

LOCALIZACIÓN DE UNA ZONA DE ALTA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA CERCANA A CABO CORRIENTES, JALISCO POR MEDIO DE DATOS AVHRR

Localization of a High Primary Productivity Zone near to Cabo Corrientes, Jalisco using AVHRR Data

Ignacio Galindo¹, Ramón Solano¹ y Alejandro Morales².

RESUMEN

Utilizando datos de temperatura de la superficie del mar (TSM) obtenidos con el radiómetro AVHRR embarcado en los satélites NOAA durante los meses de enero a marzo de 1997, en un área comprendida entre 21° N, 108° W y 15° N, 105° W, en las costas de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán. Del 10 de febrero a principios de marzo se ha identificado una zona de surgencia con variación interanual en Cabo Corrientes, Jalisco con temperaturas mínimas promedio de 17 °C. Análisis posteriores efectuados con los datos de TSM para 1998 muestran nuevamente la surgencia. Luego, presenta una variabilidad interanual.

Palabras clave: AVHRR, Cabo corrientes, Productividad primaria, surgencia, temperatura de la superficie del mar, transporte de Ekman.

ABSTRACT

Sea surface temperature (SST) data derived from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) flown on board the NOAA satellites were used from January to March 1997 in the coastal area of the Mexican states of Colima, Jalisco and Michoacan (21° N, 108° W and 15° N, 105° W). It has been identified a coastal upwelling zone at Cabo Corrientes, Jalisco with minimum average temperatures of 17 °C staying from February 10 to the beginning of March. Further analysis made on SST data for 1998 shows again the upwelling. Therefore, it has an interannual variability.

Key Word: AVHRR, Cabo Corrientes, Ekman transport, primary productivity, sea surface temperature, upwelling.

Introducción

En los últimos veinte años los sensores remotos embarcados en los satélites, particularmente los satélites meteorológicos, han revolucionado la obtención de datos oceanográficos (Cracknell, 1981; Robinson, 1985; Stewart, 1985). Mientras que los datos oceanográficos tradicionales se colectaban ocasionalmente por cruceros científicos y en algunas áreas de manera regular mediante barcos comerciales

y navales. Por otra parte, los satélites dan una cobertura regular, repetitiva y global de los océanos, produciendo enormes cantidades de datos, los cuales hubieran sido imposible coleccionar por métodos convencionales. Sin embargo, nuevos problemas surgen, por ejemplo, la considerable cantidad de procesamiento e interpretación necesaria antes de la obtención de los parámetros oceanográficos, la calibración y las correcciones atmosféricas. Algunos de estos problemas serán discutidos más adelante.

En abril de 1996, a través de un proyecto de infraestructura aprobado a uno de nosotros por CONACYT, se instaló en el Centro de Ciencias del Ambiente de la Universidad de Colima una estación

1. Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente, Universidad de Colima.

2. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima.

terrena receptora de señales de satélites NOAA en tiempo real. Desde entonces, el análisis de la información obtenida ha sido motivo de varias investigaciones (Galindo y Solano, 1998; Galindo *et al.*, 1998a,b; Ramos *et al.*, 1998) incluyendo una tesis de grado (Ramos y Andrade, 1998).

Los datos oceanográficos pueden ser obtenidos mediante varios tipos de instrumentos (activos y pasivos) los cuales operan en varios intervalos de longitud de onda del espectro electromagnético (visible, cercano infrarrojo, infrarrojo térmico) y también en la región de las microondas. Los primeros instrumentos son todos pasivos mientras que los últimos son activos.

Dentro del grupo de instrumentos de medición de que están provistos los satélites de órbita polar NOAA, se encuentra el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución cuyas siglas en inglés son AVHRR. Además del AVHRR hay otros tipos de sensores remotos de datos oceanográficos. Por ejemplo, el SeaWiFS embarcado en el satélite SeaStar cuya función exclusiva es la determinación de la productividad primaria de los océanos, su antecesor fue el Rastreador de Color de Zonas Costeras (CZCS), a bordo de Nimbus 7. También utilizando sistemas como Landsat, SPOT o Meteor, se pueden obtener datos de alta resolución espacial (pero baja resolución temporal) para trabajos en bocas de mar (estuarios) y regiones costeras.

El mejor uso del radiómetro AVHRR en trabajos oceanográficos es la determinación de la temperatura de la superficie del mar (TSM) utilizando datos de los canales 3 (3.7 μm), 4 (10.8 μm) y 5 (12.0 μm) del infrarrojo medio y térmico. Puesto que estos satélites están provistos con calibraciones confiables de los datos del infrarrojo térmico, pueden ser utilizados para la determinación de la TSM.

El análisis detallado de la temperatura de la superficie del mar es muy útil para la identificación de aguas frías que emergen por acción del campo de viento, conocidas como surgencias (upwelling, en inglés). Aunque las zonas de surgencia comprenden aproximadamente 0.1 por ciento de la superficie total de los océanos (Ryther, 1969). En estas zonas se transportan aguas profundas ricas en nutrientes a capas superficiales. Estos afloramientos muestran mayores concentraciones de nitratos, fosfatos y silicatos que las aguas cálidas superficiales originales. Por ello los ecosistemas marinos de las corrientes costeras en esta región son altamente productivos, dichas aguas están

libres de predadores permitiendo con ello la acumulación de grandes cantidades de fitoplancton que posteriormente podrán ser consumidos por el zooplancton aumentando consecuentemente las pesquerías de la zona. Se considera que en las áreas de surgencia se produce más de la mitad de las pesquerías a nivel mundial; el conocimiento de las fluctuaciones de los regímenes de surgencias es de suma importancia para comprender las fluctuaciones en las poblaciones marinas y por ende llevar a cabo un mejor aprovechamiento y manejo de las pesquerías. De ahí la importancia de identificar las zonas de surgencia.

El objetivo del presente trabajo es ilustrar algunos de los resultados obtenidos en la determinación de la TSM, así como la identificación de una zona de surgencia localizada en Cabo Corrientes, Jalisco. El área de estudio está comprendida entre 21° N, 108° W y 15° N, 105° W, en las costas de los estados de Jalisco, Colima y Michoacán. Cada imagen representa una matriz de 512 x 512 pixels, con una resolución de 1.1 Km por pixel. El período de estudio es de enero a marzo de 1997.

Métodos

La temperatura superficial del mar (TSM) se determina con los datos medidos por el radiómetro AVHRR siguiendo la metodología descrita en la Figura 1.

La solución implica la corrección por absorción y emisión atmosférica, la identificación y enmascaramiento de las zonas con presencia de nubes y datos provenientes de boyas y otras fuentes ocasionales.

Se utiliza el algoritmo split-window propuesto por McLain (1985), basado a su vez en la técnica de split-window propuesta por Saunders (1967) y por Anding y Kauth (1970), en donde se propone y resuelve un modelo de transferencia radiativa aplicado a varias longitudes de onda. Este modelo considera las alteraciones causadas a la energía provenientes de la superficie de interés por la presencia de vapor de agua y aerosoles contenidos en la atmósfera.

La ecuación encontrada para superficies sin presencia de nubes y cercanas al nadir es de la forma:

$$T = a_0 * T_i + a_1 * (T_i - T_s) + a_2 \quad (1)$$

en donde T es la temperatura estimada de la superficie, T_i y T_j son las temperaturas de brillantez observadas en las longitudes de onda i y j, y a₀, a₁ y a₂ son constantes experimentales. Por las consideraciones realizadas en el modelo, T_i debe ser muy cercana a la temperatura real T, y a₀ ~ 1; a₁*(T_i-T_j) es el término de corrección por transmisividad atmosférica y a₂ es un pequeño factor de corrección asociado con las diferentes temperaturas de brillantez en las dos longitudes de onda utilizadas.

Basado en comparaciones empíricas, McInain *et al.* (1985) encontró dos conjuntos de algoritmos para combinar las mediciones de radiancia observada en tres ventanas de la porción infrarroja del espectro electromagnético, aplicables respectivamente a las horas diurnas y otro para la noche. Los algoritmos aplicados durante el día utilizan los canales 4 y 5, y los utilizados durante la noche pueden hacer uso del canal 3. Esta discriminación se hace ya que durante el día, el sol aporta una cantidad considerable de energía en esta región del espectro, por lo que sólo es útil durante la noche. Sin embargo, el canal 3 es mucho menos sensible a la presencia del vapor de agua que los canales 4 ó 5.

En general, existen tres clases de algoritmos para calcular la TSM. El algoritmo split-window *per se* utiliza el canal 4 del AVHRR como la estimación de menor orden para la TSM y la diferencia del canal 4 menos el canal 5 para la corrección atmosférica. El algoritmo dual-window usa también el canal 4 del AVHRR como estimación primaria y la diferencia de los canales 3 y 4 para la corrección atmosférica. Finalmente, el algoritmo triple-window usa la temperatura del canal 4 y la diferencia de los canales 3 y 5 para la corrección atmosférica.

Para observaciones realizadas en puntos alejados del nadir del satélite, se introduce un término de corrección por ángulo de observación del sensor, de tal forma que las ecuaciones adquieren un término adicional:

a) Algoritmo split-window (TSMMC_{SW})

$$T = a_0 * T_4 + a_1 * (T_4 - T_5) + a_2 * (T_4 - T_5) * (\text{SECZEN} - 1) + a_3 \quad (2)$$

b) Algoritmo dual-window (TSMMC_{DW})

$$T = a_0 * T_4 + a_1 * (T_3 - T_4) + a_2 * (T_3 - T_4) * (\text{SECZEN} - 1) + a_3 \quad (3)$$

c) Algoritmo triple-window (TSMMC_{TW})

$$T = a_0 * T_4 + a_1 * (T_3 - T_4) + a_2 * (T_3 - T_4) * (\text{SECZEN} - 1) + a_3 \quad (4)$$

en donde T es la TSM calculada, T₃, T₄ y T₅ son respectivamente las temperaturas de brillantez de los canales 3, 4 y 5 del sensor AVHRR, a₀, a₁, a₂ y a₃ son constantes experimentales a determinar y SECZEN es la secante del ángulo de inclinación del radiómetro al momento de realizar la observación.

La TSM obtenida con estas ecuaciones es llamada también Temperatura Superficial del Mar Multicanal (TSM_{MC}).

Walton (1988) propuso una segunda corrección a la TSM obtenida con los procedimientos anteriores, en la cual se utilizan de nuevo los canales correspondientes de cada uno de los algoritmos para obtener una TSM multicanal con corrección no-lineal (TSM_{NL}):

a) TSM_{MCNL} split-window (TSM_{NL}SW):

$$T = b_0 * T_4 + b_1 * (T_4 - T_5) * (\text{TSMMC}_{SW}) + b_2 * (T_4 - T_5) * (\text{SECZEN} - 1.0) + b_3 \quad (5)$$

b) TSM_{MCNL} dual-window (TSM_{NL}DW):

$$T = b_0 * T_4 + b_1 * (T_3 - T_4) * (\text{TSMMC}_{DW}) + b_2 * (\text{SECZEN} - 1.0) + b_3 \quad (6)$$

c) TSM_{MCNL} triple-window (TSM_{NL}TW):

$$T = b_0 * T_4 + b_1 * (T_3 - T_4) * (\text{TSMMC}_{TW}) + b_2 * (\text{SECZEN} - 1.0) + b_3 \quad (7)$$

Aquí, T es la temperatura superficial del mar, calculada de manera no lineal, b₀, b₁, b₂ y b₃ son coeficientes experimentales de los algoritmos no lineales y SECZEN es la secante del ángulo de observación del radiómetro.

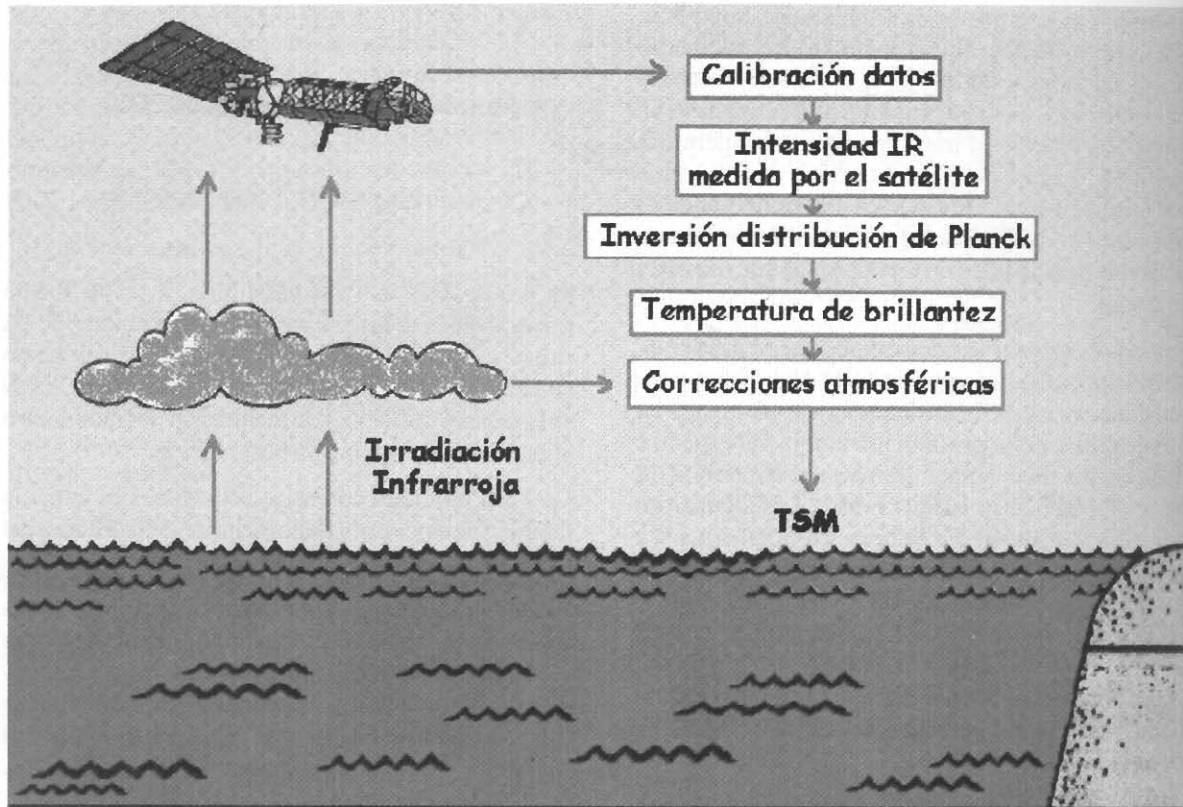


Figura 1. Diagrama de flujo para la determinación de la temperatura de la superficie del mar (TSM).

Los coeficientes a_i y b_i son calculados a intervalos de tiempo por la NOAA mediante el ajuste de las ecuaciones anteriores a mediciones realizadas *in-situ*; en la última actualización (20 Marzo 1995) se usaron 1,055 observaciones en promedio, con un error estándar del orden de $10e^{-2}$ a $10e^{-4}$. El ajuste se realiza para cada algoritmo y cada satélite por separado.

Sin embargo, la identificación y enmascaramiento de los píxeles (1.1 Km.) de la imagen AVHRR que presentan contaminación por nubes aún debe realizarse. La interferencia por nubes puede ocasionar que esos píxeles, cuya temperatura observada puede ser menor hasta en 5-6 °C a la real (Gube *et al.*, 1996), sea erróneamente considerada como una parcela de agua de menor temperatura.

Para que un píxel pueda ser considerado como libre de presencia de nubes, debe cumplir con varios criterios que se basan en la relativa homogeneidad térmica del océano, en su poca reflectividad en el espectro visible respecto a las nubes y en la menor sensibilidad del canal 3 respecto al 4 ante la presencia de vapor de agua:

1. Diferencia de temperatura en el canal 4.

Si existe una gran variación térmica en una zona de 3x3 píxeles, puede indicar la presencia de nubosidad; se asume que el océano presenta un gradiente térmico suave comparado con el de las nubes. En el caso de que en esta región de 3x3 la diferencia entre la mayor y la menor temperatura sea mayor que cierto valor límite, se considera que el píxel central se encuentra contaminado por nubes y es marcado como tal.

2. Valor máximo del albedo en el canal 2.

El océano presenta una menor reflectividad en las bandas visibles respecto a la de las nubes. Si el albedo de un píxel es mayor que cierto valor límite, es considerado con presencia de nubosidad y es marcado como tal. Este criterio puede ser aplicado únicamente a pases de satélite ocurridos durante el día.

3. Gradiente de albedo en el canal 2.

Una variación grande en el albedo del canal 2 es considerada también como propio de la presencia de nubes. Si la diferencia entre los píxeles de mayor y menor albedo en una región de 3x3 píxeles excede de

cierto valor límite, el pixel central es considerado como contaminado. Este criterio es también aplicado únicamente a los pases diurnos.

4. Diferencia de temperaturas de brillantez entre los canales 3 y 4.

El vapor de agua absorbe significativamente diferentes cantidades de radiancia en los canales 3 y 4 del AVHRR. Una gran diferencia entre las temperaturas de brillantez de los canales 3 y 4 es un indicio de presencia de vapor de agua entre la superficie observada y el satélite. Se comparan las observaciones de los canales 3 y 4 pixel por pixel y aquellas que excedan cierto valor límite son marcadas como contaminadas. Como el sol emite significativamente en la longitud de onda del canal 3, este filtro es usado solamente en los pases nocturnos.

5. Mínima temperatura de brillantez en el canal 4.

Dado que el océano tiene un rango bien definido de temperaturas posibles, la temperatura de brillantez del canal 4 puede ser usada como un filtro de primera aproximación. Los pixeles que presenten una temperatura fuera del rango de 0 a 35 °C son considerados como extraños al océano y son marcados como interferencia o contaminación.

Los criterios anteriores fueron implementados a través de un conjunto de programas que aplicados a las

mediciones del satélite, permitieron obtener los datos calibrados de la TSM.

Resultados

Como referencia al análisis del campo de temperaturas para la región de estudio durante el periodo de enero a mayo de 1997, hemos comparado los promedios mensuales obtenidos con la climatología mensual de COADS (1946-1989), por ejemplo, para el mes de febrero TSM = 26 °C.

En la figura 2 se muestra la TSM correspondiente al 20 de enero de 1997 con isolíneas de temperatura de 22 °C a los 21.5° N, 106° W hasta 26 °C entre los 18.5 -17.0° N, 104-105° W de acuerdo con la climatología mensual de COADS para enero. Sin embargo a partir del 10 de febrero de 1997 se observa (Fig. 3) la presencia de aguas inusualmente frías en la región costera de Cabo Corrientes, Jalisco. La dirección predominante de estas aguas es hacia el sur. Para el día 20 de febrero las aguas frías alcanzan temperaturas de 17 a 21 °C (Fig. 4). El máximo en extensión de las aguas frías se observó el día 21 de febrero. Las temperaturas mínimas fueron en promedio de 16.5 °C en el núcleo frío localizado cerca de Cabo Corrientes, presentando un gradiente positivo de 5 °C entre los 20 y 18° N y 105 a 108° W, hacia el Oeste y hacia el Sur

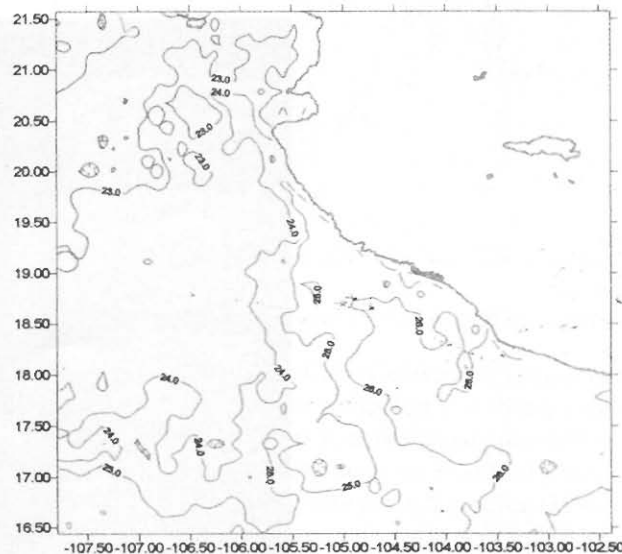
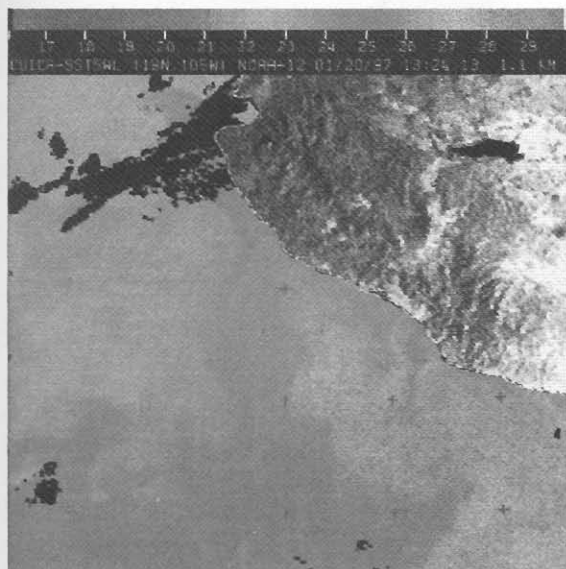


Figura 2. Distribución de la temperatura de la superficie del mar, correspondiente al 20 de enero de 1997 a las 13:24 hrs (GMT).

(Fig. 4). De acuerdo a la distribución superficial de la temperatura, la frontera entre las aguas frías emergentes y las aguas superficiales está representada por la isólnea de los 22 °C (Fig. 4), donde los procesos de mezcla tienden a homogeneizar la superficie del océano. La zona de influencia cubre una amplia extensión en forma rectangular, abarcando aproximadamente 120 millas náuticas paralelas a la costa hacia el Sur y 60 millas náuticas de ancho hacia el Oeste. En las imágenes utilizadas se observa que las bajas temperaturas se distribuyen en toda la bahía de Banderas llegando en algunas ocasiones a las costas del estado de Colima.

A partir del 22 de febrero el enfriamiento disminuye gradualmente, notándose el incremento de la temperatura y la disminución del área de influencia, para terminar los primeros días de marzo (Fig. 5), sin poder establecer el fin del fenómeno debido a la presencia de nubosidad sobre la zona. La surgencia tiene una duración aproximada de 25 días.

Un análisis posterior de imágenes conteniendo la temperatura de la superficie del mar para el mes de febrero de 1998 muestra que esta surgencia es probablemente estacional, presentándose entre los meses de febrero y marzo.

Consideraciones teóricas.

Es sabido que el flujo de la mayoría de las corrientes marinas superficiales está inducido por el viento. Sin

embargo debido a los efectos de fricción que sufre el viento al moverse sobre una superficie, el efecto neto es que el viento no produce un flujo de corriente moviéndose exactamente en la misma dirección en que sopla el viento. En la superficie, la corriente se mueve en una dirección de 45° hacia la derecha de la dirección del viento. Si el movimiento del agua se integra sobre toda la profundidad en que tiene influencia el viento, el movimiento resultante del agua se encuentra aproximadamente a 90° a la derecha de la dirección del viento (Fig. 6). Este movimiento del agua se conoce como el transporte de Ekman o flujo de Ekman (Kraus, 1972).

Por otra parte, la estrecha plataforma continental de la parte sur de bahía de Banderas y la fisiografía del lugar, propician el afloramiento de aguas frías inducidas por el campo de viento. La meteorología sinóptica muestra que durante el período de estudio dominan los sistemas de alta presión con vientos del Oeste y Noroeste, propiciando el afloramiento de aguas profundas y frías.

Discusión

El estrés por fricción genera la desviación de los vientos ecuatoriales sobre la superficie oceánica en conjunción con el efecto de la rotación terrestre, produce que el agua de la capa superficial se aleje de la costa oeste de las masas continentales terrestres. Este movimiento de aguas costeras hacia mar adentro es reemplazado por agua fría profunda que emerge o fluye hacia la superficie desde profundidades que van de 50 a poco

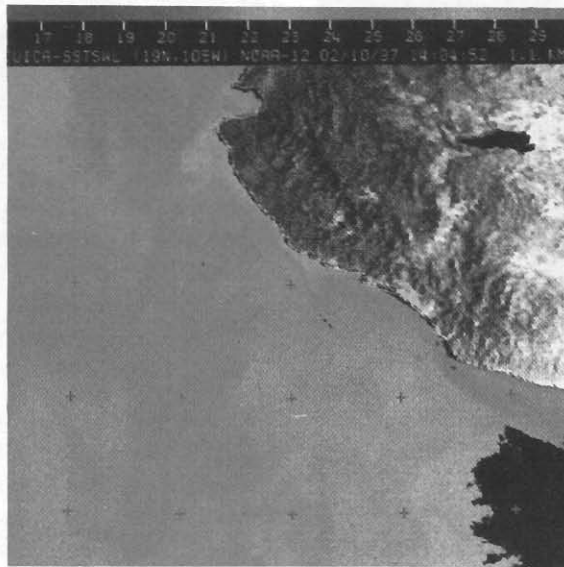


Figura 3. Primeras manifestaciones del enfriamiento de las aguas costeras (10 de febrero de 1997).

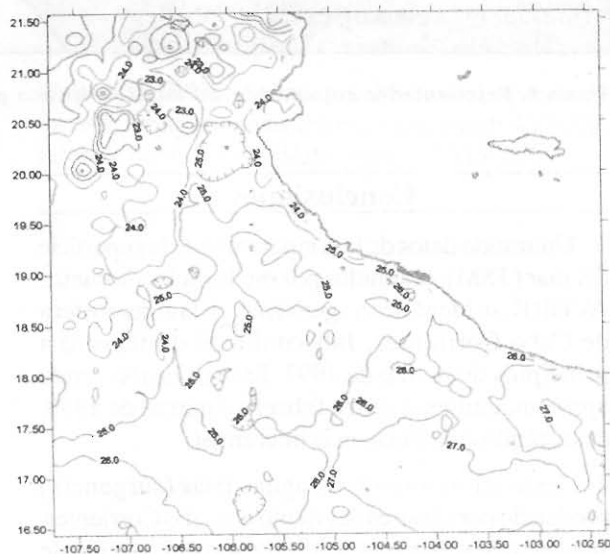
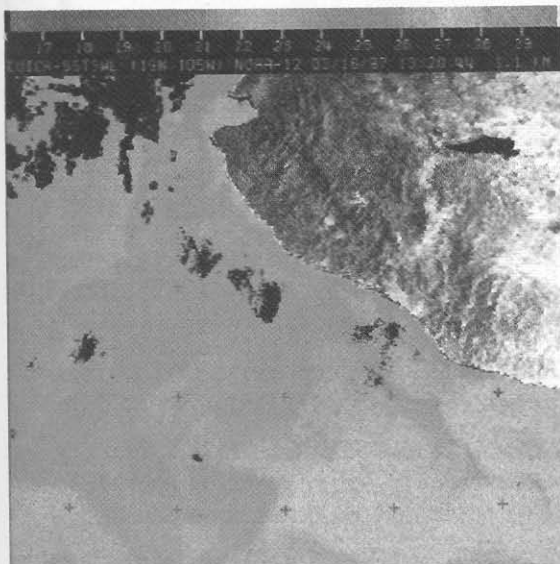
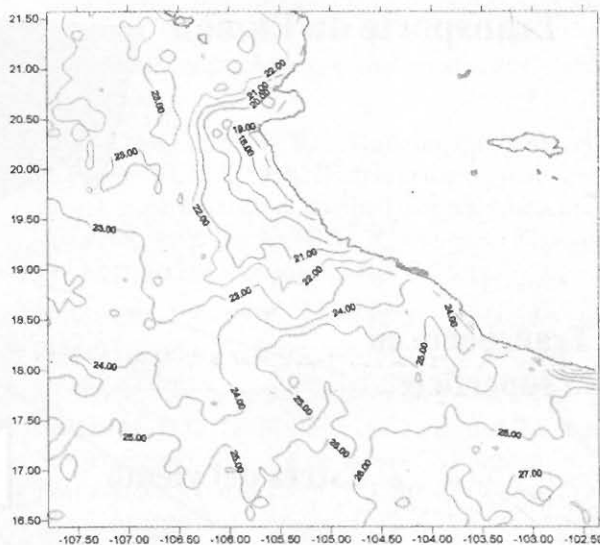
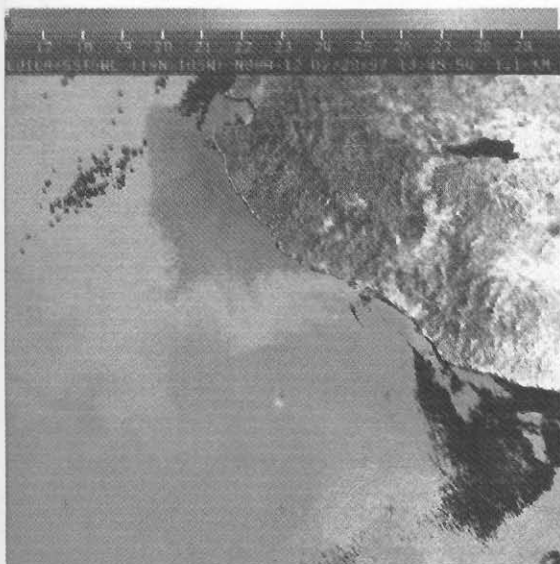


Figura 5. Distribución de la temperatura de la superficie del mar, correspondiente al 16 de marzo de 1997 a las 13:20 hrs (GMT).

más de 100 metros y son ricas en nutrientes. En el caso del continente americano se tienen dos grandes sistemas, por un lado, la corriente de Perú o de Humboldt en América del Sur y, en América del Norte, la Corriente de California. La aparición de estas surgencias ocurre estacionalmente o en periodos interanuales. De hecho, en las costas americanas, en el Pacífico Norte se tienen identificadas varias zonas de surgencia que se presentan estacionalmente desde los 60° N hasta los 21° N (PFEG, 1996). Por lo tanto,

la zona de surgencia de Cabo Corrientes, Jalisco, es probablemente una continuación del sistema de surgencias antes descrito. Este hallazgo contradice la afirmación de que en ese lugar no existe surgencia (De la Lanza, 1991). Por otra parte, Salmeron (1996) reporta asimismo una zona de surgencia, entre los meses de febrero a mayo entre 16°-19° N y 104°-107° W. La cual muy posiblemente corresponde al mismo hallazgo aquí reportado, desafortunadamente la autora no precisa el lugar ni las temperaturas alcanzadas.

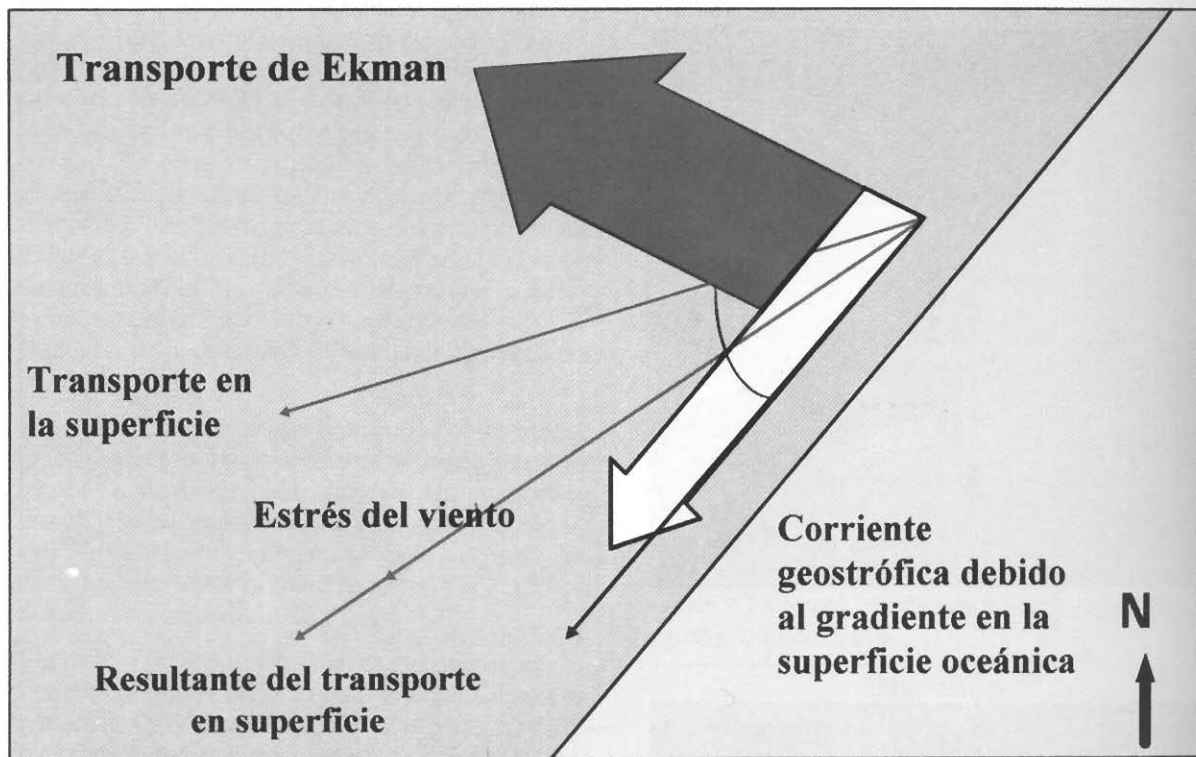


Figura 6. Representación esquemática del estrés de fricción producido por el viento sobre la superficie oceánica.

Conclusiones

1. Utilizando datos de la temperatura de la superficie del mar (TSM), obtenidos por medio del radiómetro AVHRR, se identifican aguas frías en la zona costera de Cabo Corrientes, Jalisco del 10 de febrero a principios de marzo de 1997. Esta situación repite aproximadamente entre febrero y marzo de 1998, destacándose su frecuencia interanual.
2. Este afloramiento de aguas frías (surgencia) producido por el estrés del viento en Cabo Corrientes, Jalisco sugiere ser una continuación del sistema de surgencias asociado a la Corriente de California el cual se extiende desde 60° N hasta 21° N.
3. Es necesario continuar estudiando la zona para determinar su potencial de productividad primaria.

Agradecimientos

Estos trabajos fueron parcialmente financiados con los proyectos CONACYT: F506-T, 0360P, SIMORELOS 95-06-058 y FOMES97.

Literatura citada

- Cracknell, A. P., 1981.** *Remote sensing in meteorology, oceanography and hydrology*. Chichester: Ellis Horwood.
- De la Lanza, G.E. (compiladora), 1991.** *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT Editor, S. A. 569 pp.
- Galindo, I., and Solano R. 1998.** Observing and monitoring forest fires in Mexico using AVHRR data. Subm. to International J. of Remote Sensing.
- Galindo, I., Solano, R., and Dominguez T. 1998a.** Satellite and seismic identification of the ash exhalations of Popocatépetl volcano (Mexico). Subm. to J of Volcanol. and Geothermal Res.
- Galindo, I., Solano, R., and Dominguez T. 1998b.** Satellite and seismic identification of minor ash exhalations of Volcán de Fuego de Colima (Mexico). Subm. to J. of Volcanol. and Geothermal Res.
- Gube, M., V. Gartner, J. Schmetz 1996.** Analysis of the operational calibration of the Meteosat infrared-window channel. *Meteorol. Appl.* 3:307-316.

Kidwell, K. B. (ed.), 1995. NOAA polar orbiter data users guide. Tiros-n to NOAA-14, NOAA-NESDIS-NCDC-SDSD, Washington, D.C.

Kraus, E.B. 1972. *Atmosphere-Ocean Interaction*. Clarendon Press, Oxford 275 pp.

Lauritson, L., G. J. Nelson and F. W. Porto 1978. NOAA Technical Memorandum NESS 107 - Data extraction and calibration of Tiros-n/NOAA radiometers, USDC-NOAA-NESS, Washington, D.C.

McLain, E. P., W.G. Pichel and C.C. Watson 1985. Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperatures, *J. Geophys. Res.*, 90:11587-11601

Monaldo, F., 1996. *Primer on the estimation of Sea Surface Temperature using TeraScan processing of NOAA AVHRR satellite data - Versión 2.0*, Technical Report S1R-96M-03, Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University

NOAA-NESDIS, 1995. *NOAA-14 AVHRR Day and Night SST Equations 3/20/95*, documento electrónico hipertexto, pbsg1.nesdis.noaa.gov/EBB/pubs/SST/noaa14.asc

Pacific Fisheries Environmental Group (PFEG), 1996. PFEG Coastal Upwelling Indices. PFEG Homepage.

Ramos C.E. y Andrade R. A. 1998. *Distribución de la temperatura superficial en el Pacífico Central Mexicano utilizando imágenes AVHRR*. Tesis de Licenciatura, Escuela de Ciencias Marinas, Universidad de Colima. (en revisión).

Ramos, C.E., Andrade, R.A., Galindo, E.I., Solano B. R. y Morales B.A. 1998. Distribución de la temperatura superficial en el Pacífico Central Mexicano, utilizando imágenes AVHRR. XI Congreso Nacional de Oceanografía. Ensenada, Baja California.

Robinson, I.S. 1985. *Satellite oceanography: an introduction for oceanographers and remote sensing scientists*. Chichester. Ellis Horwood.

Salmeron, G.O. 1996. Observación de una Zona de Surgencia en las Costas de Jalisco. Resúmenes VII Reunión Nacional SELPER-MEXICO. Colima, Col., 24 y 25 de octubre 1996.

Stanley, Q. K. and T. H. Vonder Haar (1995). *Satellite Meteorology - An Introduction*, Academic Press, San Diego, CA, 466 pp.

Stewart, R. H. 1985. *Methods of satellite oceanography*. Berkely: University of California Press.

Walton, C. 1988. Nonlinear multichannel algorithms for estimating sea surface temperature with AVHRR satellite data. *J. Appl. Meteorology* 27:115-124.