

Lecciones Prácticas Usando Datos de Imágenes Costeras y Marinas

**ESTRUCTURAS TERMICAS ASOCIADAS A LA CIRCULACION
GENERAL SUPERFICIAL OBSERVADAS ENTRE
CABO VERDE Y FREETOWN (AFRICA NOROCCIDENTAL)**

por

A. González-Muñoz, J. Pérez-Marrero, O. Llinás

Finalidad de la Lección

Utilizar una serie temporal de imágenes NOAA para observar las estructuras térmicas existentes y establecer, a partir de ellas, una aproximación a las variaciones estacionales de la circulación superficial. Determinando, además, las alteraciones diarias de tales estructuras en relación con un fenómeno de relajación del afloramiento en Cabo Verde.

Objetivos

Al completar esta unidad, los estudiantes serán capaces de:

- 1.- Realzar las estructuras térmicas del agua superficial del mar en la zona entre Cabo Verde y Freetown.
- 2.- Utilizar un proceso aritmético de realce del contraste de la imagen.
- 3.- Determinar la evolución de un episodio de afloramiento sobre la plataforma continental.
- 4.- Calcular anomalías de la temperatura superficial del mar, como índice del afloramiento.
- 5.- Utilizar las imágenes de temperatura para el estudio de las variaciones estacionales en la distribución de las isotermas.

Información Previa

El Programa de Procesado de Imágenes BILKO.

Aunque no es necesario un conocimiento exhaustivo del programa BILKO, se asume cierta familiaridad con el mismo, sobre todo en lo referente al significado matemático-físico de la función **Histogram**. No obstante, la posibilidad de ayuda, a la que se accede a través de la tecla **<H>**, explica el modo de operación de la función.

Las Imágenes Usadas en la Lección

Para el desarrollo de la lección, se facilitan 6 imágenes de temperatura superficial del mar obtenidas por el sensor AVHRR a bordo del satélite NOAA-9, correspondientes a distintas fechas del año 1987; registradas en formato GAC, su resolución espacial en el nadir es de 4.4 x 4.4 Km/píxel. Las imágenes fueron corregidas geoméricamente para poder superponerse. De igual manera, fueron procesadas para obtener la temperatura superficial del agua de mar, según el procedimiento MCSST (Multi Channel Sea Surface Temperature) descrito por Brown y Evans (1982). Según este método, se puede obtener el valor de la temperatura (°C) sin más que dividir por 8 el valor digital de cada píxel.

Zona de Estudio: El área de interés está limitada por la costa occidental africana entre Cabo Verde (Senegal) y Freetown (Sierra Leona), quedando definida de la siguiente forma: (ver fig.1)

Esquina superior izquierda: 15.11°N, 22.12°W

Esquina inferior derecha: 4.87°N, 11.88°W

Nombre del archivo de imagen	Origen de la escena			Tipos de datos		
	Satélite	Fecha	Hora	Sensor	Canal	Producto
C11C	NOAA-9	11/01	15.00	AVHRR	4 y 5	SST
C56	NOAA-9	25/02	15.00	AVHRR	4 y 5	SST
C57	NOAA-9	26/02	15.00	AVHRR	4 y 5	SST
C112	NOAA-9	22/04	15.00	AVHRR	4 y 5	SST
C137	NOAA-9	17/05	16.00	AVHRR	4 y 5	SST
C138	NOAA-9	18/05	16.00	AVHRR	4 y 5	SST
ISOBATA	-----	-----	-----	-----	-----	-----

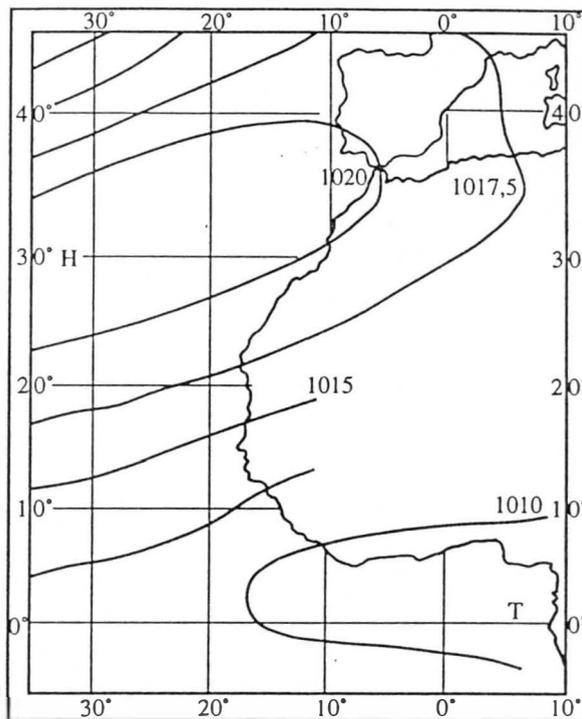
Tabla 1.- Datos de las Imágenes

Información Oceanográfica Básica (según los autores referenciados del 3-8).

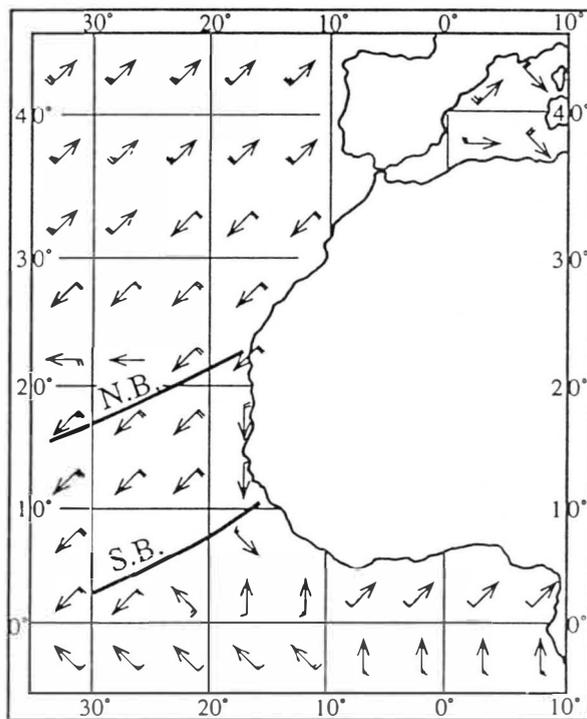
La costa del Noroeste Africano, comprendida entre Safi (32°N) y Freetown (8°N), se caracteriza por la presencia de afloramientos costeros estacionales forzados por los vientos alisios. Los alisios del Noreste soplan paralelos a costa en dirección hacia el ecuador, dejando el continente africano a su izquierda. Las corrientes superficiales producidas por el viento sufren el efecto de la aceleración de Coriolis, 90° a la derecha de la dirección del viento en el Hemisferio Norte. Se produce, pues, un transporte de masa hacia afuera que dará lugar a un déficit de agua superficial en la costa. Esta masa de agua que no puede ser reemplazada por agua superficial, se verá compensada por agua procedente de la subsuperficie, más fría y rica en nutrientes.

Los alisios sufren una estacionalidad a lo largo de la costa Noroccidental de Africa debido al desplazamiento meridional del anticiclón de las Azores (Fig. 1 y 2). Los afloramientos costeros ligados a este viento seguirán un ciclo estacional paralelo. Al sur de los 20°N, el afloramiento aparece en febrero sobre 10°N, y a medida que ascendemos en latitud la frecuencia de aparición crece a medida que transcurre el año. Por encima de los 15°N la duración es de 6 meses, entre Noviembre y Mayo.

La corriente superficial asociada al afloramiento y que fluye sobre la plataforma continental hacia el ecuador (Fig. 3 y 4), sigue el mismo patrón de aparición. Las isotermas de baja temperatura paralelas a la costa son indicativas del afloramiento, y su extensión hacia el sur dependerá de las corrientes superficiales asociadas; así como de las contracorrientes opuestas. Las isotermas perpendiculares a la costa señalan el gradiente térmico latitudinal correspondiente a la zona y la ausencia del fenómeno de afloramiento en el área.



La región cubierta por las imágenes corresponde a aquella en la que, durante el invierno, el cinturón de los alisios alcanza su posición más sureña, llegando a los 10°N, mientras que el límite norte se sitúa sobre los 20°N. Es en esta época (Febrero) cuando se produce el afloramiento máximo. A partir de entonces, y a medida que avanza el año, los vientos se van debilitando y con ello va disminuyendo la frecuencia de aparición de fenómenos de afloramiento, que llegan a desaparecer por completo durante el verano.



Esquema de la Lección

Sección Preliminar

1.- Para poder cargar las imágenes usando el comando **Load Image**, debe tenerse en cuenta que las imágenes originales tenían un tamaño de 512 x 512 píxeles, por lo que se procedió a una reducción por entresacado,

Fig. 1a y b Presiones atmosféricas medias y vientos en invierno según Mittelstaedt (1983).

aplicando los siguientes factores de corrección:

Line Sample = 2
Pixel Sample = 2

Con este proceso de remuestreo, ¿a cuánto se ve reducida la resolución espacial?.

2.- Cargar y visualizar todas las imágenes siguiendo la secuencia indicada en la Tabla 1, y usando para ello los comandos **Load Image** y **Display Image**. Cargar la paleta de colores **CVERDE.PAL** por medio de la función **Load Palette**, para resaltar las estructuras térmicas de las imágenes.

3.- Seleccionar para cada una de las imágenes la función **Histogram** y observar el intervalo de valores digitales de interés. En esta zona son frecuentes las formaciones nubosas con temperaturas inferiores a los 16°C: Diferenciarlas, usando para ello la función **Cursor**, de los valores correspondientes a la zona terrestre. Seleccionar el intervalo correspondiente al mar en cada una de las imágenes, tomando nota de los valores digitales más pequeños y más grandes. Con ello conseguimos un mismo rango de valores para las temperaturas superficiales de todas las imágenes, haciéndolas comparables entre sí. Una vez determinados los márgenes de interés, utilizar la función **Linear stretch**, dentro del menú de **Modify LUT**, para cambiar la tabla de visualización de las imágenes; despreciar los valores correspondientes

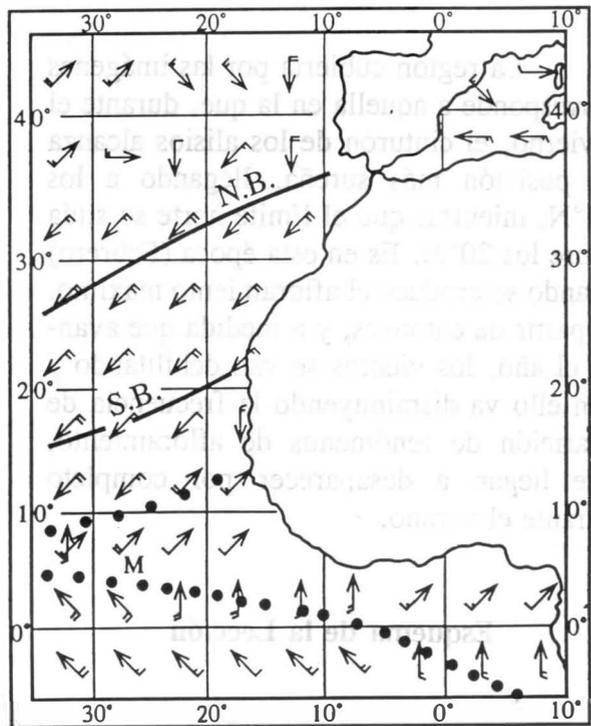
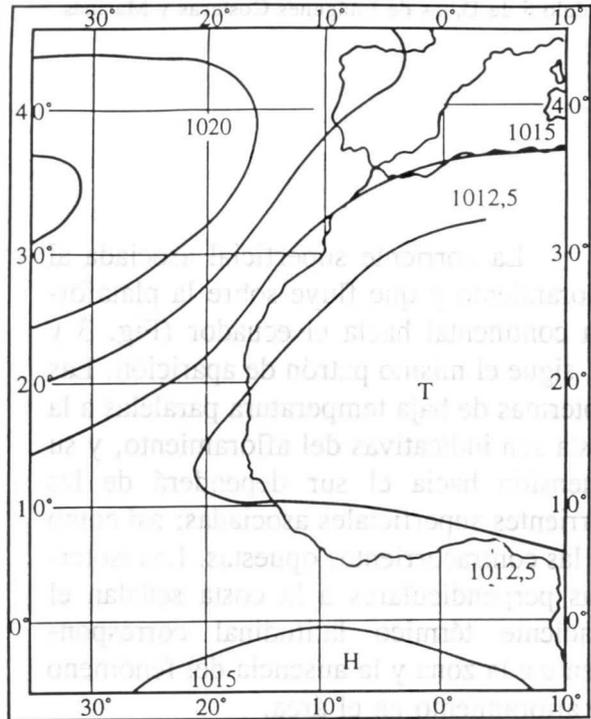


Fig. 2 a y b Presiones atmosféricas medias y vientos en verano según Mittelstaedt (1983).

a la tierra y a las nubes. ¿Qué efecto ha tenido esta operación sobre las imágenes?. Repetir la operación para las 6 imágenes y grabar la tabla de visualización (LUT) mediante la función **Save LUT**. Comparar la nueva tabla de visualización creada con la proporcionada por la lección, **CDEFAULT.STR**.

Observar las diferencias entre las imágenes anotando sus características más sobresalientes. ¿Cuál es el intervalo de temperaturas del mar en las 6 imágenes?. Utilizar el comando **Cursor** para localizar los diferentes valores digitales. Recordar que el valor digital $f(x,y)$ dividido por 8, corresponde con la temperatura en grados centígrados. ¿Qué efecto tiene la nueva tabla de visualización sobre la distribución de colores? ¿Son similares las estructuras térmicas del agua superficial del mar en todas las imágenes? ¿Cuales son las imágenes cuya distribución espacial difiere en mayor grado y a qué se puede atribuir este hecho?.

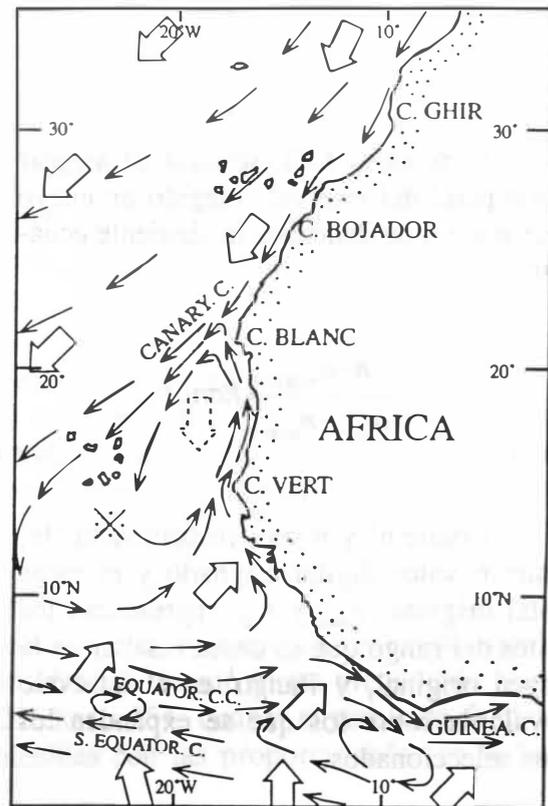


Fig. 3 Circulación superficial idealizada en verano según Mittelstaedt (1983).

4.- **Realce lineal del contraste (LCE):** El objeto de este proceso es expandir los valores que interesan de la imagen a un mayor intervalo de valores digitales para aprovechar mejor las posibilidades del dispositivo de salida (pantalla del ordenador) (JENSEN, 1986).

Previamente al verdadero proceso LCE, interesa que sólo los valores correspondientes a la superficie del océano entren en los cálculos ulteriores. Podemos pues, asignar un valor nulo a los píxeles de tierra y nubes utilizando **Radiometric Masking**, de **Multi Image**.

Una vez determinados los intervalos de valores digitales correspondientes a tierra y nubes, enmascarar cada imagen consigo misma haciendo **Name of the file defining the mask** igual a **Name of the file to be masked**. Utilizar la función **Save Image** para obtener así una imagen correspondiente al intervalo de valores que representa los píxeles de mar, denominándola **C*Q**.

El proceso LCE se basa en asignar a cada píxel del intervalo elegido un nuevo valor que viene dado por la siguiente ecuación:

$$n' = \frac{n - n_{\min}}{n_{\max} - n_{\min}} * \text{Rango}$$

Donde n' y n son, respectivamente, el nuevo valor digital asignado y el valor digital original. n_{max} y n_{min} representan los límites del rango que se desea resaltar en la imagen original, y Rango¹ es el intervalo de valores sobre los que se expanden los datos seleccionados.

Este es un proceso que altera los valores digitales de los datos, por lo que ha de tenerse siempre en cuenta cuales son las alteraciones que los datos originales sufren a través del proceso LCE.

Dado que la función **Image Algebra** de la opción **Multi-Image** no permite ejecutar la fórmula de una sola vez, realizar la primera parte (n-n_{min}) usando la función **Add Constant** de **Miscellaneous**, introduciendo el mínimo valor del rango, cambiado de signo, como constante. Usar **Save Image** para guardar este primer paso, denominándolas **C*R**. Determinar el valor de:

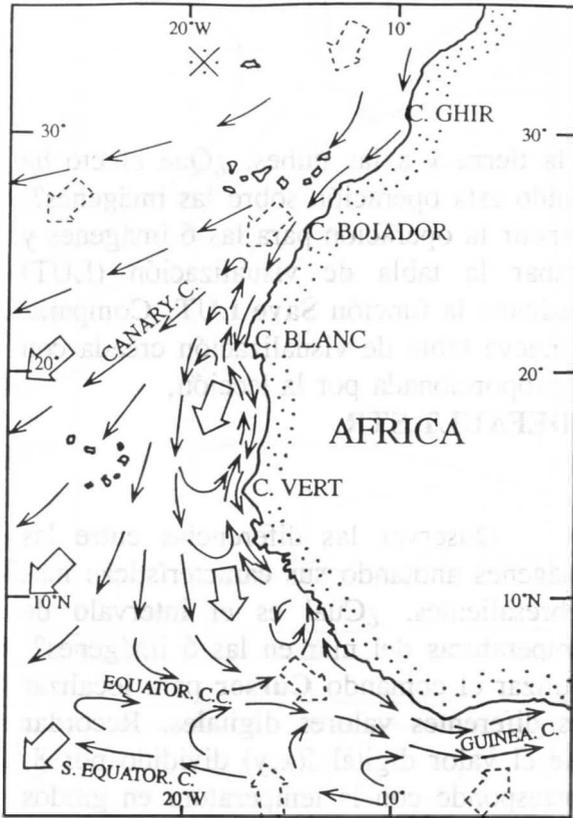


Fig. 4 Circulación superficial idealizada en invierno según Mittelstaedt (1983).

¹ Se ha estimado el rango de temperaturas superficiales del mar en el area de estudio de 13°C, por lo que se elige el Rango = 247 como máximo múltiplo de 13 en el intervalo 0-255, de esta manera el numero de valores digitales que corresponden a 1°C es un entero, en este caso 19 unidades digitales = 1°C (247/13).

$$a = \frac{\text{rango}}{n_{\max} - n_{\min}}$$

Utilizar **Image Algebra** de **Multi Image** dando el mismo nombre a la imagen **A** que a la **B**, e introducir el valor calculado para a y el valor 0 para b y c . Grabar la imagen ya procesada como **C*T** y repetir el proceso para todas las imágenes. Usar la función **Transect** sobre la imagen procesada y sobre la imagen original. Comparar los resultados. ¿Qué diferencias se observan?

Para superponer la isobata sobre cualquiera de las imágenes emplear **Radiometric Masking** de **Multi Image**, dando el nombre **ISOBATA** cuando le sea preguntado **Name of file defining the mask**, enmascarando desde 255 hasta 254. Grabar el resultado final con el nombre **C*TB2** y contrastar las imágenes obtenidas con las proporcionadas en la lección **C*TB**.

Estudio de un Episodio de Afloramiento

5.- Utilizar la función **Transect** sobre las imágenes **C56TB2** y **C57TB2**. Describir la evolución de las temperaturas que se refleja en las imágenes de Febrero. Observar si las restantes imágenes presentan la misma forma de "estela" en el agua más fría, justo al sur de Cabo Verde, y cuál sería la razón para ello. ¿Qué indica la orientación paralela a la costa de las isothermas, y la dispersión de las aguas frías hacia el sur?.

6.- Las anomalías² de la temperatura superficial del agua de mar, proporcionan un índice del grado del afloramiento cuando los valores son negativos. Calcular la anomalía a lo largo de la plataforma continental en Cabo Verde en la imagen **C56** y luego calcularla en la misma zona en la imagen **C57**. Utilizar el cursor para describir el mismo transecto a lo largo de la plataforma. Hacer uso del valor digital en cada punto para calcular las diferencias a lo largo

² Las anomalías de la temperatura superficial del mar, se establecen entre las aguas costeras y las aguas fuera de costa en mar abierto. Debido a la limitación espacial de las imágenes, la anomalías aquí calculadas se establecen entre las aguas más internas en la plataforma y las aguas cercanas fuera de la plataforma continental, por lo que deben considerarse como anomalías "relativas".

del transecto definido. ¿Qué interpretación se puede dar a las anomalías detectadas?. Calcular en cualquier otra imagen el valor de la anomalía en la misma zona. ¿Qué diferencia fundamental se encuentra?.

Estudio Estacional

7.- Con el fin de establecer la evolución espacial de las isotermas a lo largo del año, usar la función **Transect** de forma paralela a la línea de costa, dirección Noroeste, situando el cursor a lo largo de una misma línea en todas las imágenes. Las estructuras que se observan, ¿son similares? ¿Estas estructuras pueden reflejar algún tipo de movimiento?.

Lecturas complementarias sugeridas

- 1.- Brown, O. B., Evans, R., 1982. Visible and infrared satellite remote sensing - A status report. *Nav. Rev.*, 31: 7-25.
- 2.- Jensen, J. R., 1986. *Introductory digital image processing*. Prentice Hall. pp 125-129.
- 3.- Mittelstaedt, E., 1983. The upwelling área off Northwest Africa - A description of phenomena related to coastal upwelling. *Progr. Oceanogr.*, 12: 307-331.
- 4.- Mittelstaedt, E., 1991. The ocean boundary along the Northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface. *Prog. Oceanogr.*, 26: 307-335.
- 5.- Speth, P., Detlefsen, H., 1982. Meteorological influences on upwelling off Northwest Africa. *Rapp. P-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, 180: 29-34.
- 6.- Svejkský, J., 1988. Sea surface flow estimation from Advanced Very High Resolution Radiometer and Coastal Zone Color Scanner satellite imagery: A verification study. *J. Geophys. Res.*, 93(C6): 6735-6743.

- 7.- Van Camp, L., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E., Schlittenhardt, P., 1991. Upwelling and boundary circulation off Northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Prog. Oceanog.*, 26: 357-402.
- 8.- Wooster, W. S., Bakun, A., McLain, D. R., 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 34(2): 131-141.

Agradecimientos:

Las imágenes utilizadas en esta lección, fueron recibidas y procesadas por D. Pablo Clemente-Colón de la división de Oceanografía del ORA/NESDIS/NOAA, en el marco del proyecto CIFORS entre ORA/NESDIS/NOAA y el Instituto Canario de Ciencias Marinas (anteriormente Centro de Tecnología Pesquera) del Cabildo Insular de Gran Canaria, coordinado por el Dr. J.B. Zaitzeff.



Esta lección ha sido preparada por A. González-Muñoz, J. Pérez-Marrero y O. Llinás, Octubre 1992.

Comentarios y sugerencias relativos a esta lección, serán enviados a:

Adelina González-Muñoz

Javier Pérez-Marrero

Octavio Llinás

Instituto Canario de Ciencias Marinas Fax: 34-28/69-39-08

Cabildo de Gran Canaria Tfno: 34-28/69.39.00

Apdo. 56, 35200 Telde

Gran Canaria - ESPAÑA

Respuestas

La resolución espacial de la imagen queda reducida a un cuarto de la resolución original, con lo que cada píxel representa 8.8 X 8.8Km.

2.- El efecto de la función **Linear Stretch** es resaltar el rango de los valores digitales elegidos, que corresponden al mar. En el caso de las seis imágenes consideradas, se ha seleccionado el intervalo digital comprendido entre el 136 y el 240, que equivalen a unas temperaturas respectivas de 17°C y a 30°C. Quedando por lo tanto distribuidos 105 valores digitales entre los 16 niveles de color utilizados.

Utilizando la paleta **CVERDE.PAL** se perfilan de forma clara los gradientes de temperatura. El intervalo de temperaturas (entre los 17°C y 29/30°C), muestra sus puntos más cálidos en las aguas del trópico situadas al sur de las imágenes. De ellas, las que reflejan un mayor grado de divergencia son las correspondientes a Febrero (**C56**) y Mayo (**C138**). En la imagen **C56** se está produciendo un fenómeno de afloramiento al sur de Cabo Verde, lo que justifica la divergencia con la imagen de Mayo, en la que tal fenómeno no existe.

4.- Las imágenes **C56TB2** y **C57TB2** correspondientes a los días 25 y 26 de Febrero reflejan en sus estructuras térmicas un fenómeno de relajación de un episodio de afloramiento.

5.- La orientación paralela a costa de las isothermas son una clara evidencia de fenómenos de afloramiento, así como la dispersión de agua fría aflorada hacia el sur, transportada por la corriente que fluye sobre la plataforma continental.

6.- Las anomalías térmicas calculadas en las imágenes **C56** y **C57**, indican en función de su valor negativo, (-5.5 en (X,Y=124,26; X,Y=24,26) y -4, respectivamente, en el mismo punto), la existencia de un fenómeno de afloramiento costero. La anomalía calculada en la imagen **C138**, no demuestra ningún cambio brusco de temperatura desde la costa hacia mar abierto. La orientación perpendicular a la costa de las estructuras térmicas indica la ausencia de afloramiento.

7.- Las estructuras térmicas características en las 6 imágenes demuestran la similitud que existe entre ellas. La distribución espacial de las mismas define la existencia de una contracorriente costera que se dirige hacia el norte, la cual iría tomando fuerza desde comienzos de año, para alcanzar su valor cumbre hacia el verano.