

## INTERACCIÓN OCÉANO-ATMÓSFERA: SURGENCIA Y GENERACIÓN DE ANILLOS EN LA REGIÓN DE PAPAGAYO

José Mauro Vargas<sup>1</sup>

**Resumen:** Haciendo uso de datos de AVHRR, de datos de viento del QuikScat y de una estación meteorológica en la zona de Cuajiniquil en Costa Rica, se ha encontrado una clara relación entre la velocidad de los vientos y el fenómeno de surgencia en Papagayo entre el 14 de diciembre de 2001 y el 5 de abril de 2002. Se observa también un corrimiento notable hacia el norte de los vórtices anticiclónicos formados en Papagayo para finales de febrero de 2002 con respecto a los anillos investigados por Ballester y Coen en el experimento llevado a cabo en 1996 (Ballester y Coen, 2004).

**Palabras claves:** Anillos anticiclónicos, surgencia, Golfo de Papagayo.

**Abstract:** Using data from the AVHRR and QuikScat instruments together with information from a meteorological station located in Cuajiniquil, Costa Rica, a relationship between the wind direction and the shape of the upwelling plume in Papagayo has been obtained for the period 14 December 2001 to 5 April 2002. The anticyclonic rings formed in Papagayo during the end of February 2002 were located 1.5 degrees to the north of the position of the rings observed by Ballester and Coen in an experiment carried out in 1996.

**Key words:** Upwelling plume, anticyclonic ring, Papagayo Gulf.

### 1. Introducción

El extremo este del océano Pacífico tropical entre 5° N y 17° N es sometido, entre los meses de noviembre y mayo, a un intenso afloramiento inducido por el viento. Este fenómeno ocurre en tres sitios de América Central: el Golfo

<sup>1</sup> Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero, Universidad Nacional, Heredia 86-3000. Costa Rica. Correo electrónico: maurovh@yahoo.com

de Tehuantepec en México, el Golfo de Papagayo en la frontera de Costa Rica-Nicaragua y el Golfo de Panamá. En estos lugares se presentan interrupciones en la cadena montañosa, que permiten el paso del viento en forma de un chorro intenso hacia el Pacífico.

El viento que pasa por esos pasajes es producido por sistemas de altas presiones en el Atlántico, por la intensificación de vientos alisios en la época seca y por el chorro del este de bajo nivel o recientemente llamado *IntraAmericans Low-Level Jet* (IALLJ), el cual posee un ciclo estacional, apareciendo desde enero hasta abril y después vuelve a surgir de nuevo en julio (para esta época se produce el *veranillo* o *canícula*).

La surgencia o afloramiento es importante porque transporta agua fría de las zonas subsuperficiales del océano a las capas superiores de éste. Estas aguas son muy fértiles, ya que son ricas en nutrientes y también contienen altas concentraciones de dióxido de carbono, lo cual favorece la producción de fitoplancton y consecuentemente la actividad pesquera.

En este artículo se investiga el efecto causado en la temperatura superficial del mar (SST) debida a los vientos mencionados anteriormente, para el período entre el 14 de diciembre de 2001 y el 5 de abril de 2002. Para llevar a cabo esto, se toman en cuenta datos de magnitud y dirección del viento de la estación de Cuajiniquil (latitud: 10° 57' N y longitud: 85° 42' O), a una altura sobre el nivel del mar de 20 m, suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica y datos de viento obtenidos del QuikScat con una resolución espacial de 1°x1° y una resolución temporal de cada seis horas. También se utilizan datos de SST obtenidos por radiómetros ópticos colocados en los satélites polares de la NOAA y que son procesados en el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero (LAOCOS) de la Universidad Nacional.

Se escogió una región determinada por las siguientes coordenadas: entre los 2° S y 17° N de latitud y entre los 75° O y 110° O de longitud, de tal manera que puedan ser incluidas en su totalidad la zona de afloramiento en Papagayo y también las de Tehuantepec y Panamá, así como una parte del medio circundante del océano Pacífico y una sección del Atlántico.

## **2. Relación del viento con la SST**

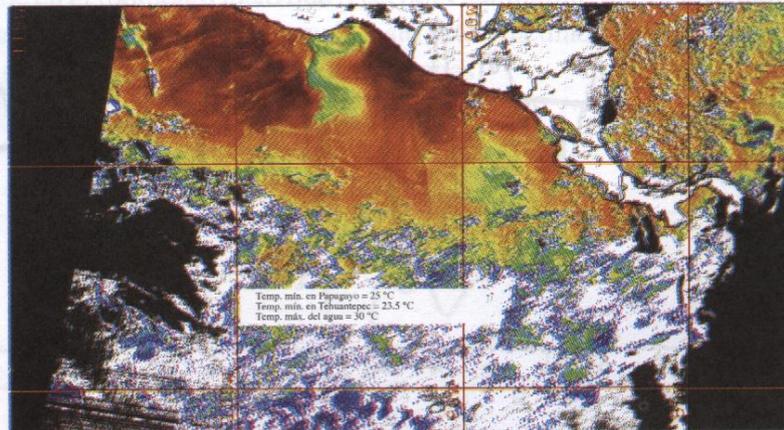
Se usan imágenes de satélite para poder distinguir las regiones de bajas temperaturas. Las imágenes muestran una mancha de aguas frías que se extiende hacia el oeste grandes distancias.

En el período comprendido entre el 14 de diciembre de 2001 y el 5 de abril de 2002 se observa en la estación de Cuajiniquil que la velocidad del viento se incrementa considerablemente, llegando su magnitud a un valor promedio de 6,16 m/s y a un valor máximo horario de 9 m/s, el cual corresponde al día 14 de febrero de 2002. Para otros meses del año la magnitud de la velocidad del viento está muy por debajo de los datos anteriores, llegándose a valores de hasta 1,60 m/s para un promedio del mes de septiembre y un valor máximo de 6,06 m/s.

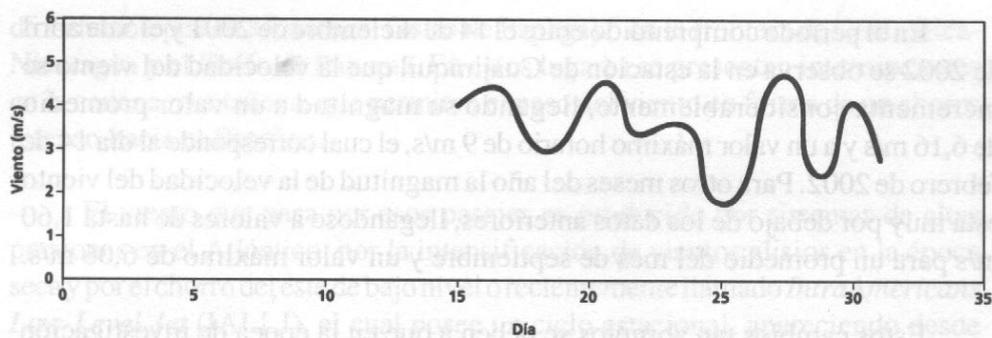
Estos cambios tan abruptos se deben a que en la época de investigación se presenta un fuerte incremento en los vientos alisios y un máximo en el IALLJ, los cuales tienen una dirección en promedio de  $67^{\circ} 13'$  con respecto al norte.

Conforme avanza diciembre de 2001 y enero de 2002 se nota un incremento en la magnitud de los vientos en Cuajiniquil, lo cual favorece la aparición de un leve afloramiento en Papagayo.

La figura 1 muestra la media entre los días 23 y 24 de diciembre de 2001, donde se nota que la surgencia aún es relativamente débil en Papagayo, con temperaturas mínimas que rondan los 25 °C, lo cual es de esperar, pues en la figura 2 se observa que la magnitud del viento para finales de diciembre en Cuajiniquil es aún baja, en particular para esos días alcanzó tan sólo un promedio de 3,88 m/s.



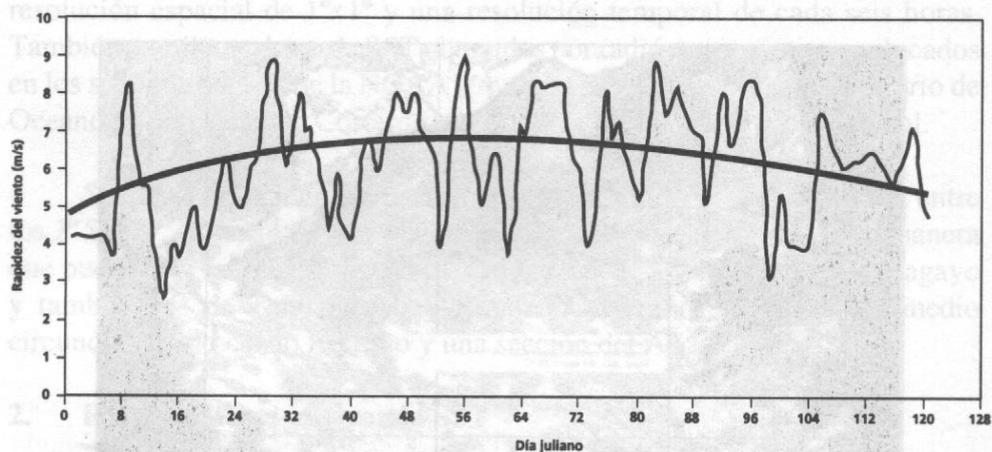
**Figura 1. Imagen de SST que muestra la media de los datos entre el 23 y el 24 de diciembre de 2001**



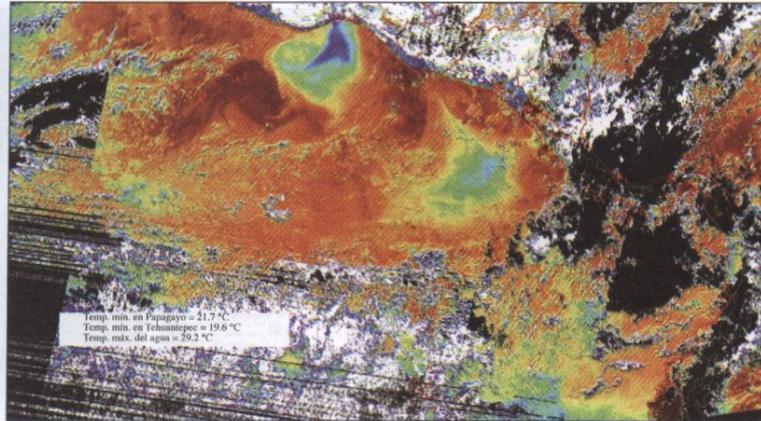
**Figura 2. Magnitud de la velocidad del viento medido en la estación de Cuajiniquil para el mes de diciembre de 2001**

Para principios de enero los vientos se intensifican aún más produciéndose afloramientos más marcados en Papagayo. La figura 3 muestra que el viento ha aumentado en forma considerable para la primera semana de enero, dándose un fuerte pico entre el 8 y el 10 de enero, lo cual concuerda perfectamente con la gran mancha de agua fría observada en la imagen de la figura 4 para esa misma época.

La figura 4 revela que la región de Tehuantepec fue azotada por fuertes vientos perpendiculares a la costa, produciéndose un claro frente oceánico



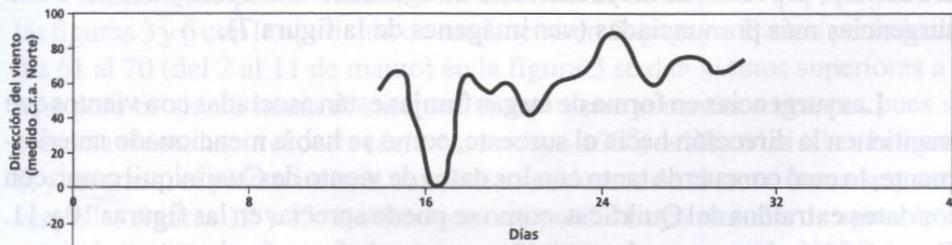
**Figura 3. Magnitud de la velocidad del viento en función del día juliano medido en la estación de Cuajiniquil (desde enero de 2001 hasta el 30 de abril de 2002)**



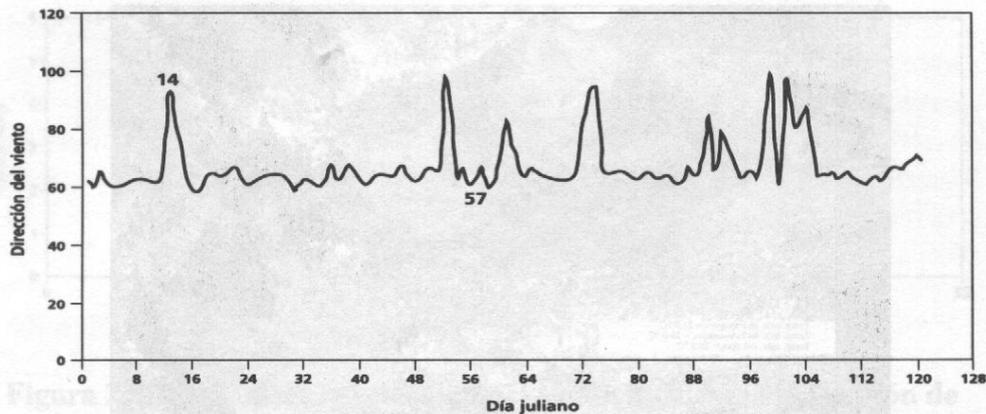
**Figura 4. SST que muestra la media de los datos entre el 5 y el 10 de enero de 2002**

debido a la surgencia que se presenta en esa región. Se puede notar que hay una gran masa de agua caliente mezclándose con otra masa de agua fría.

Es posible ver en la figura 4 un claro afloramiento en Cuajiniquil en el período del 5 al 10 de enero, el cual está relacionado con el incremento en la magnitud del viento visto en el primer pico de la figura 3. En las figuras 8 y 9 se observa que los vectores de viento son más distribuidos y luego tienden a colocarse casi horizontales, es decir, adquiriendo después una dirección casi hacia el oeste (o proveniente del este). Esto no es posible detectarlo en la figura 6, ya que en el momento justo que pasa por Cuajiniquil, los vientos aún son del noreste. Como se discutirá después, esto está vinculado con afloramientos en forma de manchas más distribuidas y anchas.



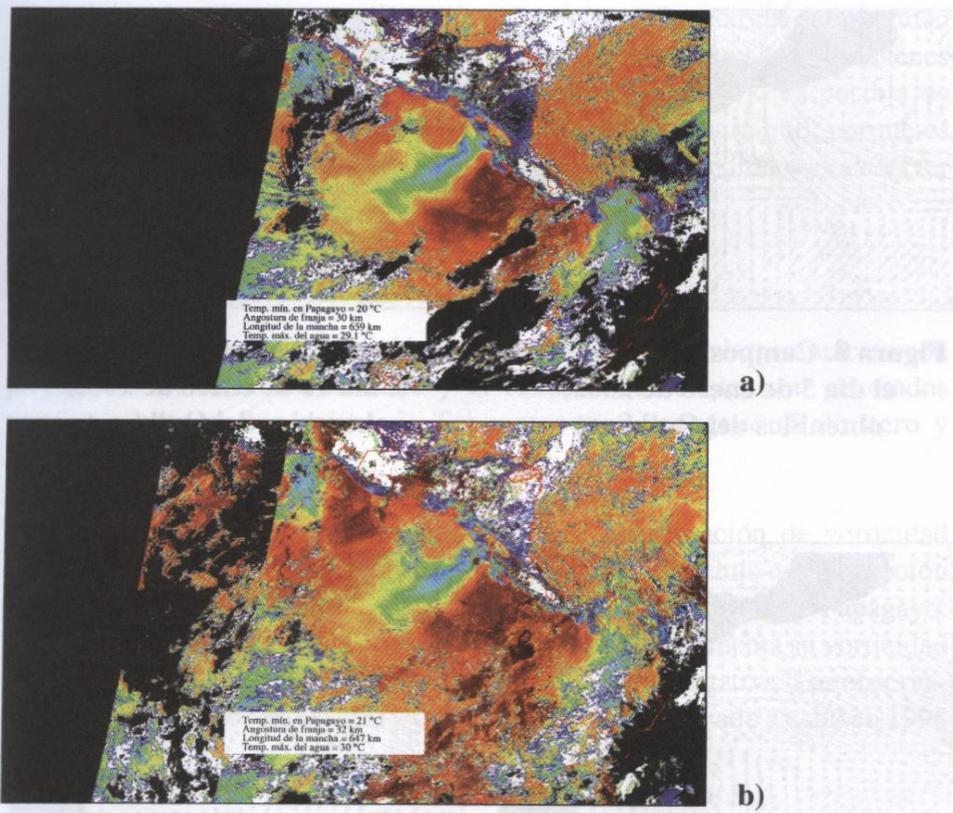
**Figura 5. Dirección del viento medido en la estación de Cuajiniquil para el mes de diciembre de 2001**



**Figura 6. Dirección del viento medido c.r.a. norte en forma horaria en la estación de Cuajiniquil en función del día juliano (desde enero hasta el 30 de abril de 2002)**

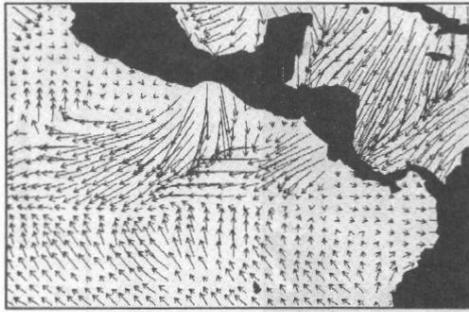
Se nota una relación fuerte entre los períodos de vientos intensos y que mantienen la dirección hacia el suroeste (viento que proviene del noreste, ángulos horarios entre  $45^\circ$  y  $65^\circ$  con respecto al norte) con la aparición en Papagayo de afloramientos en forma de largas franjas angostas y de temperaturas mínimas de hasta  $20^\circ\text{C}$ . Es posible apreciar en la figura 3 un fuerte pico asociado con viento intenso y en la figura 6 se puede ver que los ángulos rondan los  $60^\circ$  para el período que va del día 52 al 59 (del 20 al 28 de febrero) y para el cual se producen intensos afloramientos en forma de franjas perpendiculares a la costa, y esto se produce cuando el viento después de pasar a través de la interrupción montañosa posee dirección suroeste (del noreste) a lo largo de grandes distancias, originándose un chorro que golpea bruscamente el agua en el Pacífico, provocando mayor arrastre de aguas hacia el oeste y debido a ello surgencias más pronunciadas (ver imágenes de la figura 7).

Las surgencias en forma de largas franjas están asociadas con vientos que mantienen la dirección hacia el suroeste, como se había mencionado anteriormente, lo cual concuerda tanto con los datos de viento de Cuajiniquil como con los datos extraídos del QuikScat, como se puede apreciar en las figuras 10 y 11. En estas imágenes se puede notar claramente el efecto de chorro en el viento, es decir, el viento está más canalizado y logra mantener la dirección suroeste en todo momento.

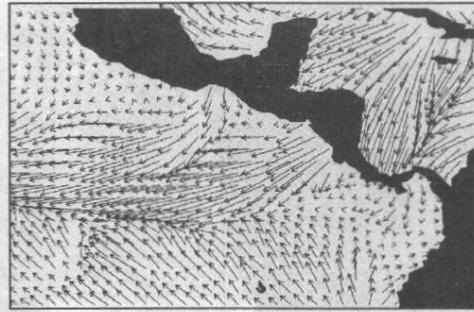


**Figura 7. a) SST para el día 26 de febrero de 2002 a las 4:28 a.m.  
 b) SST que muestra la media de los datos entre el 23 y el 28 de febrero de 2002. En ambas imágenes es posible notar claramente la forma de franja angosta que adquiere el afloramiento en Papagayo para esta época**

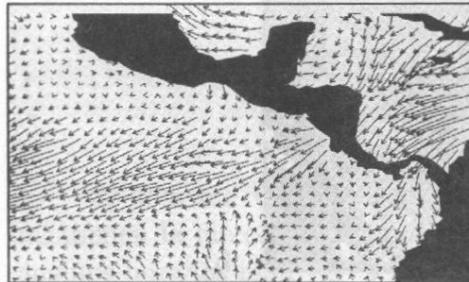
También se puede notar la concordancia de otros picos que aparecen en las figuras 3 y 6 con la aparición de surgencias en Papagayo. Para el período del día 61 al 70 (del 2 al 11 de marzo) en la figura 3 se dan vientos superiores a 8 m/s, pero el viento hacia el suroeste se mantiene por menos tiempo, pues se presenta viento hacia el oeste (del este, cercano a 90°) del día 61 al 63 en la figura 6, y, además, el viento no está canalizado en forma de chorro, como se puede ver en las figuras 12 y 13. Debido a esto se produce una mancha de aguas frías más distribuida y ancha, con temperaturas mínimas cercanas a los 23 °C, lo cual difiere considerablemente de la forma de franja bien definida de la figura 7. Este último comportamiento se puede apreciar en la figura 14.



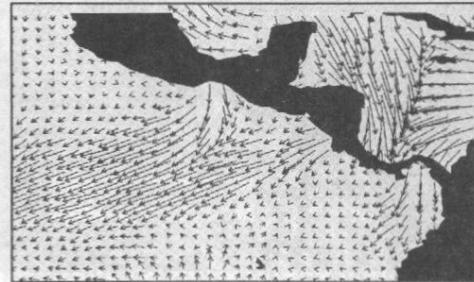
**Figura 8. Campos de viento para el día 5 de enero de 2002, obtenidos del QuikScat**



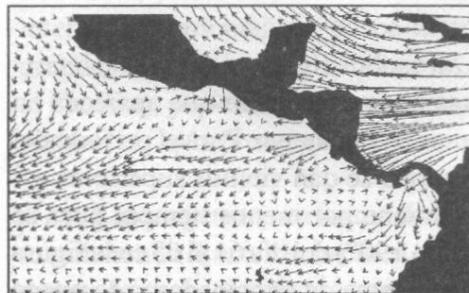
**Figura 9. Campos de viento para el día 10 de enero de 2002, obtenidos del QuikScat**



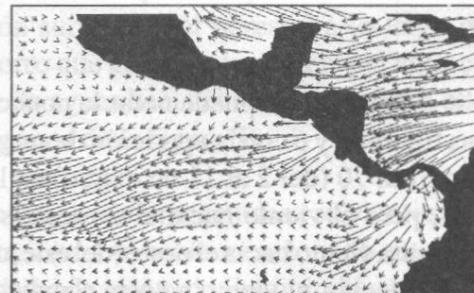
**Figura 10. Campos de viento para el día 25 de febrero de 2002 (día 56), obtenidos del QuikScat**



**Figura 11. Campos de viento para el día 26 de febrero de 2002 (día 57), obtenidos del QuikScat**



**Figura 12. Campos de viento para el día 2 de marzo de 2002 (día 61), obtenidos del QuikScat**



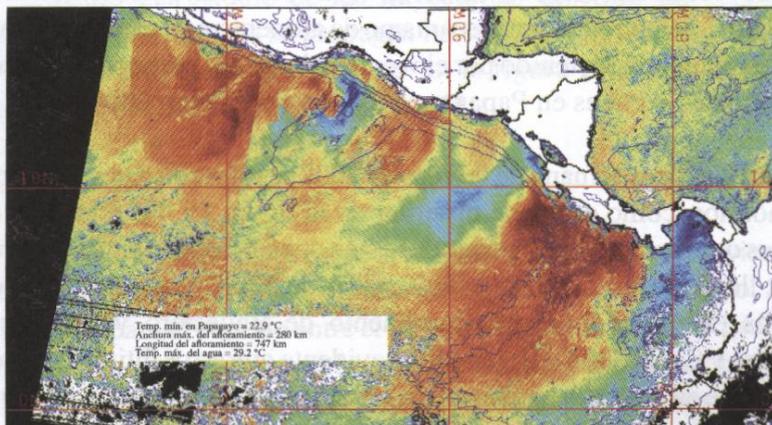
**Figura 13. Campos de viento para el día 3 de marzo de 2002 (día 62), obtenidos del QuikScat**

Es importante notar que algunas veces se observan vectores de velocidad del viento con dirección muy hacia el oeste (casi horizontales) en las imágenes del QuikScat en zonas muy al norte de Cuajiniquil, esto no es posible de observarlo en la gráfica de la dirección del viento de Cuajiniquil, porque es evidente que la estación se encuentra muy lejos para detectar dichos vientos (ver figura 13).

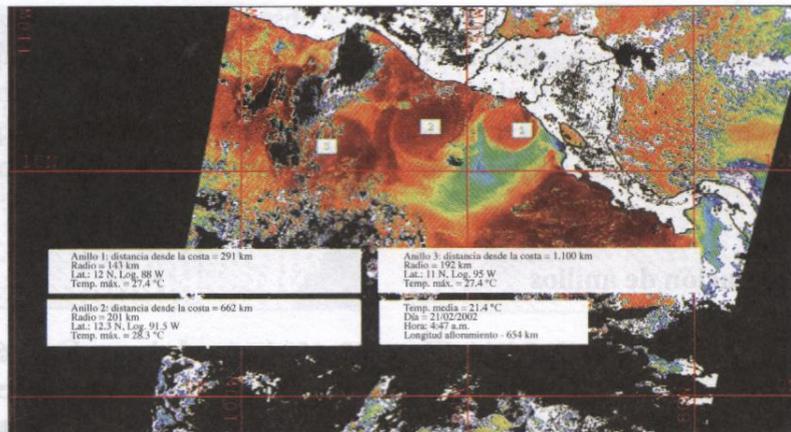
### 3. Generación de anillos

Grandes remolinos anticiclónicos (100-450 km) y de larga duración son propagados en dirección al oeste y al ecuador, los cuales son generados principalmente en los golfos de Tehuantepec y Papagayo (Ballestero y Coen, 2004).

Hansen y Maul (1991) proponen que la conservación de vorticidad potencial en la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR, el flujo es en dirección norte) es el mecanismo de la generación de anillos en la región de Papagayo. El rápido movimiento de esta corriente hacia el norte incrementa su vorticidad planetaria, por lo tanto, se desarrolla vorticidad relativa negativa. Las observaciones realizadas por Ballestero y Coen para el estudio llevado a cabo en 1996



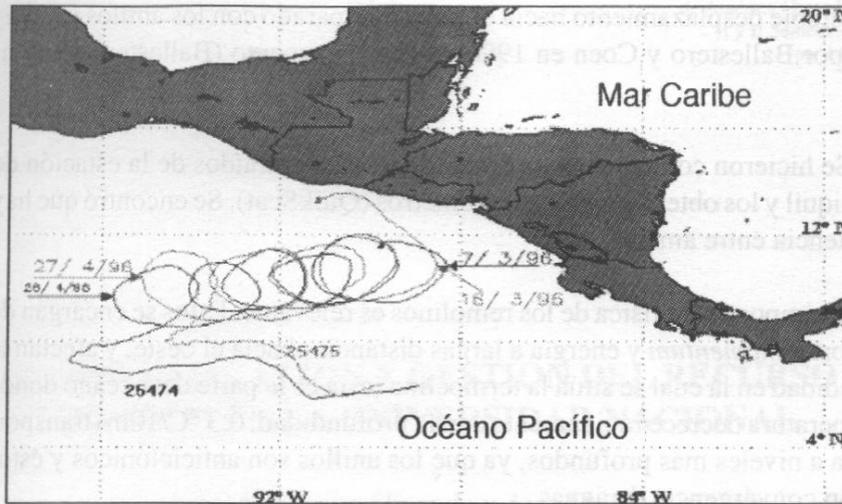
**Figura 14. Media aritmética de SST entre el 1 y el 5 de marzo (60 al 65). En curvas azules se muestran las regiones con profundidades de 2.000 m en el mar. La imagen revela un afloramiento más distribuido y ensanchado para esa época**



**Figura 15. Remolinos generados en Papagayo el día 21 de febrero de 2002. El anillo 1 mostrado en la imagen tiene una formación más reciente y, por lo tanto, su forma es más regular que la de los anillos 2 y 3, los cuales se han propagado varios días hacia el oeste**

son consistentes con este razonamiento, pero la escala de los remolinos de Papagayo es muy grande, así como se pueden ver los enormes vórtices en la imagen de la figura 15. La conservación de la vorticidad potencial en la CCCR debe ser considerada como un mecanismo de alimentación para el flujo horario, pero un forzamiento sostenido por el viento debería ser requerido para desarrollar los grandes vórtices en Papagayo (Ballester y Coen, 2004).

Para la última semana de febrero de 2002 se lograron detectar pronunciados remolinos, como se puede observar en la figura 15. Lo relevante en esta imagen es que los remolinos generados están considerablemente corridos hacia el norte, llegando sus centros hasta latitudes de 12,3° N. Al comparar con los remolinos encontrados en el experimento de Ballester y Coen en 1996 (Ballester y Coen, 2004) (figura 16) es evidente que estos últimos se propagan hacia el oeste en latitudes mucho más bajas. Para determinar la razón por la cual ocurre esta situación, sería necesario hacer un seguimiento de varios años y tratar de establecer un patrón en el desplazamiento de los remolinos. Estos anillos son anticiclónicos y, por lo tanto, se da convergencia de aguas hacia el centro de éstos, es decir, un efecto contrario al de surgencia y por ello la temperatura dentro de éstos es más alta que la del entorno, por esta razón, también se les llama remolinos calientes y lucen más oscuros en la figura 15.



**Figura 16. Trayectorias seguidas por dos boyas lanzadas en fechas distintas, 07/03/96 y 18/03/96, para el experimento llevado a cabo por Ballestero y Coen en 1996 (Ballestero y Coen, 2004)**

Por medio del estudio de las trayectorias descritas por boyas se ha confirmado que los vórtices se propagan hacia el oeste grandes distancias sin perder su identidad, como se puede ver en la figura 16 para el experimento realizado en 1996 (Ballestero y Coen, 2004).

#### 4. Conclusiones

Existe una relación clara entre la magnitud y dirección del viento en la estación de Cuajiniquil con la aparición de surgencias en Papagayo. Se logró determinar que para el período entre el 23 y el 28 de febrero de 2002 se produce un afloramiento en forma de una franja angosta que alcanza temperaturas de hasta 20 °C, lo cual corresponde al viento que mantiene grandes distancias la dirección hacia el suroeste después de pasar por la obstrucción montañosa, mientras que para vientos de diferentes direcciones el afloramiento es más ensanchado y de mayor temperatura.

Se ha encontrado que los anillos generados en Papagayo para finales de febrero de 2002 se formaron en latitudes de hasta 12,3° N, observándose un

considerable desplazamiento hacia el norte comparado con los anillos investigados por Ballesteró y Coen en 1996 en su experimento (Ballesteró y Coen, 2004).

Se hicieron comparaciones entre los vientos extraídos de la estación de Cuajiniquil y los obtenidos de escaterómetros (QuikScat). Se encontró que hay consistencia entre ambos.

La importancia física de los remolinos es relevante. Éstos se encargan de transportar *momentum* y energía a largas distancias hacia el oeste, y afectan la profundidad en la cual se sitúa la termoclina (ésta es la parte del océano donde la temperatura decrece rápidamente con la profundidad, 0,3 °C/10m) transportándola a niveles más profundos, ya que los anillos son anticiclónicos y éstos generan convergencia de aguas.

Desde el punto de vista biológico la surgencia juega un papel fundamental, pues transporta nutrientes fundamentales, como nitratos y fosfatos, desde las subcapas del océano a la superficie, estos nutrientes son necesarios para la formación de fitoplancton (plantas microscópicas). El fitoplancton convierte materia inorgánica (fosfatos y nitratos) en materia orgánica (lípidos, proteínas) por el proceso de fotosíntesis, iniciando la cadena alimenticia del océano. Por lo tanto, esta investigación puede generar información de gran utilidad para el campo de la biología marina y el sector pesquero.

## 5. Agradecimientos

Se agradece al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) por suministrar los datos de viento de su estación ubicada en la región de Cuajiniquil.

## 6. Bibliografía

BALLESTERO, D. & J. E. COEN. 2004. "Generation and Propagation of anticyclonic rings in the Gulf of Papagayo". *INT. J. Remote Sensing*, 25, N° 11, 2217-2224.

HANSEN, D. V. & G. A. MAUL. 1991. "Anticyclonic current rings in the easter tropical Pacific Ocean". *Journal of Geophysical Research*, 96, 6965-6979.