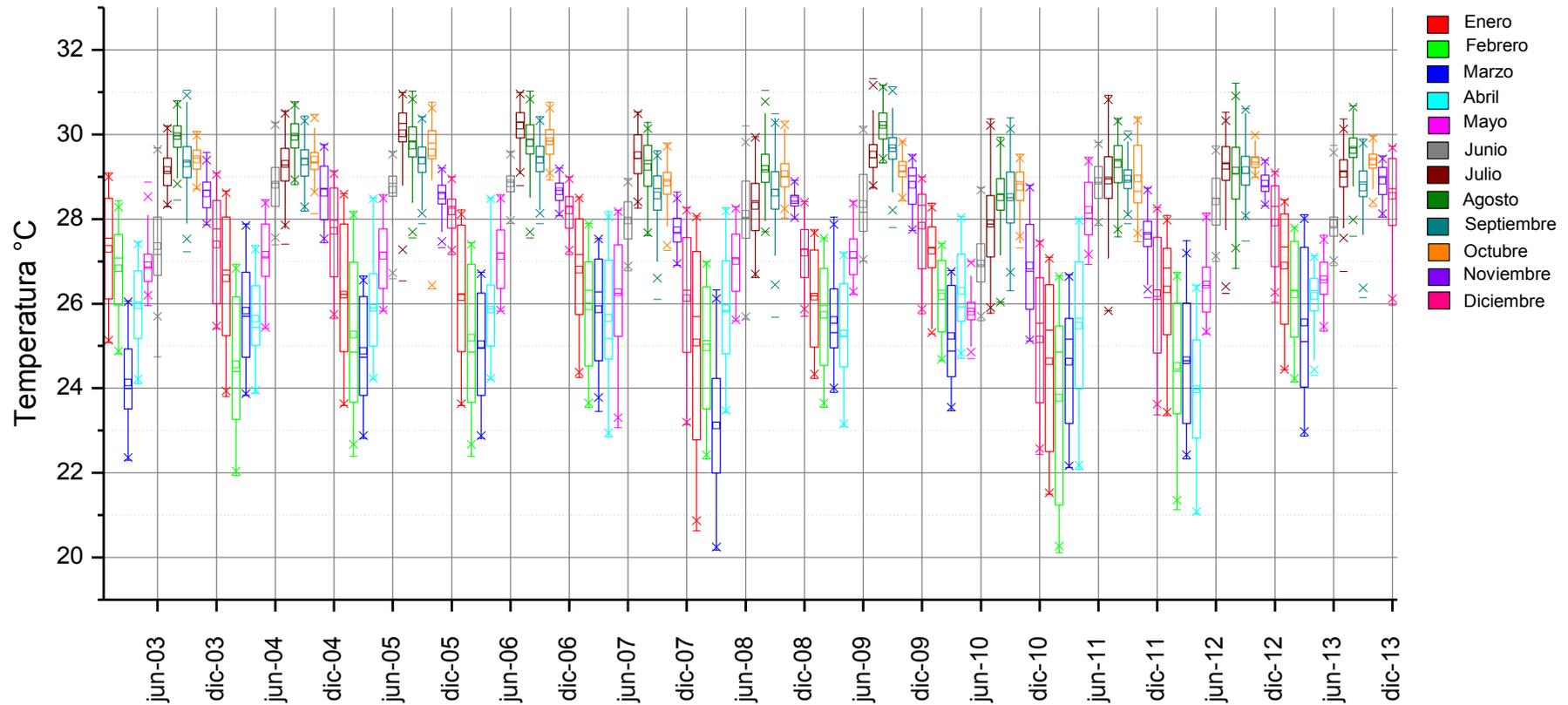
Transecto 10 km



Gráfica 3: Análisis temporal del transecto 10Km.

En el grafico 3 del transecto de 10km se pueden apreciar que todos los años mantuvieron una temperatura constante máxima de 28.92°C pero también se puede apreciar que en las temperaturas mínimas los meses de marzo del 2008, abril del 2012, fueron los meses más fríos respecto a la media de 25.08°C en el periodo estudiado del 2003 al 2013.

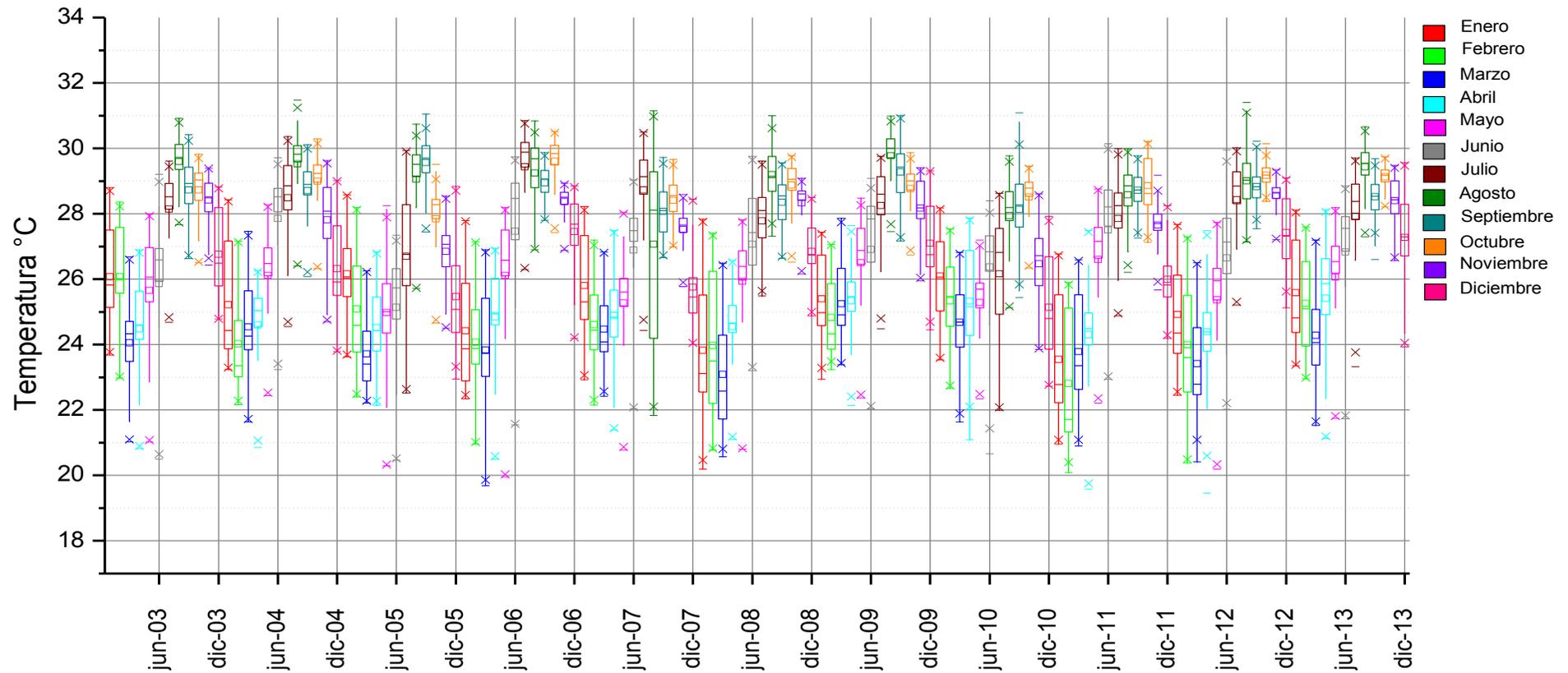
Transecto 50 km



Gráfica 4: Análisis temporal del transecto 50Km.

En esta grafica 4 del transecto de 50km se pueden apreciar que todos los años mantuvieron una temperatura constante máxima de 29.04 °C pero también se puede apreciar que en las temperaturas mínimas los meses de marzo del 2008, febrero del 2011, fueron los meses más fríos respecto a la media de 25.61°C en el periodo estudiado del 2003 al 2013.

Transecto 100km

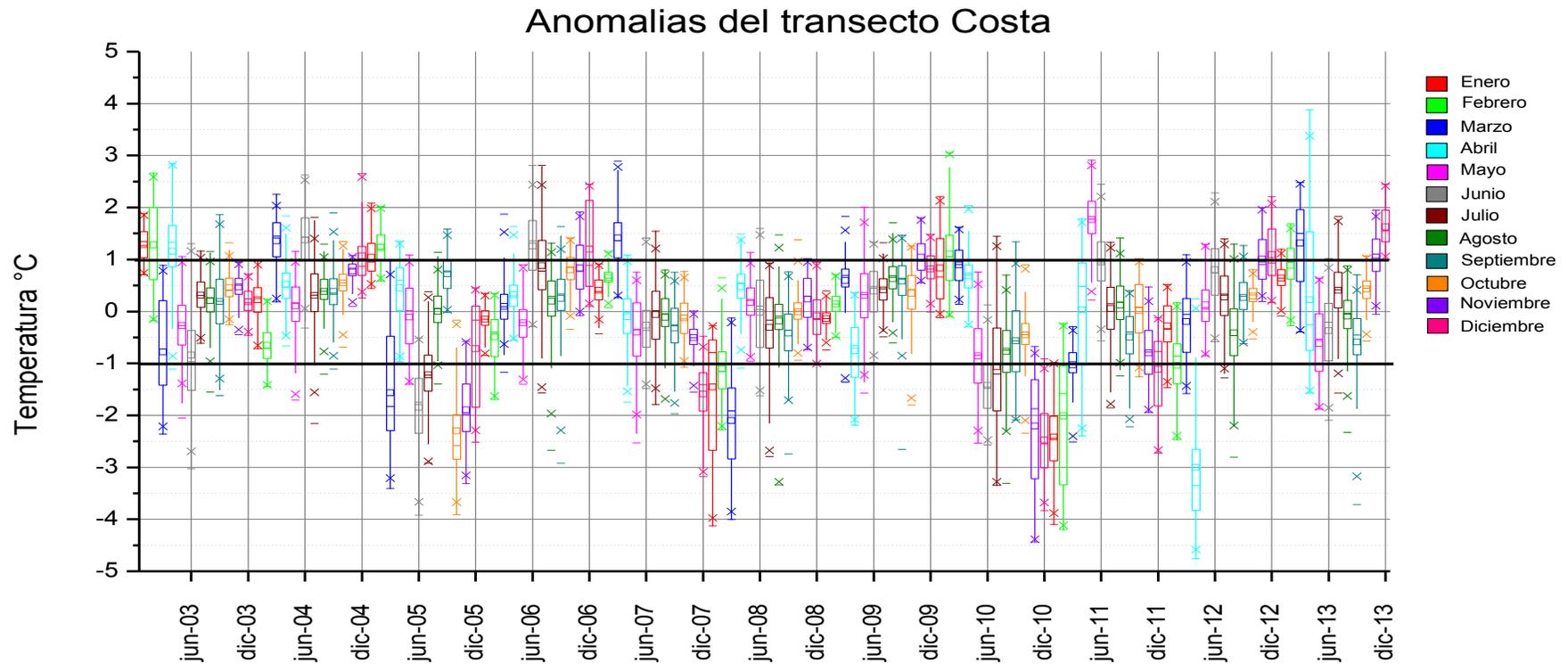


Gráfica 5: Análisis temporal del transecto 100Km.

En la gráfica 5 del transecto de 100km se pueden apreciar que todos los años mantuvieron una temperatura constante máxima de 28.78 °C pero también se puede apreciar que en las temperaturas mínimas, el mes de febrero del 2011 fue el mes más frío respecto a la media de 23.68°C en el periodo estudiado del 2003 al 2013.

4.3 Anomalías

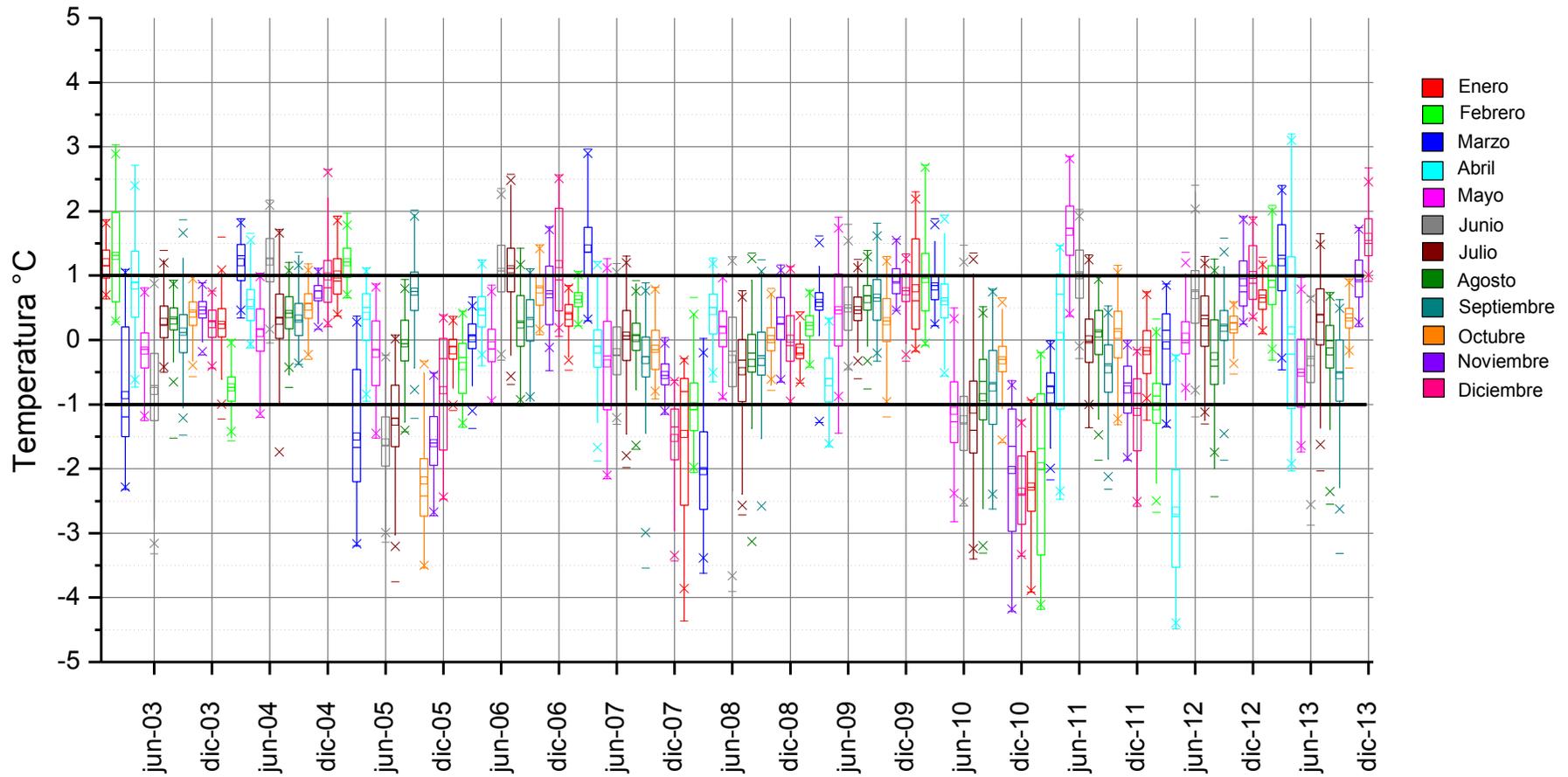
En las gráficas siguientes se muestran las anomalías del transecto Costa, en esta se puede observar de manera más visual cuando se presenta una mayor diferencia entre los valores normales.



Gráfica 6: Anomalías del transecto costa.

En la gráfica 6 se muestran las anomalías del transecto Costa, en esta se puede observar de manera más visual cuando se presenta una mayor diferencia entre los valores normales.

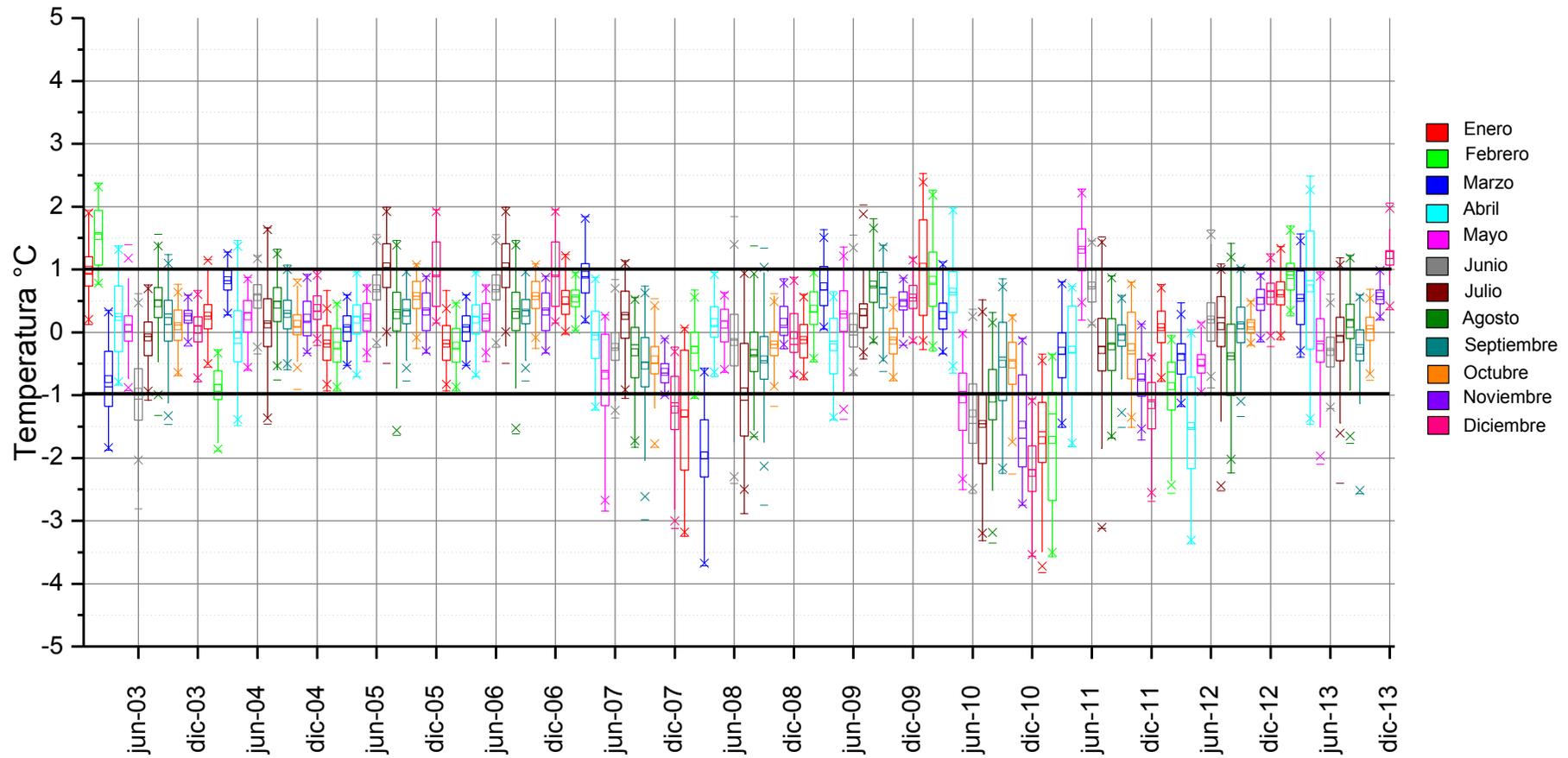
Anomalia del transecto 10 km



Gráfica 7: Anomalías del transecto 10 km.

En la gráfica 7 se muestran las anomalías del transecto 10km, en esta se puede observar de manera más visual cuando se presenta una mayor diferencia entre los valores normales.

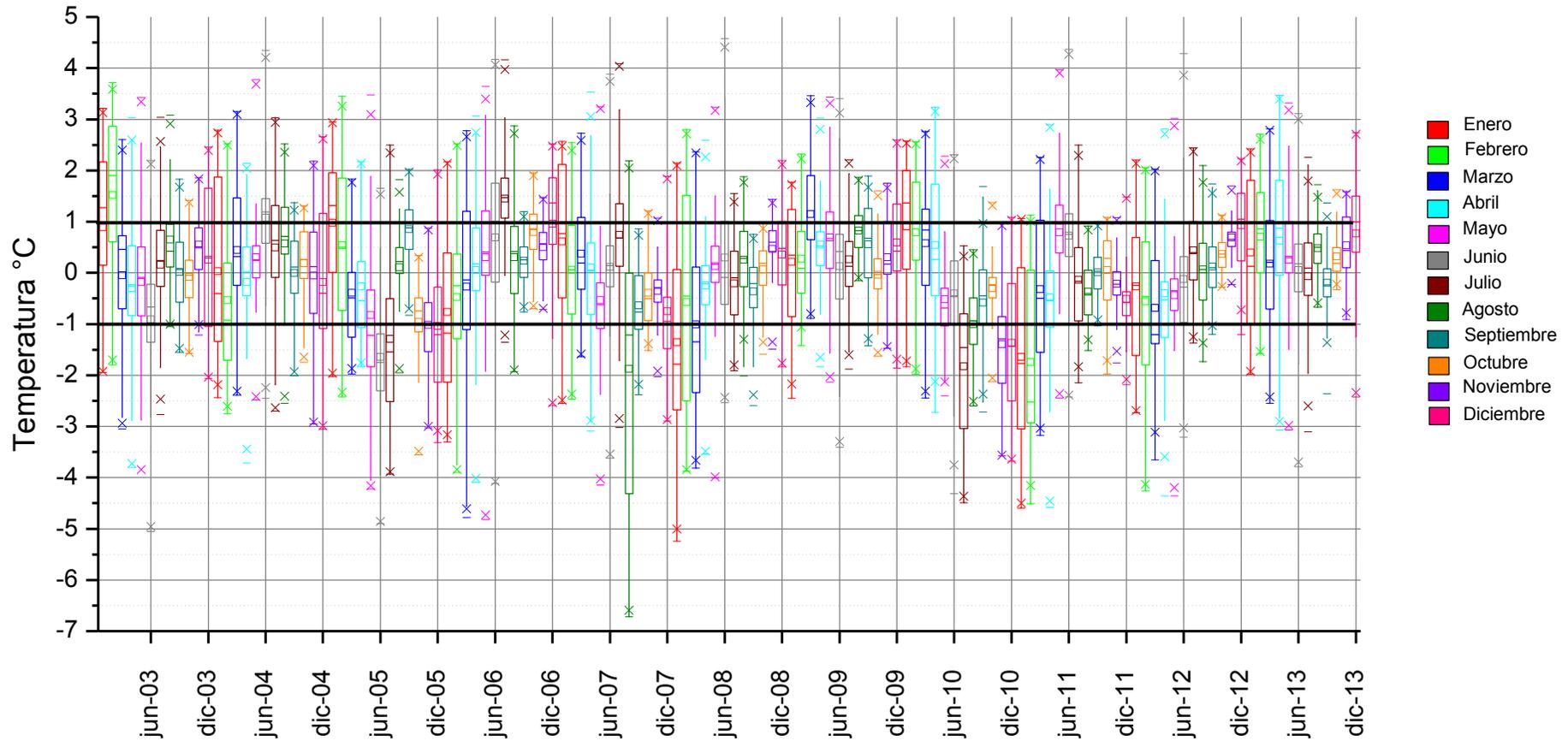
Transecto a 50 km



Gráfica 8: Anomalías del transecto 50 km.

En la gráfica 8 se muestran las anomalías del transecto 50km, en esta se puede observar de manera más visual cuando se presenta una mayor diferencia entre los valores normales.

Transecto 100 km

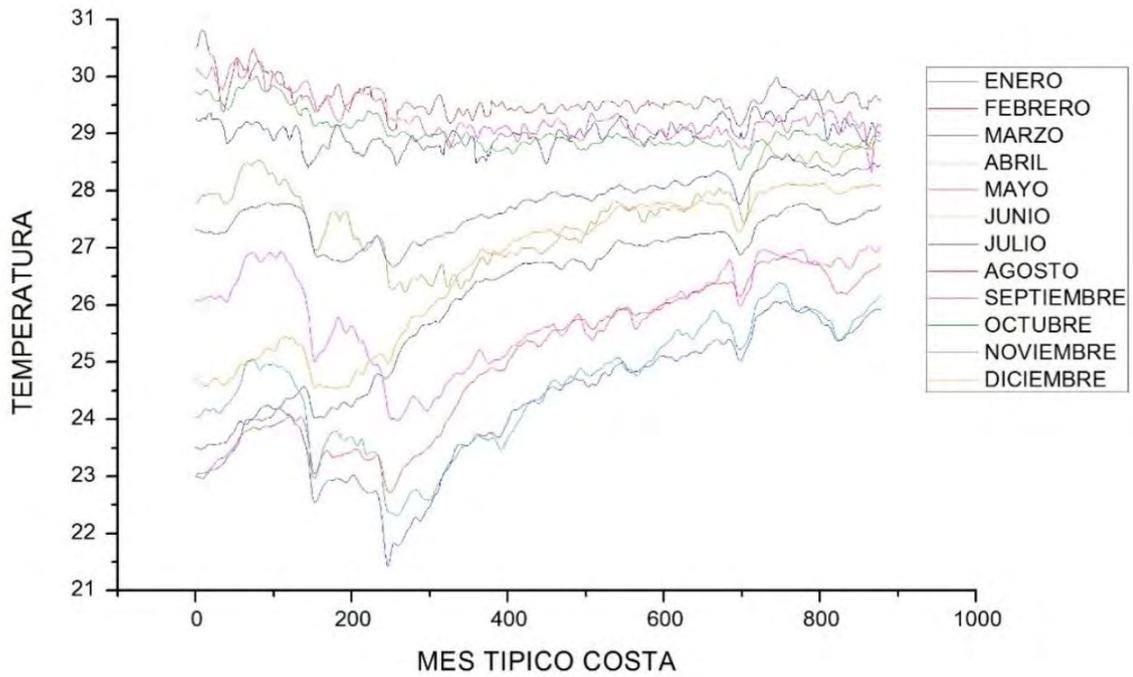


Gráfica 9: Anomalías del transecto 100 km.

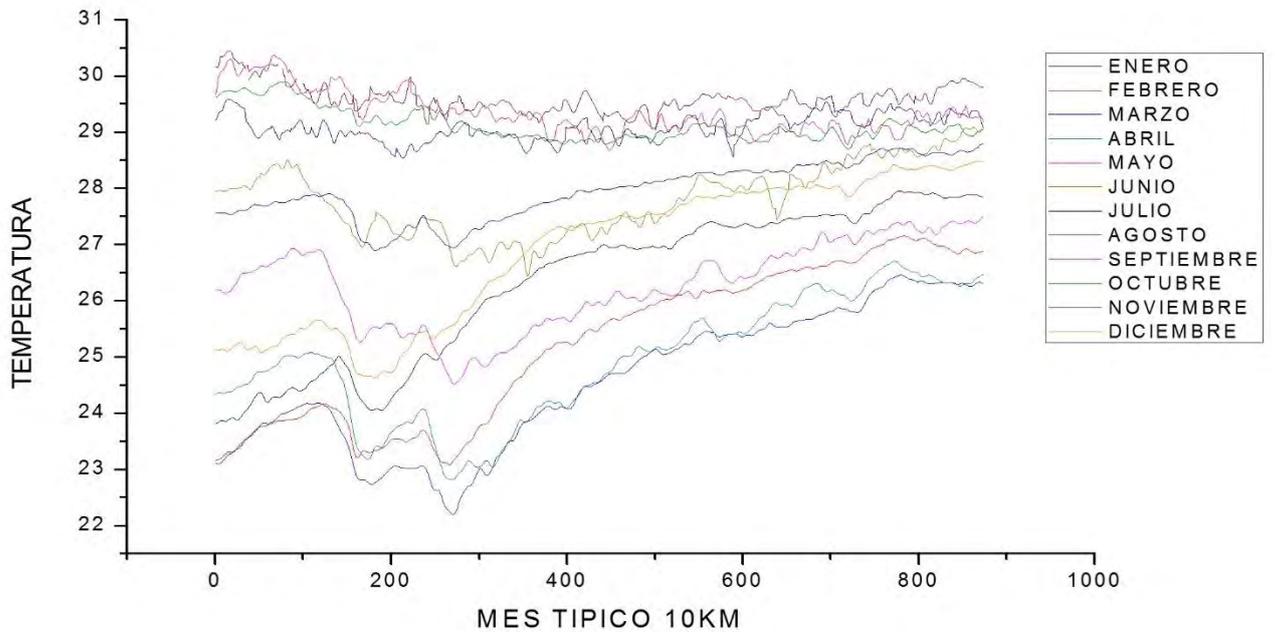
En la gráfica 9 se muestran las anomalías del transecto 100km, en esta se puede observar de manera más visual cuando se presenta una mayor diferencia entre los valores normales.

4.4 Analisis espacial de la surgencia

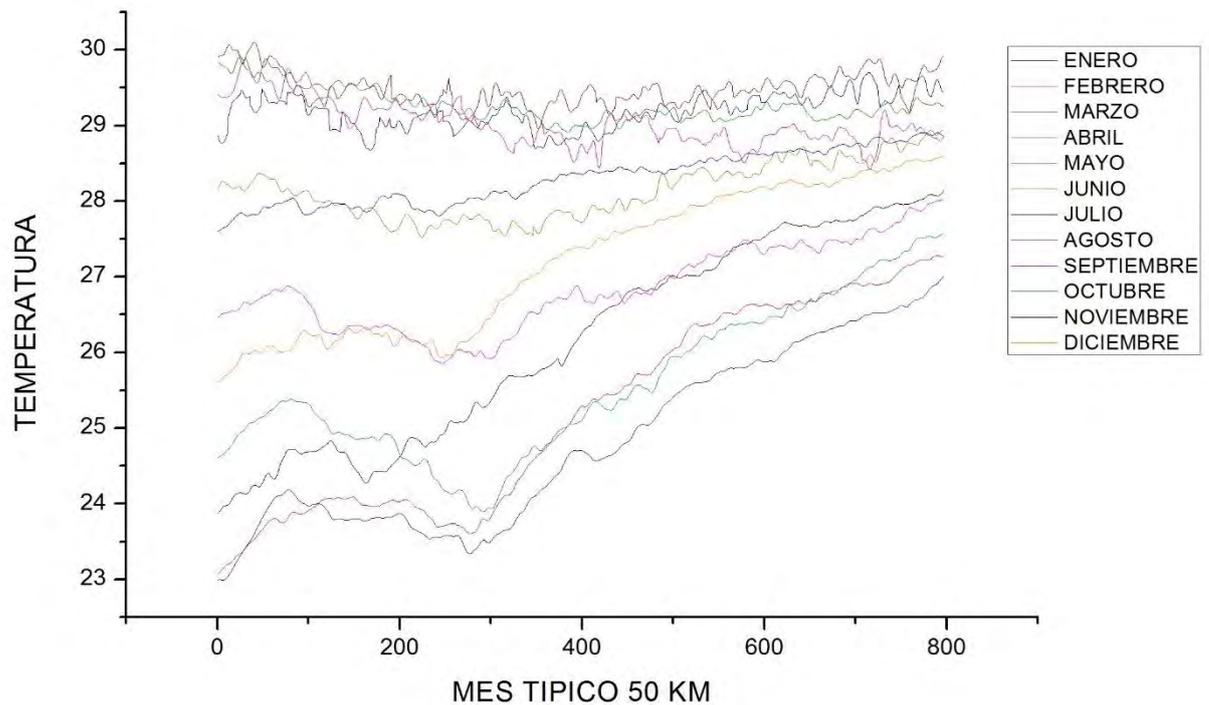
Se analizaron todos los meses de los cuatro transectos, para todos los años,



Gráfica 10: Mes típico del transecto costa.



Gráfica 11: Mes típico del transecto 10 km.



Gráfica 12: Mes típico del transecto 50 km.

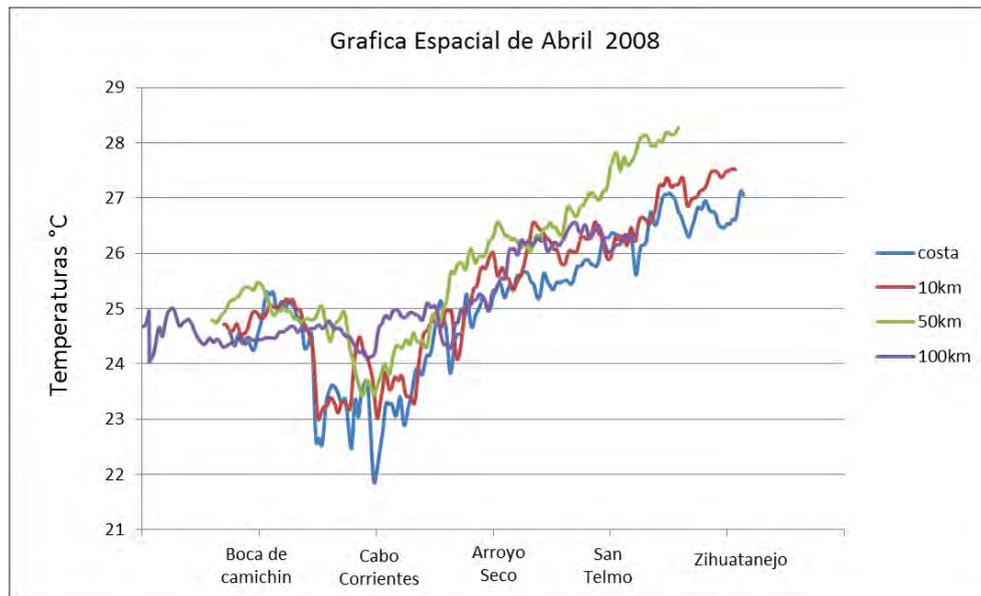
De los gráficos podemos ver que en la costa la surgencia se presenta del mes de Noviembre al mes de Marzo, para la de 10 km del mes de Diciembre al mes de Marzo y finalmente para la de 50km la surgencia se representa del mes de Noviembre a Mayo a lo largo de todos los años.

Una vez analizada las gráficas se analizaron los meses más representativos que se describen a continuación:

Se analizaran los meses de abril de los años 2007 y 2008, en la grafica 10 y 11, de abril del 2007 las temperaturas decien den a 20°C mientras que en el 2008 a 21°C, es un grado de diferencia que existe entre ambos años, esto podria deberse a el fenomeno del niño o la niña, ya que en el año 2007 se presento el fenomeno de la niña (temperaturas mas frias) mientras que en el 2008 se presento el fenomeno del niño (temperaturas mas calientes) , esto pudo haber afectado a la surgencia de nuestra zona de estudio.

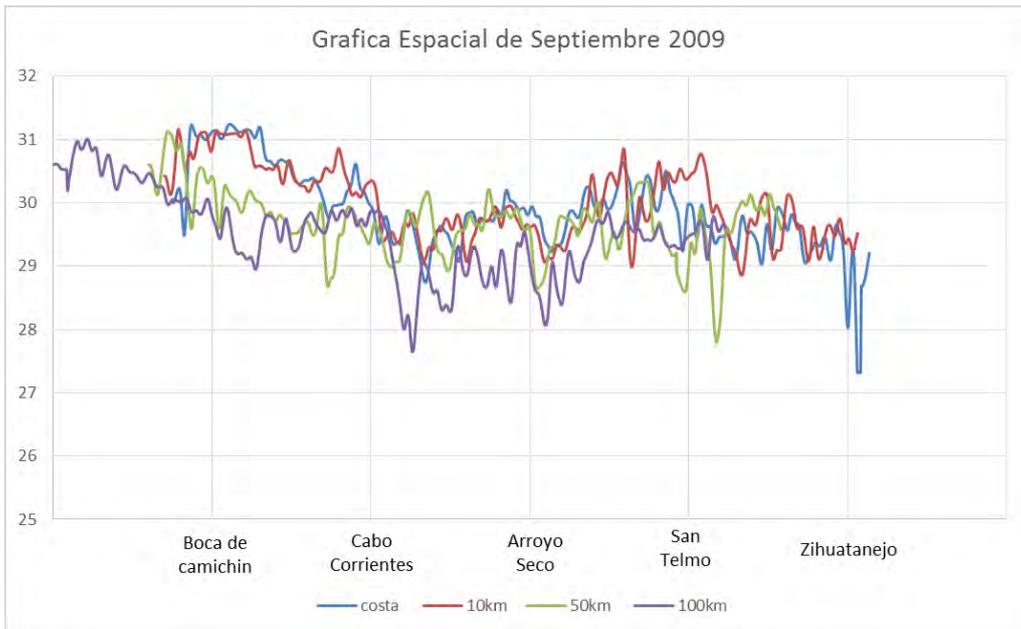


Gráfica 13: Grafica espacial Abril 2007.

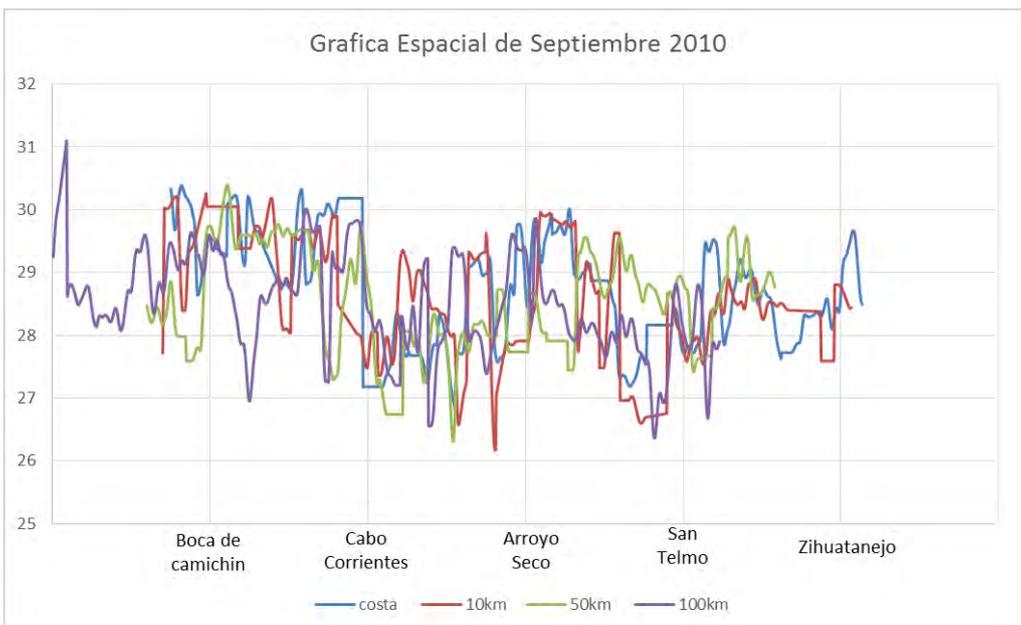


Gráfica 14: Grafica espacial Abril 2008.

Ahora se analizaran los meses de septiembre de los años 2009 y 2010, en la graficas 23 y 24. En septiembre del 2009 las temperaturas minimas son en promedio de 28°C mientras que en el 2007 a 26°C, son dos grados de diferencia que existe entre ambos años, esto podria deberse a el fenomeno del niño o la niña, ya que en el año 2009 se vio afectado por el fenomeno del niño (temperaturas mas calientes) mientras que en el 2010 se presento el fenomeno de la niña (temperaturas mas frias) , con esto se ve el impacto de ambos fenomenos en nuestra zona de estudio.

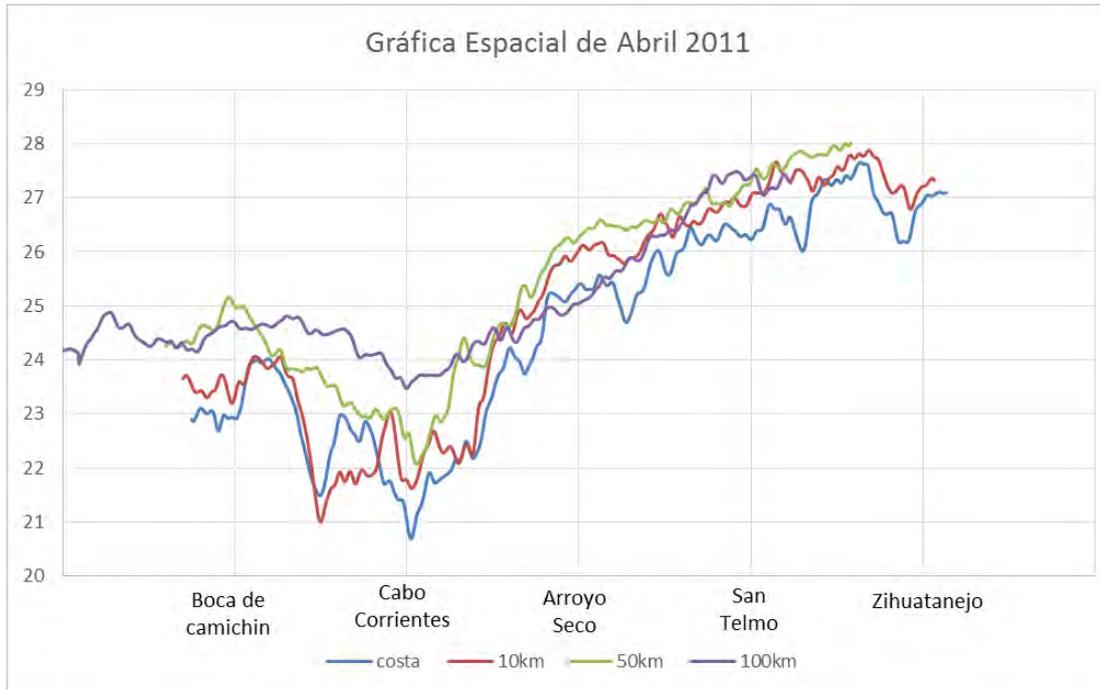


Gráfica 15: Grafica espacial Septiembre 2009.



Gráfica 16: Grafica espacial Septiembre 2010.

Se analizaran los meses de abril de los años 2011 y 2012, en la grafica de abril del 2011 las temperaturas decien den a 20°C mientras que en el 2007 a 17°C, existen tres grados de diferencia que existe entre ambos años, esto podria deberse a el fenomeno del niño o la niña, en ambos años se presento mayormente en intensidad el fenomeno de la niña , solo que en el 2012 se presento con mayor intensidad.



Gráfica 17: Grafica espacial Abril 2011.



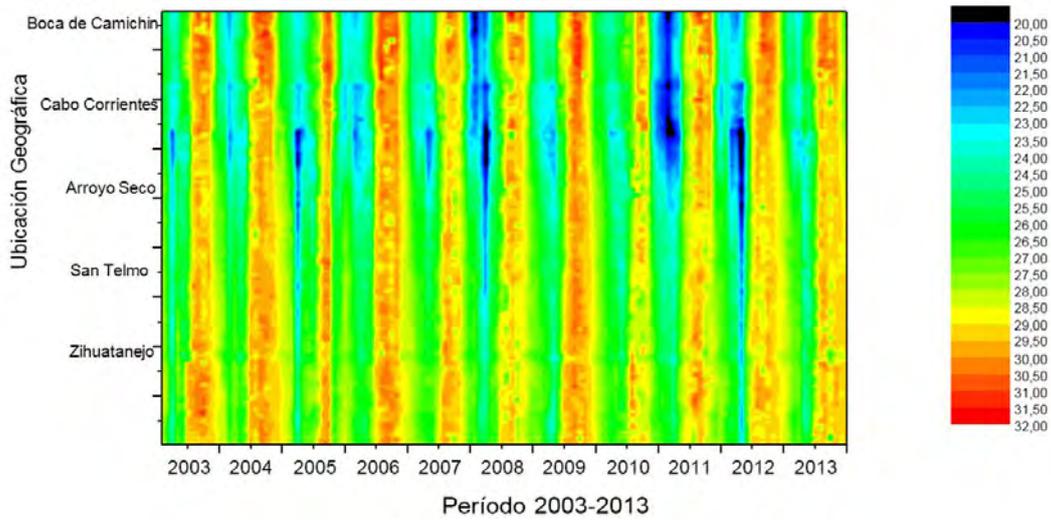
Gráfica 108: Grafica espacial Abril 2012.

4.5 Analisis espacio-temporal de la Surgencia.

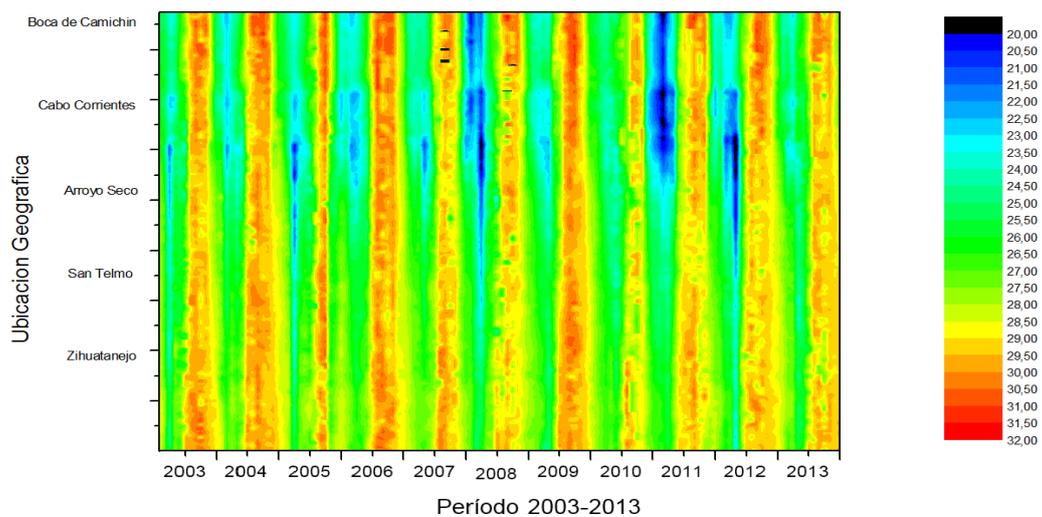
Analisis espacio- temporal transecto Costa.

En la siguiente grafica se muestra el eje vertical como el espacio que ocupa la surgencia y el eje horizontal es el tiempo, el cual esta dividido en los meses en los que abarco el estudio de la surgencia.

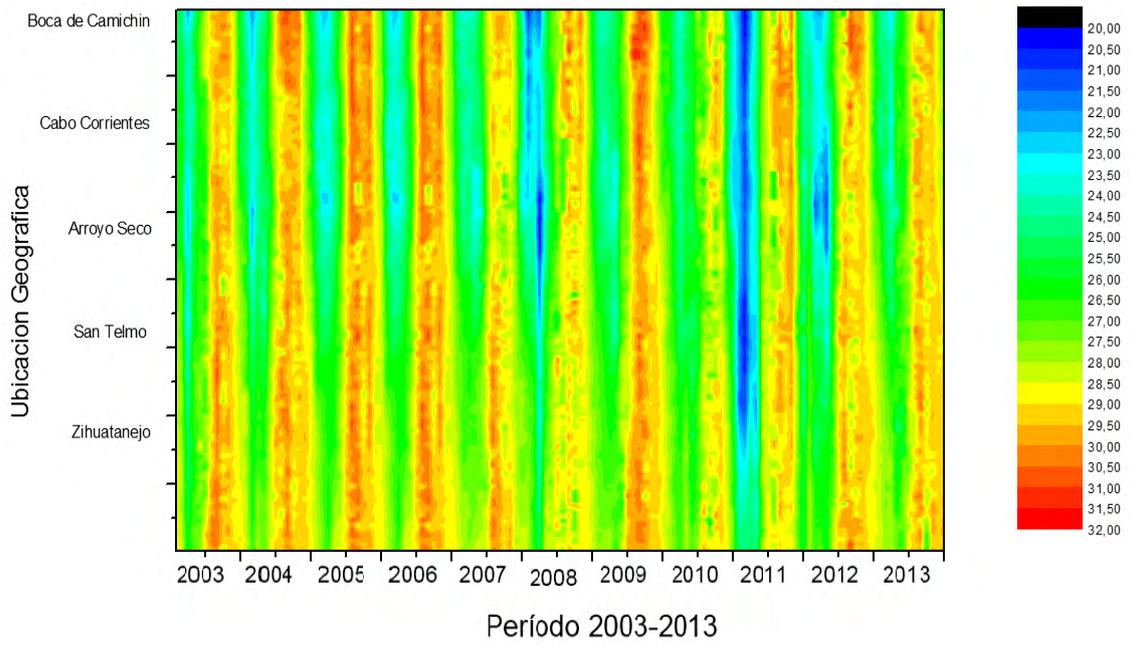
Esta grafica nos muestra que a lo largo de la costa se presenta surgencia en los primeros meses de cada año y tambien se puede ver que en algunos años la surgencia se presenta en mayor intensidad como fueron en los años 2008, 2011 y 2012.



Gráfica 19: Grafica Espacio-Temporal Costa.



Gráfica 20: Grafica Espacio-Temporal 10 km.



Gráfica 21: Gráfica Espacio-Temporal 50 km.

Capítulo 5: Conclusiones.

5.1 Desarrollo de conclusiones.

Como se observó a lo largo de este trabajo de tesis, fue posible identificar las surgencias en Cabo Corrientes, Jalisco empleando imágenes satelitales; estos datos obtenidos mediante transectos permitieron obtener el valor máximo de la surgencia, y una vez que se obtuvo este valor, se pudo delimitar el área de la cobertura de la misma.

Las surgencias fueron más intensas en el primer trimestre de los años 2008, 2011 y 2012. Años en los que se reportó fenómeno de La Niña por la NOAA. La surgencia tiene un periodo cíclico y se presenta de los meses de noviembre a mayo a lo largo de todos los transectos obtenidos, lo que varía es el área de cobertura en cada transecto, esta a su vez es diferente en todos los años.

Sirva esta metodología, para poder crear bases de datos actualizadas y poder así observar de forma más renovada y completa la presencia de Surgencias en Cabo Corrientes.

5.2 Recomendaciones

Esta metodología puede replicarse con otras imágenes satelitales, tales como la GOES, AVHRR, entre otras o bien con otras variables obtenidas mediante imágenes satelitales.

5.3 Glosario de términos

Circulación termohalina. Es la circulación del agua salada de los océanos que ocurre a escala global y esta determinada por la densidad y causada por diferencias de temperatura y de salinidad.

Corrientes de deriva. Se produce cuando las olas llegan oblicuas a una costa rectilínea, generalmente en ángulo inferior a 10° (el ángulo nunca puede ser mayor debido a la refracción), esto da nacimiento a una corriente paralela al litoral, entre la zona de rompiente y la orilla. La velocidad de la deriva es mínima fuera de la zona de rompiente, lo que demuestra claramente que es inducida por el oleaje y no puede ser atribuida a corrientes oceánicas o corrientes de marea.

Efecto coriolis. Es la fuerza producida por la rotación de la Tierra en el espacio, que tiende a desviar la trayectoria de los objetos que se desplazan sobre la superficie terrestre; a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda, en el sur. Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa del cuerpo en dicho sistema en rotación. Esta aceleración es siempre perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo.

Estratificación. hace referencia a la noción de estratos o niveles para diferentes órdenes y circunstancias de la vida.

Fenómeno oceanográfico. Son los fenómenos físicos que ocurren en el mar.

Frente halino. Referente al grado de salinidad.

Fuerza de Coriolis. Es una fuerza que ejerce en el momento en el que el cuerpo se mueve con respecto a un sistema de rotación y describe su movimiento en esa misma referencia.

Meandro. Curva pronunciada que forma un río en su curso.

Mistral. Es un viento del noroeste (a veces del norte), que sopla de las costas del Mediterráneo hacia el mar, entre la desembocadura del Ebro y Génova. Se trata de un viento frío, seco y violento, que alcanza corrientemente los 100 km/h y llega a pasar de los 200 km/h.

Sistema de medición radiométrica. Es un procedimiento técnico empleado para determinar la edad absoluta de rocas, minerales y restos orgánicos (paleontológicos).

Surgencia. o ascenso de las aguas subsuperficiales hacia la capa superficial, es inducida por la acción de los vientos que soplan paralelos a la costa, que en

combinación con la rotación de la tierra, causan un desplazamiento del agua superficial hacia mar abierto

Temperatura superficial del mar. es la temperatura en la superficie. En términos prácticos, el significado exacto de "superficie" variará de acuerdo al método de medida usado. Un satélite radiométrico "ve" un mapa de temperatura representando el milímetro superior; un termómetro en el océano, "vería" aproximadamente la capa superior de 1 metro; las medidas hechas rutinariamente desde los barcos se hacen del agua que entra en el motor, y que puede estar a 5m bajo a la superficie.

Transecto. En ecología un transecto es una técnica de observación y registro de datos.

Transmisividad atmosférica. Radiación global diaria observada en la superficie terrestre.

5.4 Referencias

- Alvarez, S.; et al. (2013). El golfo de California es una fuente de bióxido de carbono hacia la atmósfera. *Ciencias Marinas*, 39(2). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802013000200003
- Cañon, M. (2012). *Análisis de la temperatura superficial del Mar (TSM) a partir de imágenes NOAA/AVHRR para el Caribe Colombiano entre los 70° 30' -78°30' W y 14°30' y 7°30' N*. Artículo Científico, Centro de Investigaciones Oceanográficas E Hidrográficas, Colombia. Obtenido de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/64003.PDF>
- El niño y la niña*. (2004). Obtenido de Comunidadandina.org: http://www.comunidadandina.org/public/Atlas_13_El_Nino_y_La_Nina.pdf
- Fao. (2001). *Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas*. Recuperado el 28 de Enero de 2016, de Food and Agriculture Organization of the United Nations: <http://www.fao.org/docrep/003/T0355S/T0355S07.htm>
- Ficha Técnica TerraAqua*. (2004). Recuperado el 26 de Marzo de 2016, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_modis.pdf
- Gallegos, A. (15 de Noviembre de 2007). *Clima oceánico: los mares mexicanos ante el cambio climático global*. (I. N. Ecología, Productor) Obtenido de [Inecc.gob.mx: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/artemio.html](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/437/artemio.html)
- Gallegos, A.; Zavala, J.; et all. (1996-2003). *Imágenes dinámicas de la temperatura de la superficie de los mares de México*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de [Inecc.gob.mx: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/607/imagenes.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/607/imagenes.pdf)
- García, R. (2008). *Análisis de la variabilidad superficial de mesoescala en el Golfo de California y su relación con la distribución y abundancia relativa de *Misticetos**. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Instituto Politécnico Nacional, Centro de Ciencias Marinas, La Paz. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4349/ANALISISVARIABILIDAD.pdf?sequence=1>
- Labrador, G. (01 de Noviembre de 2015). *FIRE, EARTH, WATER, AND AIR*. Recuperado el 23 de Mayo de 2016, de

<https://www.linkedin.com/pulse/fire-earth-water-air-gabriel-labrador?forceNoSplash=true>

- Las Surgencias: Importantes Procesos del mar Chileno.* (1999). Recuperado el 15 de Enero de 2016, de Cursos Geografía del Mar: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h72.html
- López, D., & Lara, J. e. (2009). Productividad primaria en el Pacífico oriental tropical adyacente a Cabo Corrientes, México. *Ciencias marinas*, 35(2). Recuperado el 10 de Julio de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802009000200004
- Louis, J. (1996). Aguas de Surgencia. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy*, 6(34). Recuperado el 24 de Junio de 2016, de <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy34/agua01.htm>
- Marín, V.; et al. (1993). Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Revista chilena de historia natural*(66), 479-491. Obtenido de http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1993/4/Marin_et_al_1993.pdf
- Martínez, J., & Bremauntz, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México.* (I. N. Ecología, Ed.) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Met Ba. (2008-2016). *Meteorología de Buenos aires.* Recuperado el 20 de Junio de 2016, de <http://met-ba.blogspot.mx/2013/02/fenomeno-enos-ultimos-10-anos-s-e.html>
- Penchaszadeh. (1996). *Aguas de surgencia.* Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Aguasde.htm>
- Zavala, J.; Et all. (2006). *Procesos oceanográficos.* Recuperado el 20 de Junio de 2016, de [Conabio.gob.mx: http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos](http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos)