

Surgencias en la costa norte de Chile durante las temporadas Niña 1996-1997 y Niño 1997-1998*

MACARENA BARAHONA J., ROCIO GALLEGOS C.

Licenciadas en Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

RESUMEN

La investigación realizada muestra la localización y comportamiento espacio-temporal de los focos de surgencia presentes en el borde litoral del Norte de Chile, en la zona comprendida entre los 70° y 71° Longitud Oeste, y los 18° y 24° Latitud Sur. El estudio se efectuó a través de la observación y análisis de imágenes de satélite que señalan la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el área, durante dos años consecutivos, los cuales presentaron condiciones océano-atmosféricas opuestas que corresponden al desarrollo de un evento frío "La Niña 1996-97", y a un evento cálido "El Niño 1997-98".

SUMMARY

The investigation carried out shows the localization and spatial-temporal behavior of upwelling focuses of the coast border of the North of Chile, in the area among the 70° and 71° W Longitude, and the 18° and 24° South Latitude. The study was made through the observation and analysis of satellite images that point out the Sea Surface Temporal (SST) in the area, during two years which presented opposite ocean-atmospheric conditions, corresponding to a cold event "Niña 1996-1997", and later on, a warm event "Niño 1997-1998".

OBJETIVO Y AREA DE ESTUDIO

Esta investigación se efectuó en el marco de un Seminario de Grado del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su objetivo es la caracterización de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de la franja litoral de la Zona Norte de Chile entre los 18° y 24° LS y los 70° y 71° LW, con el propósito de localizar los principales focos de surgencia en condiciones océano-atmosféricas opuestas, es decir, en una temporada "Niña 1996-97" y una "Niño 1997-98" (figura 1).

ANTECEDENTES

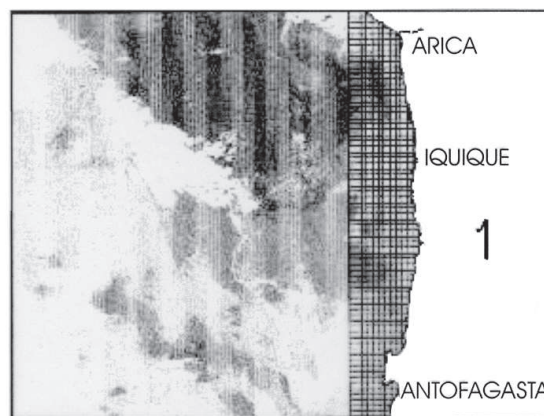
La temperatura superficial del mar (TSM), por sus propiedades físicas, posibilita la captura de información cualitativa y cuantitativa del estado y composición de la superficie del océano de

manera global, sistemática y en tiempo real, mediante un sistema de teledetección que permite captar y registrar extensas zonas geográficas (Fon-

FIGURA 1

LOCALIZACION DE AREA DE ESTUDIO

AREA DE ESTUDIO: NORTE DE CHILE
(18°-24° LS 70°-71°LW)



Fuente: Satélite NOAA CPR. PUC.

0 100 200
kms

Fuente: Satélite NOAA CPR. PUC.

* Esta investigación forma parte del Seminario de Título año 1999, bajo la dirección de los profesores Consuelo Castro Avaria, del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y Martín Farías Salvador, del Centro de Percepción Remota de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

seca y Farías, 1987). Tal es el caso de los eventos de surgencias en el norte de Chile, que implican la variación de la TSM en zonas costeras, gatillando una secuencia de fenómenos en el medio oceánico, atmosférico, continental y biológico, afectando, directa o indirectamente, al hombre. Las surgencias en Chile han sido estudiadas con alguna regularidad; no obstante, en este trabajo se han utilizado especialmente las investigaciones de los siguientes autores: Fonseca (1977), Fuenzalida (1990 y 1991), Cáceres (1992), y Cáceres y Arcos (1991), quienes aportan un marco conceptual ampliamente validado para el tema tratado.

En Chile, los principales factores causantes del proceso de *surgencia* son: los vientos (intensidad, duración y dirección), la geometría de la línea de costa, la batimetría y la estratificación del océano producto de la disposición de las masas de agua de diferentes características físicas y químicas (Vergara, 1992). La acción combinada de estos factores dan origen al evento de surgencia, el cual se entenderá como la divergencia horizontal de la capa superficial de agua, producida por viento paralelo a la costa en dirección al Ecuador, y por el efecto de la rotación terrestre que produce un transporte de agua hacia el océano interior, conocido como transporte de *Ekman* (Montecinos, 1991). Como consecuencia de este transporte de agua hacia el océano interior, se genera un vacío en las capas superficiales del mar, lo que permite el ascenso desde el fondo de aguas subsuperficiales de menor temperatura (figura 2). El mecanismo anteriormente descrito tiene una clara manifestación espacial, y se observa eficazmente en una imagen de satélite, donde adquiere el aspecto de una curva semicerrada sobre la costa de igual temperatura superficial (figura 7), representando un área de anomalía térmica (Fonseca, 1999).

MATERIALES Y METODOS

La investigación utilizó imágenes del satélite NOAA, obtenidas a través del Centro de Percepción Remota y SIG (Sistema de Información Geográfica) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con una escala 1:1.000.000 en dos años consecutivos, 1996 y 1997, y de los meses de enero y febrero de 1998, conformándose de esta forma las temporadas “Niña” y “Niño”. El total de imágenes utilizadas es de 780, de las cuales se seleccionaron aquellas que presentan una mejor visibilidad de la TSM (con relación a la cubierta de nubes), para luego elegir dos imágenes por cada

mes, las cuales presentan los eventos de surgencias más significativos, quedando finalmente 48 imágenes, las que fueron procesadas para su análisis con el software IDRISI.

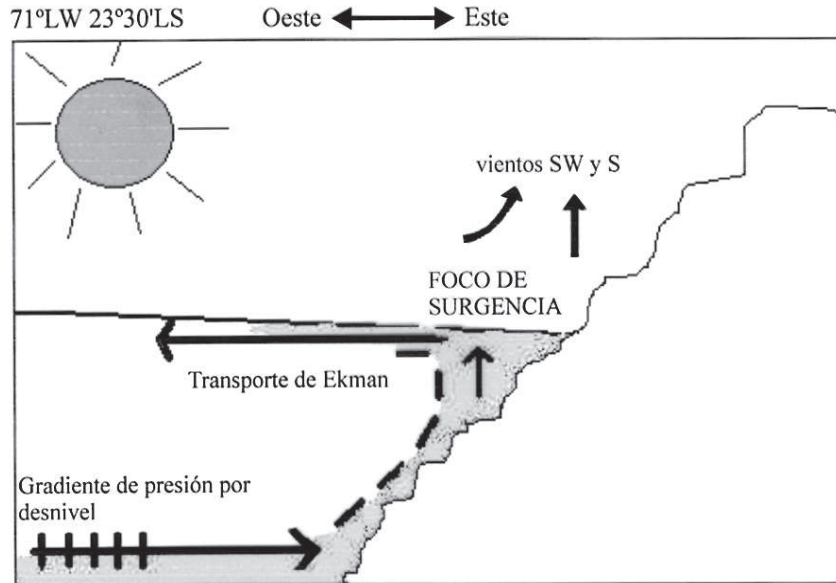
Desde un punto de vista metodológico-conceptual, se entiende por un período “Niña” un evento en el cual el Índice de Oscilación del Sur (IOS) se encuentra en su fase positiva durante un prolongado período de tiempo. La fase positiva implica un incremento en las diferencias de presión atmosférica entre el Anticiclón del Pacífico (alta presión) y la baja presión en Darwin. Esta situación provoca la intensificación de los vientos alisios, lo que ocasiona un mayor transporte de agua cálida desde el Ecuador hacia el Oeste, aumentando de esta manera los declives en el nivel del mar, entre las zonas extremas del Pacífico. Según Wyrski (1982), lo anterior produce una variación en la posición de la termoclina, más profunda aún que lo habitual en las costas australianas y más superficial que lo normal en las costas de América del Sur; esto favorece la ocurrencia de intensos afloramientos de aguas subsuperficiales y, por lo tanto, la presencia de temperaturas más bajas en las costas sudamericanas y en el Ecuador. Además es necesario señalar que, de acuerdo a este mismo autor, la situación anterior genera un gradiente de presión que empuja una corriente desde el Pacífico Occidental en dirección Este, la que se sitúa por debajo de las masas de agua superficiales, favoreciendo de esta forma los afloramientos costeros (figura 2).

Por evento “Niño” se entenderá cuando el IOS se encuentre en su fase negativa prolongada, en la cual disminuye la alta presión del Anticiclón del Pacífico y aumenta la baja presión en Darwin. Esta situación provoca el debilitamiento de los vientos alisios y una posterior modificación en la distribución de la TSM en el Pacífico.

Los vientos alisios son los encargados de trasladar las aguas tropicales y las ecuatoriales del Pacífico Oriental hacia las costas australianas, generando un aumento del nivel del mar en esa zona, el que alcanza aproximadamente los 40 cm, y la termoclina se ubica a una profundidad de 200 m, mientras que en la zona ecuatorial la termoclina se localiza a 50 m de profundidad. La situación anterior se ve modificada en un evento “Niño”; al debilitarse los vientos alisios, se interrumpe el traslado de agua hacia Australia y el declive del nivel del mar se invierte, generando una onda tipo Kelvin que avanza desde el Oeste hacia las costas sudamericanas, aumentando la TSM y disminuyendo el desnivel (Wyrski, 1982). Esta situación provoca la profundización de la termoclina en el

FIGURA 2

SURGENCIA TIPO EN LA PUNTA DE MEJILLONES (PUNTA TETAS),
REGION DE ANTOFAGASTA



Fuente: Elaboración propia a base de fuentes bibliográficas.

área de estudio y una menor diferencia en el nivel del mar entre ambos extremos, lo cual aminora las diferencias de presiones.

Otro concepto importante se refiere a la *anomalía térmica*. Este se refiere a la diferencia de la TSM en grados Celsius que existe entre un año promedio y una temporada “Niño” o “Niña”. De esta forma para su obtención se digitalizan e interpolan los promedios históricos mensuales de la TSM (señal histórica del SHOA), obteniendo así un año promedio que permite la comparación con las imágenes diarias utilizadas.

Por otra parte, los *focos de surgencia*, que corresponden a las áreas de máximas anomalías térmicas, han sido espacialmente localizados a partir del análisis de las imágenes, realizado a través del software IDRISI. Para ello, se creó una grilla de celdas de 5' x 5' minutos cada una, sobrepuesta desde la costa hasta un grado de longitud hacia el océano; es decir, con una extensión de un grado (de los 70° a los 71°LW), equivalente a 105 km, obteniendo como resultado 856 celdas de aproximadamente 8,5' x 8,5' km. La creación de esta grilla (figura N° 1) permite extraer el valor promedio de cada celda e identificar aquellas que presentan las máximas anomalías térmicas negativas reiteradamente, determinando así los *focos de surgencias*.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Gradiente Térmico de la TSM en la Zona Contigua a la Costa

Los resultados de la investigación permiten señalar que en el área de estudio existe un gradiente térmico en las aguas superficiales, con un aumento de la temperatura desde la costa hacia mar adentro, siendo esta una característica de las costas occidentales de los continentes del Hemisferio Sur (Glantz, M., 1998). En este sector se presentan variaciones espaciales de la TSM de forma periódica, asociadas principalmente a afloramientos de agua que provienen de las capas inferiores que en condiciones normales corresponden a aguas con temperaturas menores. Por ejemplo, en el promedio histórico del mes de enero en la costa la TSM es de 18° C y en el interior del océano es de 21° C. Su presencia en el área se extiende desde la costa hasta aproximadamente los 71° Longitud Oeste, abarcando una distancia de 105 km. La TSM en este sector presenta dependencia de las condiciones locales, por lo que puede disminuir o aumentar en períodos cortos de tiempo, incluso diariamente.

De acuerdo a los promedios mensuales históricos de la TSM, el gradiente térmico mantiene di-

ferencias en sus extremos de 3° a 4°C en la mayoría de los meses del año, destacándose enero, febrero, marzo y abril (figura 3). Junio, julio y agosto presentan las menores diferencias térmicas que sólo alcanzan a 1°C.

En las imágenes analizadas, para ambas temporadas “Niña y Niño”, se puede observar la presencia permanente del gradiente térmico, el que sólo se ve disminuido en invierno, coincidiendo con el comportamiento de los promedios históricos de la señal del SHOA. Sin embargo, es posible observar ciertas diferencias en cada temporada de estudio; es así como en el período “Niño” el gradiente térmico se hace menos evidente en los momentos que el evento presenta mayor desarrollo espacial, en cuanto a magnitud e intensidad. Por ejemplo, los meses en que históricamente el gradiente térmico se presenta intenso; durante enero, febrero, marzo y abril el gradiente es de 3° a 4°C; para este caso en enero de 1998, el gradiente sólo alcanza un valor promedio de 1°C a 2°C.

Es posible explicarse la disminución del gradiente térmico durante el período “Niño” en estudio, por la profundización de la termoclina que impide el afloramiento de aguas más frías, pero no necesariamente la inexistencia de surgencias. Existe, además, una disminución de la turbulencia por el debilitamiento de los vientos a escala

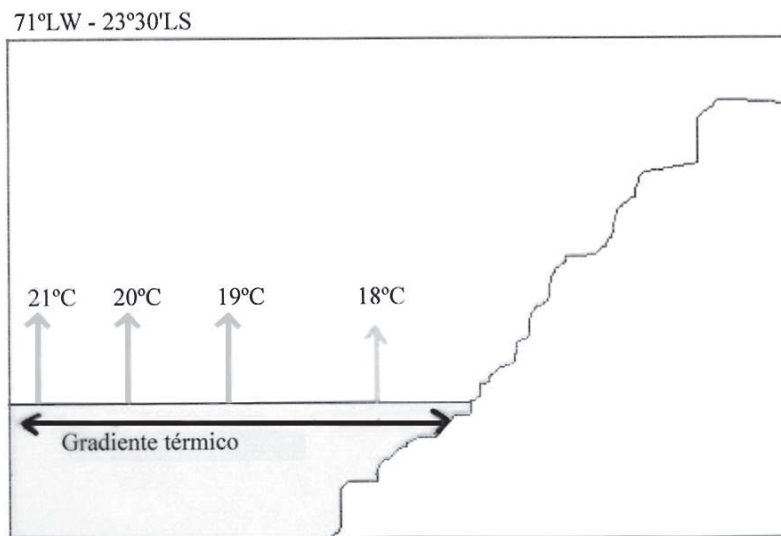
planetaria, lo que también genera una variación en el sistema de corrientes marinas, disminuyendo la circulación habitual.

Para el período “Niña” las imágenes diarias indican que el gradiente térmico está directamente relacionado con la frecuencia e intensidad de los afloramientos costeros. En consecuencia, los meses que presentan mayor gradiente térmico (alrededor de 5° a 6°C) corresponden a los meses con mayor presencia de surgencias en este período, los cuales son: enero, febrero, marzo, abril; y con intensidad media (4°C) mayo, octubre, noviembre y diciembre. Por su parte, los meses de junio, julio, agosto y septiembre muestran una importante disminución de la oscilación térmica del gradiente; lo anterior, no implica que el gradiente térmico no se presente, pero sus valores sólo alcanzan 1° a 2°C.

La explicación del aumento del gradiente durante la temporada “Niña” se debe fundamentalmente al decrecimiento de la profundidad de la termoclina, lo que provoca que temperaturas más bajas afloren con facilidad, así como también a la mayor turbulencia a nivel regional y local de los vientos por la intensificación del Anticiclón del Pacífico, aumentando de esa manera la circulación de las aguas en superficie.

FIGURA 3

PROMEDIO MENSUAL HISTORICO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR EN EL MES DE ENERO. PENINSULA DE MEJILLONES (PUNTA TETAS), REGION DE ANTOFAGASTA



Fuente: Esquema elaboración propia. Datos de TSM, SHOA.

LOCALIZACION DE LOS FOCOS DE SURGENCIAS EN EL LITORAL DEL NORTE GRANDE

El área comprendida entre los 18° y 24° LS y los 70° y 71° LW presenta permanentemente temperaturas más bajas en la costa, respecto al área oceánica interior, ya sea en la temporada “Niña” o “Niño”; sin embargo, las anomalías térmicas fueron, en promedio, mayores en el período “Niña”, mientras que en el “Niño” las anomalías térmicas se presentaron generalmente positivas superando el promedio histórico. No obstante, siempre se mantuvo la diferencia de la TSM entre la zona litoral y el área oceánica con valores de 23°C como promedio. Esta situación se grafica en el comportamiento promedio de la TSM del mes de enero del promedio histórico de las temporadas “Niña” y “Niño” (figuras 4, 5 y 6).

La presencia permanente de la diferencia de la TSM entre la zona litoral y el área oceánica se debe a los focos de surgencias presentes en el área, cuando afloran aguas subsuperficiales con temperaturas menores durante todos los meses del año. Sin embargo, estos focos sufren una variación en su frecuencia, intensidad y duración, con una clara disminución en los meses de invierno (junio,

julio, agosto, incluyendo septiembre), y en verano (enero, febrero, marzo y además abril) un aumento notorio de los elementos señalados anteriormente.

En relación a la localización de los focos de surgencia, se identificaron once focos principales distribuidos a lo largo de la línea de la costa (figura 7). Es interesante hacer notar que dichos focos coinciden con las tradicionales curvas semicerradas presentes en una imagen diaria del área de estudio, lo cual indica que los focos de surgencias son constantes en aquellos puntos de la línea de costa. Los focos muestran una clara coincidencia con la mayoría de las puntas importantes de la línea de costa (figura 7). Esto se puede entender con mayor facilidad, al recordar cuáles son los factores que provocan las surgencias: el viento paralelo a la costa, el efecto coriolis y la rotación terrestre que lo desvían, la batimetría y la geometría de la línea de costa. La combinación de los factores señalados anteriormente determina el transporte de Ekman, provocando la ascensión de aguas subsuperficiales más frías, que en condiciones normales se asocian a la corriente de Günther. En el área de estudio se destacan la geometría de la línea de costa y la presencia de puntas que inducen vorticidad, tanto en el mar como

FIGURA 4

PROMEDIO HISTORICO DE LA TSM EN LA ZONA DE SURGENCIA. PENINSULA DE MEJILLONES, II REGION DE ANTOFAGASTA

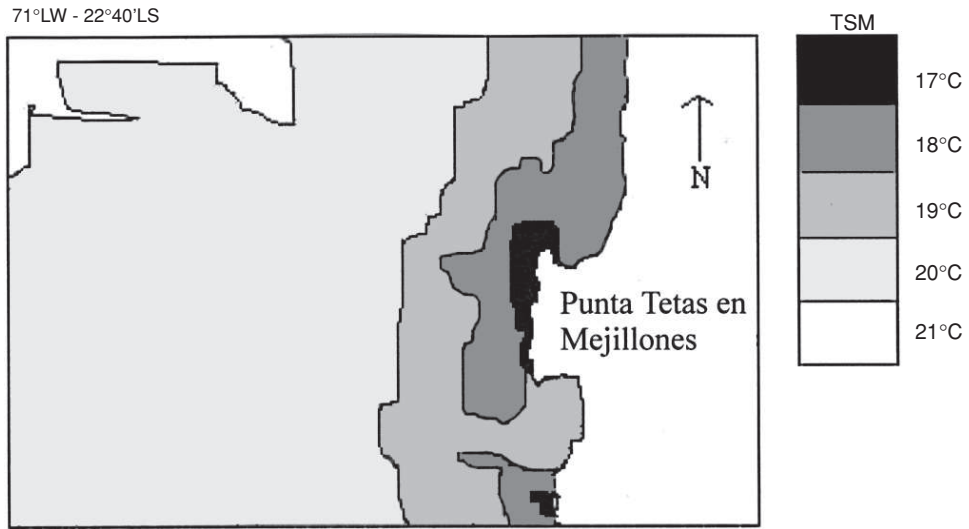


Fuente: Esquema elaboración propia, con datos obtenidos a través del Atlas Hidrográfico de la Armada de Chile. SHOA.

FIGURA 5

PROMEDIO DE LA TSM EN EL MES DE ENERO DE 1997.
PENINSULA DE MEJILLONES, II REGION DE ANTOFAGASTA

FOCOS DE SURGENCIA EN TEMPORADA "NIÑA", ENERO 1997



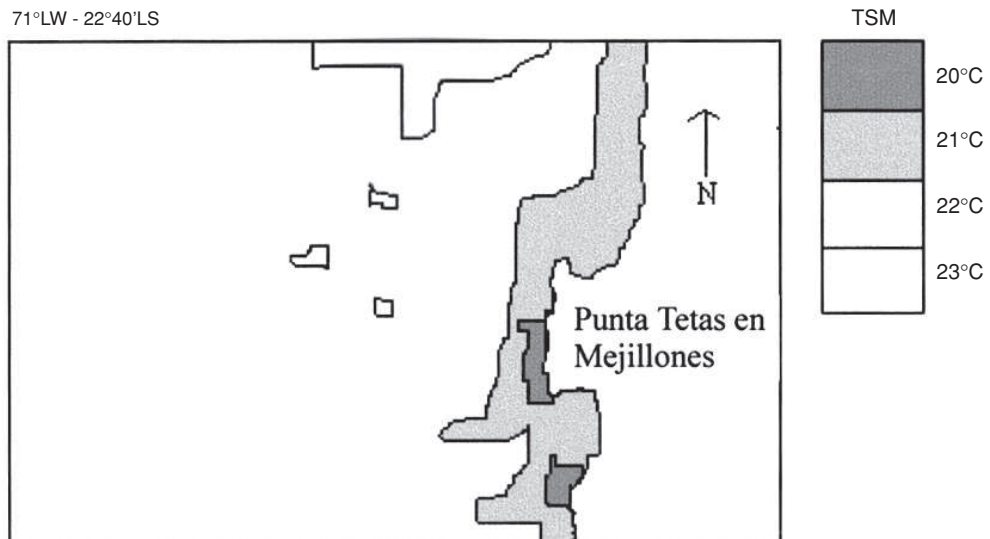
Los focos de surgencia están presentados por los 17°C. 70°LW - 24°LS

Fuente: Esquema elaboración propia, con datos obtenidos a través del Atlas Hidrográfico de la Armada de Chile. SHOA.

FIGURA 6

PROMEDIO DE LA TSM EN EL MES DE ENERO DE 1998.
PENINSULA DE MEJILLONES II REGION DE ANTOFAGASTA

FOCOS DE SURGENCIA EN TEMPORADA "NIÑO", ENERO 1998

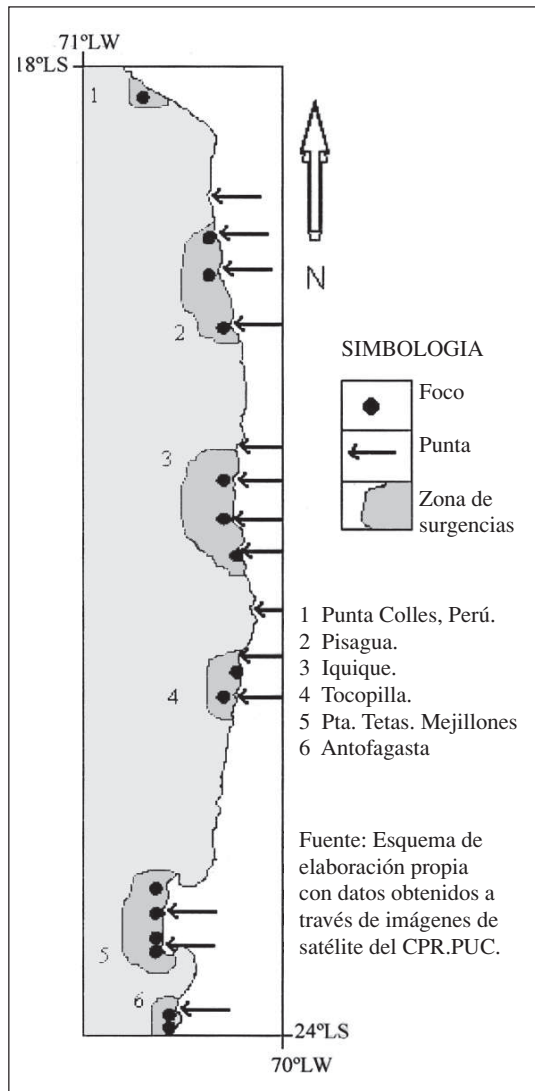


Los focos de surgencia están presentados por los 20°C. 70°LW - 24°LS

Fuente: Esquema elaboración propia, con datos obtenidos a través de imágenes de satélite del CPR. PUC.

FIGURA 7

LOCALIZACION DE FOCOS DE SURGENCIA EN EL LITORAL DEL NORTE GRANDE



en el viento, agudizando las condiciones que favorecen la ocurrencia del evento de surgencia. Cabe señalar que, de acuerdo a lo observado en el área de estudio, la mayoría de los focos se localiza en la ladera sur de las puntas con exposición directa a los vientos predominantes (Sur y Sudoeste). En este sentido, se destacan tres focos principales de máximas anomalías negativas para las dos temporadas; estos son: Punta Pisagua, Punta Patache y Península de Mejillones, específicamente en Punta Tetás (figura 4).

CONCLUSIONES

El comportamiento de la TSM en la zona costera del Norte de Chile, entre los 18° y 24° Latitud Sur y los 70° y 71° Longitud Oeste, tiene un carácter dinámico, identificándose un gradiente térmico Oeste-Este presente todo el año y que sólo en los meses invernales es claramente menor. Este gradiente es generado por los sucesivos eventos de surgencia presentes en el área, de los cuales se han identificado 11 focos principales, los que presentan una estrecha relación con elementos geográficos del ámbito terrestre, entre los que se cuentan las puntas presentes en la línea de costa y su exposición respecto al viento predominante.

La ocurrencia de los eventos de surgencia no varía significativamente en ambas temporadas “Niño” y “Niña”; lo que sí se observa, de acuerdo al presente estudio, es un cambio importante en sus anomalías térmicas.

BIBLIOGRAFIA

- CACERES, M. (1992): *Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencias de Talcahuano, Chile central*. En: Revista Investigación Pesquera N° 37, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Valparaíso, Chile.
- CACERES, M. y ARCOS, D. (1991): *Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción, Chile*. En: Revista de Investigación Pesquera N° 36, IFOP, Valparaíso, Chile.
- FONSECA, T. (1977): *Proceso de surgencia en Punta Curaumilla con especial referencia a la circulación*. Tesis para optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- FONSECA, T. (1999): Entrevista personal, Santiago.
- FONSECA, T. y FARÍAS, M. (1987): *Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota*. En: Revista Investigación Pesquera N° 34, IFOP, Valparaíso, Chile.
- FUENZALIDA, R. (1990): *Variabilidad temporal de un índice de surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20° S)*. En: Revista Investigación Científica y Tecnológica. Serie Ciencias del Mar, N° 1, Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.
- FUENZALIDA, R. (1991): *Proceso de surgencia en la región norte de Chile, latitudes 20°30'S-21°45'S*. En: Revista Investigación Científica y Tecnológica. Serie Ciencias del Mar N° 2, Universidad Arturo Prat, Iquique, Chile.
- GLANTZ, M. (1998): *Corrientes de cambio: El Impacto de El Niño sobre el Clima y la Sociedad*. UNESCO.
- MONTECINOS, A. (1991): *Efectos del fenómeno de El Niño en los vientos favorables en la surgencia costera en la zona norte de Chile*. Tesis para optar al título de Oceanógrafo, Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- SHOA (1997): *Atlas Hidrográfico de Chile*. Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile, Valparaíso, Chile.

VERGARA, J. (1992): *Simulación de un fenómeno de surgencia costera a los 29°5'LS Chile*. En: Revista Investigación Pesquera N° 37, IFOP, Valparaíso, Chile.

WYRTKI, K. (1982): *Fluctuation of de dynamic topography in the Pacific Ocean*. In: J. Phys. Oceanogr. N° 5, USA.