

Evolución y extensión de los vientos Santa Ana de febrero de 2002 en el océano, frente a California y la Península de Baja California

Evolution and extension of the Santa Ana winds of February 2002 over the ocean, off California and the Baja California Peninsula

Rubén Castro¹
Alejandro Parés-Sierra²
S.G. Marinone²

¹ Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado postal 453
Ensenada, CP 22800, Baja California, México
E-mail: rubenc@uabc.mx

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Km 107 carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, CP 22860, Baja California, México

Recibido en diciembre de 2002; aceptado en abril de 2003

Resumen

Se documenta la evolución y el área de influencia de los vientos Santa Ana sobre el Océano Pacífico frente a las costas de California y de la Península de Baja California a partir de observaciones del satélite QuikScat. El patrón de vientos que típicamente se dirige hacia el sureste en esta región, fue modificado por los vientos Santa Ana al cambiar su dirección hacia el sur, suroeste y oeste entre el 9 y 12 de febrero de 2002. Los cambios fueron inicialmente notables al sur de California, pero los mayores índices de variación fueron entre los 26°N y 28°N frente a la península, con máximos dentro del Golfo de California, sobre todo en la parte norte. Su máxima extensión con dirección al oeste desde la costa fue el 11 de febrero, cuando alcanzó los 32°N y 125°W ó ~700 km; sin embargo, se extendieron hacia el suroeste aproximadamente hasta los 25°N y 124°W ó ~1000 km. Se observó que la orografía de la Península de Baja California tiene un papel importante en el control del paso de los vientos del Golfo de California hacia el Pacífico, causando en varias localidades lenguetas de arena y polvo sobre el océano.

Palabras clave: vientos Santa Ana, satélite QuikScat.

Abstract

The evolution and extension of Santa Ana winds over the Pacific Ocean, off the coasts of California and the Baja California Peninsula, is documented from QuikScat satellite observations. The typical wind pattern in this region is towards the southeast, but between 9 and 12 February 2002 it was modified by Santa Ana winds, changing in direction towards the south, southwest and west. The changes were notable at first in southern California, but the largest indices of variation occurred between 26°N and 28°N off the Baja California Peninsula, with maxima in the Gulf of California, mainly in the northern part. The maximum extension of the winds to the west of the coast was on 11 February, reaching 32°N and 125°W, or ~700 km; however, towards the southwest the winds extended to 25°N and 124°W, or ~1000 km. The topography of the peninsula plays an important role in controlling the winds passing from the Gulf of California to the Pacific, causing plumes of sand and dust in several locations over the ocean.

Key words: Santa Ana winds, QuikScat satellite.

Introducción

El objetivo de este estudio es documentar la evolución del evento Santa Ana ocurrido a mediados de febrero de 2002, con énfasis en la determinación de su área de influencia en el océano, frente a California y la Península de Baja California (fig. 1). La agencia espacial NASA reportó la presencia de

Introduction

The objective of this study is to document the evolution of a Santa Ana event that occurred in mid-February 2002 and to determine its area of influence over the ocean off California and the Baja California Peninsula (fig. 1). NASA reported the presence of strong Santa Ana winds in southern California on

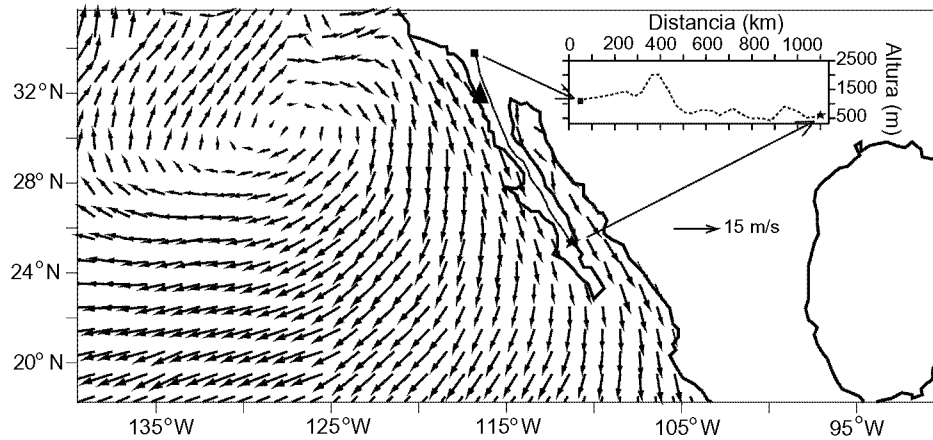


Figura 1. Vectores de velocidad del viento superficial el 8 de febrero de 2002. El recuadro superior muestra la orografía de la Península de Baja California. La posición de la estación meteorológica en Ensenada, Baja California, se indica con un triángulo (▲).

Figure 1. Surface wind velocity vectors for 8 February 2002. The insert shows the topography of the Baja California Peninsula. The position of the meteorological station in Ensenada, Baja California, is indicated with a triangle (▲).

fuertes vientos Santa Ana en la región sur de California el 9 de febrero de 2002, cuyas velocidades excedieron los 80 km/h (Earth Observatory, 2002). Se presentó una imagen fotográfica del *Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer* (MISR) en la que se observa una nube de polvo que es aerotransportada por los vientos en lugares como la Cuenca de Los Ángeles y el condado de San Diego, California, y hasta Ensenada, Baja California (BC). También, en una imagen de color SeaWiFS del 11 de febrero, los vientos se detectan como lengüetas de humo al sur de California, y de arena y polvo en el océano frente a la Península de BC.

La condición climática conocida como Santa Ana, en general se caracteriza por vientos provenientes de regiones desérticas, con altas temperaturas, extremadamente baja humedad y condiciones de cielo completamente despejado (Sommers, 1978). Un evento Santa Ana ocurre cuando un centro de alta presión localizado al este del Pacífico norte se desplaza hacia el continente sobre la parte norte o central de California (Lynn y Svejkovsky, 1984). Se ha reportado también que la posición del centro de alta presión se localiza en ocasiones en la región de la Gran Cuenca (*Great Basin*), cerca de Idaho y Utah (Earth Observatory, 2002). Aunado a lo anterior, un sistema de baja presión débil se localiza fuera de la costa del sur de California generando un gradiente de presión que produce fuertes vientos hacia el mar. La compleja topografía del terreno (montañas y cañones) que se extiende desde la mitad sur de California hasta BC tiene un efecto determinante sobre las características que adquiere la masa de aire (cálida y seca), además de influir en su dirección.

El promedio anual de la componente principal del viento frente a las costas de California y Baja California en el Pacífico es predominante hacia el sureste. En invierno se localiza un centro de alta presión alrededor de los 34°N/135°W, el cual genera vientos cerca de la costa hacia el sur desde ~37°N

9 February 2002, with speeds in excess of 80 km/h (Earth Observatory, 2002). An image from the Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer shows a wind-driven dust cloud from the Los Angeles Basin and San Diego County, in California (USA), to Ensenada, in Baja California (Mexico). Also, in SeaWiFS color imagery from 11 February the winds appear as plumes of smoke to the south of California, and as plumes of sand and dust over the ocean off the peninsula.

In general, the climatic condition known as Santa Ana is characterized by winds that blow from the desert, with high temperatures, extremely low humidity and completely clear sky conditions (Sommers, 1978). A Santa Ana event occurs when a high pressure system to the east of the North Pacific moves towards the continent over northern or central California (Lynn and Svejkovsky, 1984); occasionally, a region of high pressure forms over the Great Basin, near Idaho and Utah (Earth Observatory, 2002). At the same time, a weak low pressure system is located off the coast of southern California; this generates a pressure gradient, causing strong winds to blow out towards the sea. The complex topography (mountains and canyons) of southern California and Baja California strongly influences the characteristics acquired by the air mass (warm and dry) and its direction.

The typical annual wind pattern off the coasts of California and Baja California in the Pacific is predominantly towards the southeast. In winter, a high pressure system occurs at 34°N/135°W, which generates southerly winds near the coast at ~37°N (Strub and Corinne, 2002). In the Gulf of California, during winter the prevailing surface winds are also southeasterly (Badan-Dangon *et al.*, 1991; Parés-Sierra *et al.*, 2003). When a Santa Ana event occurs, the winds are southwesterly and westerly along the coast of California (Sommers, 1978; Noonkester, 1979).

(Strub y Corinne, 2002). En el Golfo de California, durante el invierno, los vientos superficiales prevalecientes son también hacia el sureste (Badan-Dangon *et al.*, 1991; Parés-Sierra *et al.*, 2003). Cuando ocurre un evento Santa Ana los vientos se dirigen aproximadamente perpendiculares a las costas de California, al suroeste y oeste (Sommers, 1978; Noonkester, 1979).

El único estudio que conocemos donde se reporta la extensión de los vientos Santa Ana es en relación al evento del 26 al 30 de noviembre de 1980. Varios incendios generados al sur de Los Ángeles fueron visibles en imágenes AVHRR como lengüetas de humo. Éstas imágenes fueron usadas para determinar la extensión de la influencia de los vientos Santa Ana hacia el mar durante ese período. El humo siguió el patrón de flujo del aire y se detectó hasta los 26°N/125°W o hasta una distancia mayor a 1100 km al suroeste de la fuente (Svejkosvsky, 1985).

En este trabajo se utilizan observaciones de vientos del satélite *QuickScat* para determinar la extensión y duración del evento de febrero de 2002 sobre la superficie del océano.

Datos

Los datos consisten en observaciones de vientos sobre el océano a través del SeaWinds a bordo del satélite *QuickScat*. Éste es un radar de microondas que mide la magnitud y dirección del viento sobre los océanos cerca de la superficie. Los datos son reportados en una malla espacial uniforme de 0.50 por 0.50 Latitud-Longitud y una resolución temporal de cada 12 horas (Liu *et al.*, 1998; JPL, 2001). A partir del campo de velocidad se calculó un índice de variación, I , que se define como el cuadrado de la distancia euclidiana de los vectores de viento al vector promedio mensual en cada punto, ponderado por la magnitud del viento. Esto es:

$$I = \left| \vec{V} \right| \left[(u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \right] \quad (1)$$

donde $\left| \vec{V} \right|$ es la magnitud del vector de velocidad, (u, v) las componentes de velocidad (este-oeste, norte-sur), respectivamente, y (\bar{u}, \bar{v}) el promedio mensual de las mismas. Un valor alto del índice indica una desviación grande del viento con respecto al promedio, pero sólo cuando la magnitud del viento es grande. Para delimitar el área de influencia del evento Santa Ana se utilizaron los valores altos de este índice.

Se incluyen series de tiempo de la velocidad zonal del viento y de la temperatura del aire del 5 al 15 de febrero de 2002, de una estación meteorológica autónoma ubicada a 55 m sobre el nivel medio del mar en la Presa Emilio López Zamora, en Ensenada, BC. También se incluye una imagen AVHRR de temperatura superficial del mar del 10 de febrero del 2002 para observar la incursión de los vientos Santa Ana en el océano, ya que estos vientos levantaron una gran cantidad de polvo obstruyendo el sensor de temperatura; sin embargo, fue así como pudieron ser detectados.

The extent of Santa Ana winds was reported for the event of 26–30 November 1980. Several fires to the south of Los Angeles were visible as smoke plumes in AVHRR imagery, and they were used to determine the extent of the influence of the Santa Ana winds towards the sea during the period. The smoke followed the airflow pattern and was detected to 26°N/125°W, or a distance of more than 1100 km to the southwest of the source (Svejkosvsky, 1985).

In the present study, *QuickScat* satellite observations are used to determine the duration and extent over the ocean of the February 2002 Santa Ana event.

Data

The data consist of ocean wind observations from the SeaWinds scatterometer aboard the *QuickScat* satellite. This instrument is a microwave radar that measures both the speed and direction of winds near the ocean surface. The data are presented in a 0.5° by 0.5° latitude/longitude grid, with a temporal resolution of 12 h (Liu *et al.*, 1998; JPL, 2001). The velocity field was used to calculate an index of variation, I , which is defined as the square of the euclidian distance of the wind vectors to the mean monthly vector at each point, weighted by the wind magnitude:

$$I = \left| \vec{V} \right| \left[(u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \right] \quad (1)$$

where $\left| \vec{V} \right|$ is the magnitude of the velocity vector; u and v are the east-west and north-south velocity components, respectively; and \bar{u} and \bar{v} are the monthly means of the components. A high index value indicates a large deviation of the wind relative to the average, but only when the magnitude of the wind is high. The high values of this index were used to delimit the area of influence of the Santa Ana event.

Time series are included of the zonal wind velocity and air temperature for 5–15 February 2002; the data were obtained from a meteorological station located 55 m above mean sea level at the Emilio López Zamora Dam in Ensenada, Baja California. Also presented is an AVHRR image of sea surface temperature for 10 February 2002 to observe the dispersion of the Santa Ana winds over the ocean, as these winds lifted a large amount of dust that obstructed the temperature sensor and could thus be detected.

Results

According to the criterion of the Santa Ana condition index, defined by the University of California at San Diego (<http://meteora.ucsd.edu/weather.html>), in February 2002 a Santa Ana event began on the 9th at 17:00 hours and ended on the 12th at 01:00 hours (GMT). At the same time, in Ensenada there was a strong increase in air temperature of up to 10°C, there was a notable change in wind direction (to the west) and there was an increase in the intensity of the zonal wind

Resultados

De acuerdo al criterio del índice de ocurrencia de condición Santa Ana, definido por la Universidad de California en San Diego (<http://meteora.ucsd.edu/weather.html>), en febrero de 2002, un evento Santa Ana inició el día 9 a las 17:00 horas, y terminó el día 12 a las 01:00 horas (GMT). En las mismas fechas, en Ensenada, BC, se registró un fuerte incremento en la temperatura del aire que alcanzó los 10°C, el viento cambió drásticamente de dirección (hacia el oeste) y registró un aumento en la intensidad de la componente zonal de hasta ~10 m/s (fig. 2). Por otro lado, Mascarenhas *et al.* (2002) reportaron que en la Isla Guadalupe, BC (~400 km al suroeste de Ensenada), el viento, la temperatura y la humedad relativa cambiaron a condiciones tales que señalan que la masa de aire continental llegó hasta esa zona. Los vientos de *QuikScat* también muestran este efecto, con la obvia ventaja de la cobertura espacial de los vientos en el océano. La figura 3 muestra la evolución del campo de vientos para el período identificado de este evento Santa Ana y el índice de variación se ha incluido para mostrar las áreas donde los cambios han sido más notables en relación a la media mensual.

El 8 de febrero de 2002 el patrón de vientos muestra un giro anticiclónico situado alrededor de los 30°N/125–130°W (fig. 1). La dirección principal de los vientos cerca de la costa desde los 34°N es hacia el sureste. En el Golfo de California (GC) la dirección es aproximadamente a lo largo de su eje, con algunas variaciones en la parte norte. En la figura 3 se muestra la evolución y extensión de los vientos del 9 al 13 de febrero de 2002, y se incluye el índice de variación (1) para mostrar las zonas donde los cambios son más notables respecto al promedio mensual. El 9 de febrero a las 12:00 horas (fig. 3a), la dirección de los vientos presenta un pequeño cambio respecto a la figura 1: entre los 32–36°N y 120–122°W los vientos se dirigen al sur, pero cerca de la costa de California su dirección es al sur-suroeste entre 33–34°N y 118°W. Doce horas después, el cambio en la dirección de los vientos es más notable, sobre todo cerca de las costas del sur de California y al sur de los 29°N (fig. 3b). También en todo el GC los cambios fueron mayores. Se observa un considerable incremento en la magnitud y cambio de dirección en la componente hacia el oeste, los máximos del índice de variación fueron a los 30°N y 23°N. El 10 de febrero a las 12:00 horas (fig. 3c) destaca un área frente a la región sur de California y el norte de Baja California que va desde la costa hasta los 122°W entre 29–35°N, donde los vientos son perpendiculares a la costa, el índice de variación se incrementó en dicha área pero continúan los máximos en el GC, sobre todo en el norte. La extensión de los vientos Santa Ana hacia el océano fue prominente el 11 de febrero a las 00:00 horas, ya que el índice aumentó en gran parte de la región (fig. 3d). Se observa también una mayor desviación o efecto de los vientos Santa Ana en la región de 27–29°N y 115°W. Cabe hacer notar que es esta área donde la altura de la península disminuye y permite mayor paso de los vientos desde el GC (fig. 1). La máxima extensión de los vientos Santa

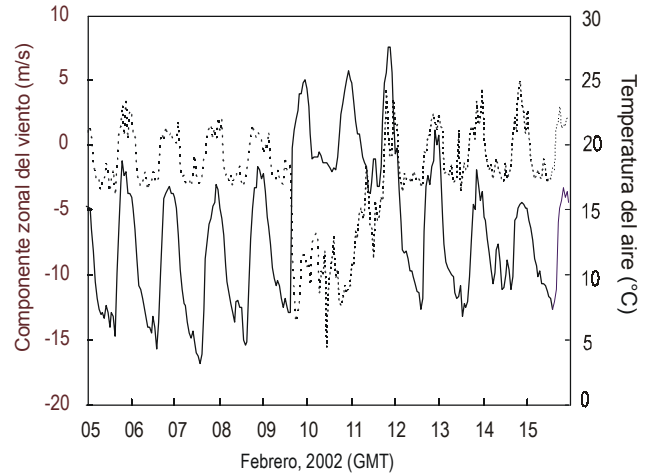


Figura 2. Componente zonal del viento (---) y temperatura del aire (·) a una altura de 55 m sobre el nivel medio del mar en la Presa Emilio López Zamora de Ensenada, Baja California. Valores negativos del viento indican que la dirección es hacia el Oeste.

Figure 2. Zonal wind component (---) and air temperature (·) at the Emilio López Zamora Dam in Ensenada, Baja California, located 55 m above mean sea level. Negative wind values indicate a westerly direction.

component of ~10 m/s (fig. 2). Mascarenhas *et al.* (2002) reported that on Guadalupe Island, Baja California (~400 km to the southwest of Ensenada), the wind, temperature and relative humidity conditions changed, indicating that the continental air mass had extended to this area. *QuikScat* wind observations also show this effect, with the obvious advantage of the ocean wind coverage. Figure 3 shows the evolution and extent of the wind field for this Santa Ana period, and the index of variation is included to show the areas where the changes are most notable relative to the monthly mean.

On 8 February 2002, the wind pattern shows an anti-cyclonic gyre situated around 30°N and 125–130°W (fig. 1); the predominant wind direction near the coast is southeasterly as of 34°N, and in the Gulf of California it is approximately along its axis, with some variation in the northern part. On 9 February at 12:00 hours (fig. 3a), there is a slight change in wind direction relative to figure 1: between 32–36°N and 120–122°W the winds flow to the south, but near the coast of California, between 33–34°N and 118°W, they flow to the south-southeast. Twelve hours afterwards, the change in wind direction is more notable, especially near the coast of southern California and to the south of 29°N (fig. 3b). Marked changes were also observed throughout the Gulf of California, with a considerable increase in the magnitude and change of direction of the westerly component; the maximum values of the index of variation occurred at 30°N and 23°N. On 10 February at 12:00 (fig. 3c), the index of variation increased in an area off southern California and northern Baja California, from the coast to 122°W between 29°N and 35°N, where the winds are perpendicular to the coast; however, the maximum values still

Figura 3a–h. Vectores de velocidad del viento superficial del 9 al 13 de febrero de 2002. Los contornos de color indican el índice de variación (m^3/s^3). La fecha y la hora se indican con respecto al meridiano de Greenwich.

Figure 3a–h. Surface wind velocity vectors from 9 to 13 February 2002. The colour contours indicate the index of variation (m^3/s^3). The dates and hours are given relative to Greenwich mean time.

Ana fue el 11 de febrero a las 12:00 horas, cuando el límite de su influencia alcanzó los 125°W y los vientos se dirigen todavía hacia el oeste (fig. 3e). La distribución del índice de variación entre los 25–36°N se aprecia bien delimitado y los valores mayores siguen frente a la península (27–29°N) y entre los 30–32°N en el norte del GC. El 12 de febrero a las 00:00 horas el área de influencia de los vientos Santa Ana se redujo considerablemente (fig. 3f), los vientos con dirección hacia el oeste se limitaron a los 122°W y el máximo índice fue entre los 27–28°N. En el golfo el índice tuvo los menores valores desde que inició el evento. El 12 de febrero a las 12:00 horas (fig. 3g), el área de influencia e índice de variación son menores, aunque la dirección de los vientos hacia el suroeste, al sur de los 32°N cerca de la costa Pacífico y en el Golfo de California, se mantiene. Para el 13 de febrero (fig. 3h) las condiciones ya se han restablecido: en el golfo los vientos se alinean a lo largo de su eje y, frente a las costas del Pacífico, éstos han cambiado hacia el sureste.

En la figura 4 se muestra la temperatura superficial del mar del 10 de febrero de 2002, donde se observan huecos en forma de lengüetas perpendiculares a la costa en varias localidades frente a la Península de Baja California entre los 26–32°N. Esto es debido a una gran cantidad de arena y polvo que es exportada por los fuertes vientos Santa Ana hacia el mar. En algunos lugares el área cubierta es mayor, lo cual, como se

occurrió en el Golfo de California, especialmente en la northern part. The dispersion of the Santa Ana winds towards the ocean was prominent on 11 February at 00:00, since the index increased in most of the region (fig. 3d). A greater deviation or effect of the Santa Ana winds is also observed in the region of 27–29°N and 115°W. Note that the height of the peninsula decreases in this area and allows the winds to pass more freely from the Gulf of California (fig. 1). The maximum extension of the Santa Ana winds occurred on 11 February at 12:00, when they reached 125°W and the winds still blew to the west (fig. 3e). The distribution of the index of variation between 25°N and 36°N is well delimited, and the highest values still occur off the peninsula (27–29°N) and at 30–32°N in the northern Gulf of California. On 12 February at 00:00, the area of influence of the Santa Ana winds decreased considerably (fig. 3f), with the westerly winds extending to 122°W and the maximum index at 27–28°N; in the gulf, the index values were the lowest since the beginning of the event. On 12 February at 12:00 (fig. 3g), the area of influence of the variation index is lower, even though the southwesterly direction of the winds, to the south of 32°N near the Pacific coast and in the gulf, continues. On 13 February (fig. 3h), the conditions returned to normal, with southeasterly winds in the Pacific and along the Gulf of California.

The sea surface temperature of 10 February 2002 is shown in figure 4. Gaps in the form of plumes can be seen off the coast of the Baja California Peninsula, between 26°N and 32°N, due to the large amount of sand and dust that is transported towards the sea by the strong Santa Ana winds. The area covered in some places is greater because of the variable topography of the mountain chain along the peninsula (fig. 1), which allows the winds to flow more freely from the gulf to the Pacific. There is a considerable decrease in the height of the mountains in the area between 26°N and 28°N, which coincides with the maximum index of variation in the Pacific (fig. 3d–f).

In summary, the evolution and extent of the Santa Ana winds over the ocean in mid-February 2002 has been described based on QuikScat satellite observations. The winds changed in speed and direction (to the south, southwest and west) between 9 and 12 February. They extended over a large part of the Pacific and throughout the Gulf of California. Considering the high values of the variation index, the maximum extension of the winds to the west of the Pacific coast occurred on 11 February, extending to 32°N/125°W or ~700 km, whereas towards the southwest, the winds extended to 25°N/124°W or ~1000 km. Even though the Santa Ana winds do not last long (around three days), they extend hundreds of kilometers over the ocean, at least during this event. Changes can occur in the ocean as a result of these intense winds, such as the modification of the surface current field, upwelling, air-sea heat exchange (latent and sensible heat), alteration in the marine environment because of the large amount of sand and dust exported to the sea, among others. It is important to indicate that only one Santa Ana event is analyzed in this study and that the intensity, duration and extension of other events may differ.

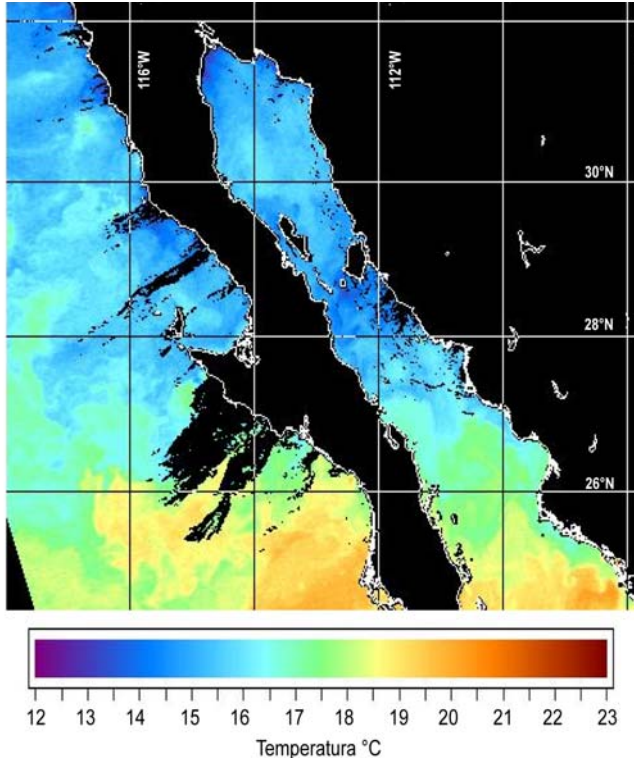


Figura 4. Imagen de satélite de la temperatura superficial del mar correspondiente al 10 de febrero de 2002 (NOAA-CoastWatch).

Figure 4. Satellite image of sea surface temperature for 10 February 2002 (NOAA-CoastWatch).

mencionó anteriormente, se debe a la variabilidad orográfica que presenta la cadena montañosa a lo largo de la península (fig. 1), y que permite que los vientos alcancen a cruzar del golfo hacia el Pacífico con mayor facilidad. Destaca la zona entre los 26–28°N donde hay una considerable disminución en la altura de las montañas que coincide con el índice de variación máximo en el Pacífico (fig. 3d–f).

En resumen, al seguir la evolución y extensión de los vientos Santa Ana sobre el océano, de mediados de febrero del 2002 a partir de las observaciones del satélite *QuickScat*, se concluye que los vientos cambiaron su magnitud y dirección (hacia el sur, suroeste y oeste) entre el 09 y 12 de febrero, se extendieron en gran parte del Pacífico y en todo el Golfo de California. Considerando valores altos del índice de variación, el máximo con dirección oeste, desde la costa Pacífico hacia mar adentro fue el 11 de febrero y alcanzó los 32°N–125°W ó ~700 km, y hacia el suroeste se extendió hasta 25°N–124°W ó ~1000 km. Aunque el evento fue de poca duración (~3 días), espacialmente cubrió varios cientos de kilómetros sobre el océano, al menos en este episodio. Estos intensos vientos pueden generar cambios en el océano, como la modificación del campo de corrientes superficiales, surgencias, intercambio de calor aire-mar (calor latente y sensible), y la alteración del medio ambiente marino debido a la gran cantidad de arena y polvo exportados al mar, entre otros factores. Es importante señalar que en este estudio se analiza un solo evento Santa Ana. La intensidad, duración y extensión de otros eventos puede ser diferente.

Agradecimientos

Los datos de viento de *QuickScat* fueron obtenidos de la NASA/NOAA, en particular se agradece al programa Seaflux-JPL, cortesía de W. Timothy Liu y Wenging Tang. La imagen de temperatura superficial del mar del programa CoastWatch-NOAA. Se agradece en especial a la Comisión Nacional del Agua por los datos proporcionados de la estación meteorológica ubicada en Ensenada, BC (México). Se aprecian las sugerencias y comentarios de los revisores anónimos. Este trabajo fue apoyado por la UABC-FCM, proyecto 1361.

Acknowledgements

The QuikScat wind data were obtained from NASA/NOAA, in particular the Seaflux-JPL program, courtesy of W. Timothy Liu and Wenging Tang. The sea surface temperature image was from the CoastWatch-NOAA program. We thank the Comisión Nacional del Agua for providing the data from the meteorological station in Ensenada, Baja California, Mexico, and the anonymous reviewers for their comments and suggestions. This work was supported by UABC-FCM, project 1361.

English translation by Christine Harris.

Referencias

- Badan-Dangon, A., Dorman, C.E., Merriehew, M.A. and Winant, C.D. (1991). The lower atmosphere over the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 96, C9: 16877–16896.
- Earth Observatory (2002). <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NasaNews>
- JPL (2001). Document D-20335: Sea Wind on QuikScat Level 3 Daily Gridded Ocean Wind Vectors (JPL SeaWinds Project).
- Liu, W.T., Tang, W. and Polito, P.S. (1998). NASA scatterometer provides global ocean surface wind fields with structure than numerical weather prediction. *Geophys. Res. Lett.*, 25(6): 761–764.
- Lynn, R.J. and Svejksky, J. (1984). Remotely sensed sea surface temperature variability off California during a “Santa Ana” clearing. *J. Geophys. Res.*, 89, C5: 8151–8162.
- Mascarenhas, A., Castro, R., Martínez-Díaz-de-León, A. y Gil-Silva, E. (2002). Observación de vientos Santa Ana en la Bahía de Todos Santos e Isla Guadalupe, Baja California en febrero de 2002. Volumen de resúmenes en GEOS, UGM, 22, 2, 102.
- Noonkester, V.R. (1979). Coastal marine fog in southern California. *Monthly Weather Rev.*, 107: 830–851.
- Parés-Sierra, A., Mascarenhas, A., Marinone, S.G. and Castro, R. (2003). Temporal and spatial variation of the surface winds in the Gulf of California. *Geophys. Res. Lett.*, 30(6), 45-1 to 45-4.
- Sommers, W.T. (1978). LFM forecast variables related to Santa Ana wind occurrences. *Monthly Weather Rev.*, 106: 1307–1316.
- Svejksky, J. (1985). Santa Ana airflow observed from wildfire smoke in satellite imagery. *Monthly Weather Rev.*, 113: 902–906.