

LAS CORRIENTES SUPERFICIALES EN LA CUENCA DE COLOMBIA OBSERVADAS CON BOYAS DE DERIVA

por

Carlos Alberto Andrade Amaya¹

Resumen

Andrade-Amaya, C.A.: Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **25**(96): 321-335, 2001, ISSN 0370-3908.

Se describe la circulación oceánica de la superficie de la cuenca de Colombia, en especial del Caribe suroccidental, mediante el seguimiento de las trayectorias de boyas de deriva lanzadas entre 1997 y 1999 y controladas por satélite mediante el sistema Argos. La corriente superficial mostró la presencia de dos giros ciclónicos, uno generalizado en el Caribe suroccidental conocido como el Giro Panamá-Colombia y otro geográficamente restringido al Golfo de Mosquitos. El brazo sur del Giro Panamá-Colombia, conocido como la Contracorriente del mismo nombre fue más intenso que cualquier otro rasgo de circulación del Caribe. La formación del brazo norte del Giro parece depender de la intensidad del viento, con un umbral de velocidad de los vientos Alisios del Norte de $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Cuando el viento estuvo por debajo del umbral, las boyas salieron de la Cuenca de Colombia al Mar Caimán por el Canal Chibcha, a veces con notables velocidades que en ocasiones alcanzaron los $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Palabras clave: Corrientes oceánicas, Mar Caribe, Cuenca de Colombia, Boyas de deriva Argos. Contracorriente Panamá-Colombia.

Abstract

The surface circulation of the Colombian Basin, specially the Southwestern Caribbean Sea is described using Argos system satellite track drifting buoys, launched between 1997 and 1999. Surface currents showed the presence of two gyres, one generalized gyre known as the Panama-Colombia Gyre and a smaller one localized in the Gulf of Mosquitos. The southern branch of the gyre known as the Panama-Colombia Countercurrent showed the greatest energy of the Caribbean. The formation of the northern branch of the Gyre seems to depend on a threshold of $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ of the Northern Trade Winds speed. When the wind speed was below the threshold, the drifters left the Colombian Basin to the Cayman Sea through Chibcha Channel with speeds that reached $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Key words: Oceanic currents, Caribbean Sea, Colombian Basin, Drifting buoys, Panama-Colombia countercurrent.

¹ Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena, Colombia.

1. Introducción

El mar Caribe es una mar semi-cerrado rodeado por las masas continentales de Sur y Centroamérica y separadas del Océano Atlántico por el Arco de las Islas Antillas. El mar Caribe tiene tres partes principales, la Cuenca de Venezuela en el Oriente, el Mar Caimán en la parte occidental y la Cuenca de Colombia en la parte central y suroccidental del Caribe, delimitada por las costas de Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua y el Este de Honduras (Figura 1). La variabilidad de la circulación en la Cuenca de Colombia es entendida en su generalidad, y a escala regional, pero poco se conoce en escalas estacionales, de media escala o interanuales. Importantes asuntos de carácter social asociados con los sistemas marinos costeros, pesquerías, transporte de petróleo y desarrollo industrial y sus correspondientes contaminantes de los países vecinos, necesitan un mejor entendimiento de los sistemas marinos en la región por parte de la comunidad científica (Mooers & Maul, 1998).

La meteorología del Caribe puede ser explicada en términos del viento y la precipitación y de su variabilidad espacial y temporal. En los trópicos, la temperatura ambiente no cambia significativamente a lo largo del año, como ocurre en las estaciones subtropicales, sin embargo, algunos rasgos de la presión atmosférica como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) -una cinta continua de baja presión alrededor del Ecuador terrestre-, ejerce un control importante sobre los regímenes de viento y precipitación.

El clima en la cuenca de Colombia es modulado por la posición geográfica de la ZCIT y por la llegada del Sistema del Monzón Americano (el movimiento zonal de la estación lluviosa a lo largo del año) en los trópicos. La estacionalidad de la posición de la ZCIT corresponde a la estación seca (de vientos) de diciembre-abril y estación lluviosa entre agosto y octubre (Pujos *et al.*, 1986; Etter *et al.* 1987). El resto del año es de transición entre estas dos estaciones (Figura 2).

Las corrientes oceánicas superficiales en la Cuenca de Colombia están dominadas por la Corriente del Caribe que fluye hacia el noroeste hacia el Mar Caimán (Figura 3). Pero el Caribe Suroccidental es una cuenca semicerrada y la circulación superficial allí es más compleja, aparentemente dominada por una circulación ciclónica -en el sentido contrario a las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte- (Mooers & Gao, 1996). Sin embargo, el flujo dentro del Caribe Suroccidental es desconocido, en particular la importancia e intensidad de la contracorriente costera de Panamá-Colombia no ha sido aun estimada así como tampoco su extensión hacia el Este.

Hasta 1997, las boyas de deriva localizadas desde satélites fueron utilizadas en números modestos en el Caribe Suroccidental (e.g. Molinari *et al.*, 1992). En tiempos recientes, el interés por conocer la circulación de esta zona ha ido aumentando y se han implementado otros experimentos como el Programa norteamericano de asociados para estudiar el océano (US National Ocean Partnership Program), en celebración del Año Mundial del Océano (YOTO, por sus siglas en inglés). Para ese experimento, utilizado en parte en este análisis tres grupos de ocho boyas cada uno se lanzaron al mar en enero, junio y diciembre de 1998, entre Cartagena y la isla de San Andrés, por parte de la Armada de Colombia (Leaman & Wilson, 1999).

Otro grupo de boyas utilizado en este análisis fue lanzado en la Boca de la Ciénaga Grande de Santa Marta, la laguna costera más grande del Caribe, como parte de un proyecto conjunto entre la Universidad de Miami y el Instituto de Investigaciones Marinas (INVEMAR), con el fin de entender la dispersión de larvas y huevos de peces y la interconexión con otros sitios de desove (Criales *et al.*, 1999).

2. Metodología

Los datos oceanográficos utilizados en el presente estudio fueron datos de posición tomados de boyas seguidas desde satélites en órbita. Los patrones de circulación en la superficie del mar fueron inferidos por el desplazamiento secuencial de las boyas llevadas por la corriente superficial cuya posición fue determinada utilizando el sistema Argos. Tres boyas superficiales B2560, B2561 y B2562 fueron lanzadas específicamente para este estudio, dos de ellas mas cerca de la costa colombiana en agosto y una en la parte occidental de la Cuenca de Colombia al Sur de la isla de San Andrés en noviembre de 1997 (Andrade, 2000).

Otras dos boyas de deriva M14532 y M14535 del programa del INVEMAR - Universidad de Miami, fueron lanzadas en julio y agosto de 1998 respectivamente en la Boca de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estos datos fueron complementados con la información de la Boya 13 del programa YOTO, tomados de la Internet en www.globe.gsfc.nasa.gov.

Los datos de posición en intervalos irregulares como se reciben del sistema Argos fueron interpolados a intervalos uniformes de seis horas utilizando el algoritmo 'Cubic Spline' y sus velocidades y energía cinética fueron estimadas en esos intervalos. El seguimiento del recorrido de las boyas fue utilizado para observar el comportamiento de la circulación superficial y relacio-

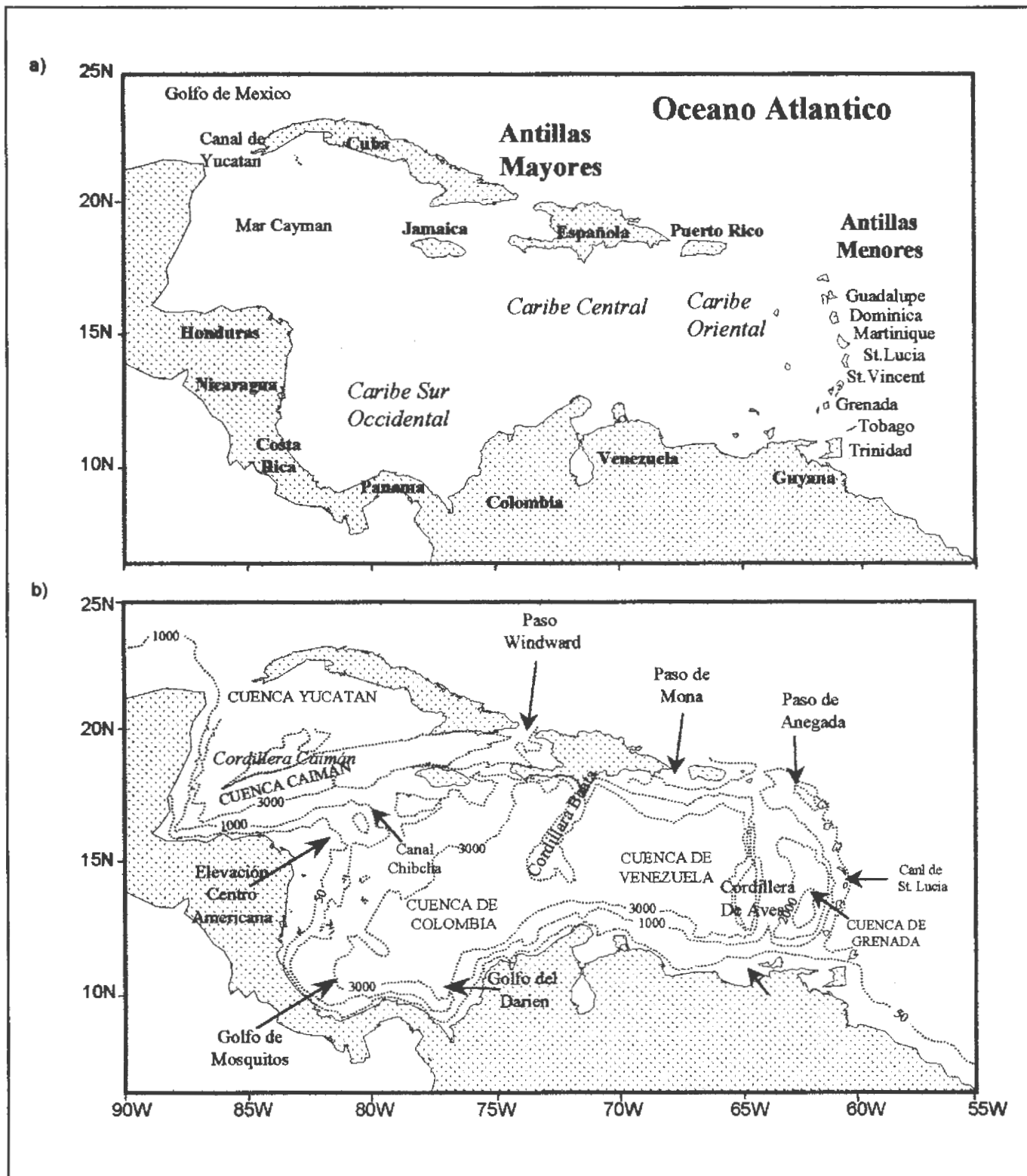


Figura 1. Area de estudio con las principales características geológicas y geográficas. En el panel b) se indican las isobatas, las áreas sombreadas son cordilleras con profundidades menores de 1000 m.

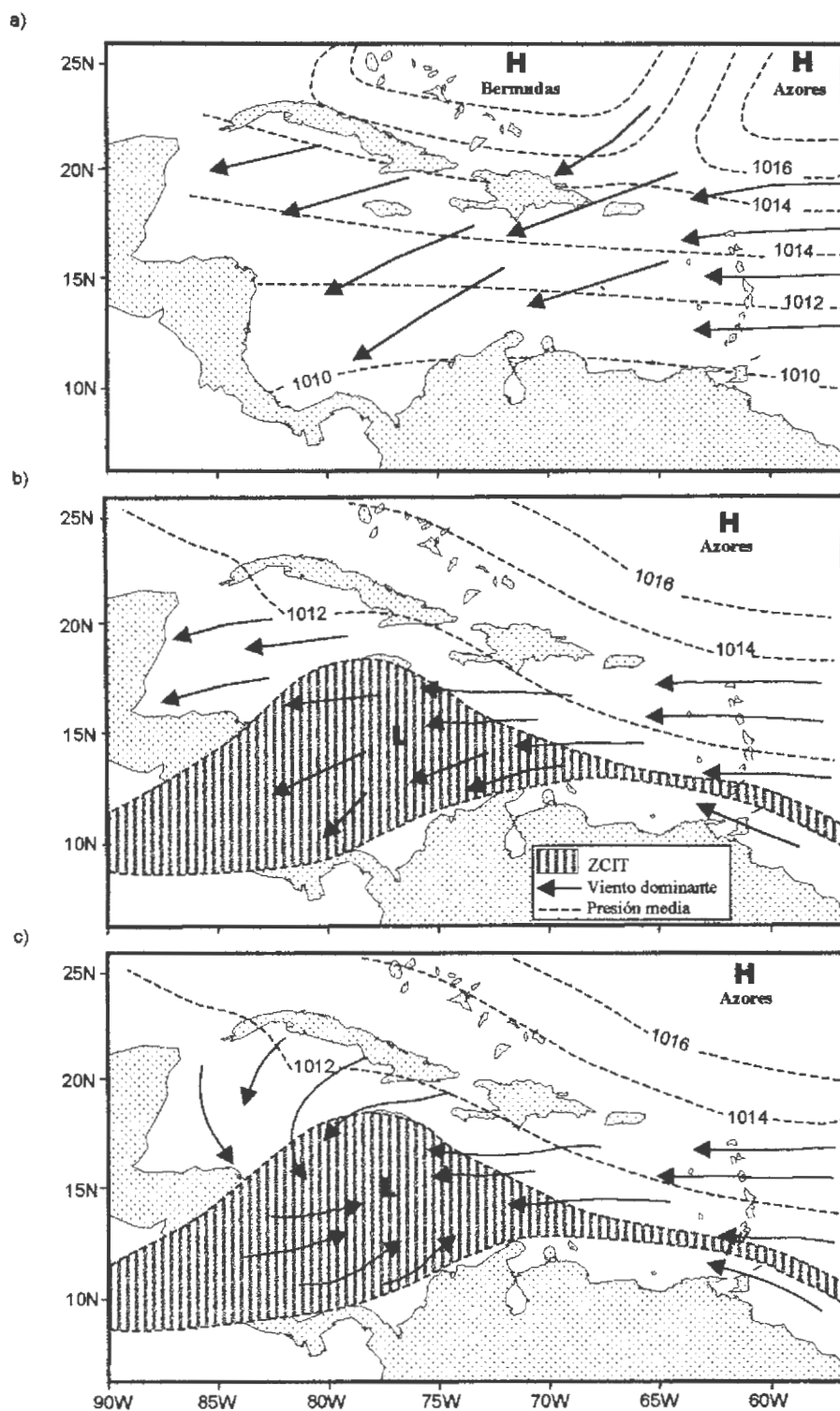


Figura 2 Posición de la Zona de convergencia Inter-tropical para a) estación de vientos b) época de transición y c) estación de lluvias (adaptada de Pujos et al., 1986).

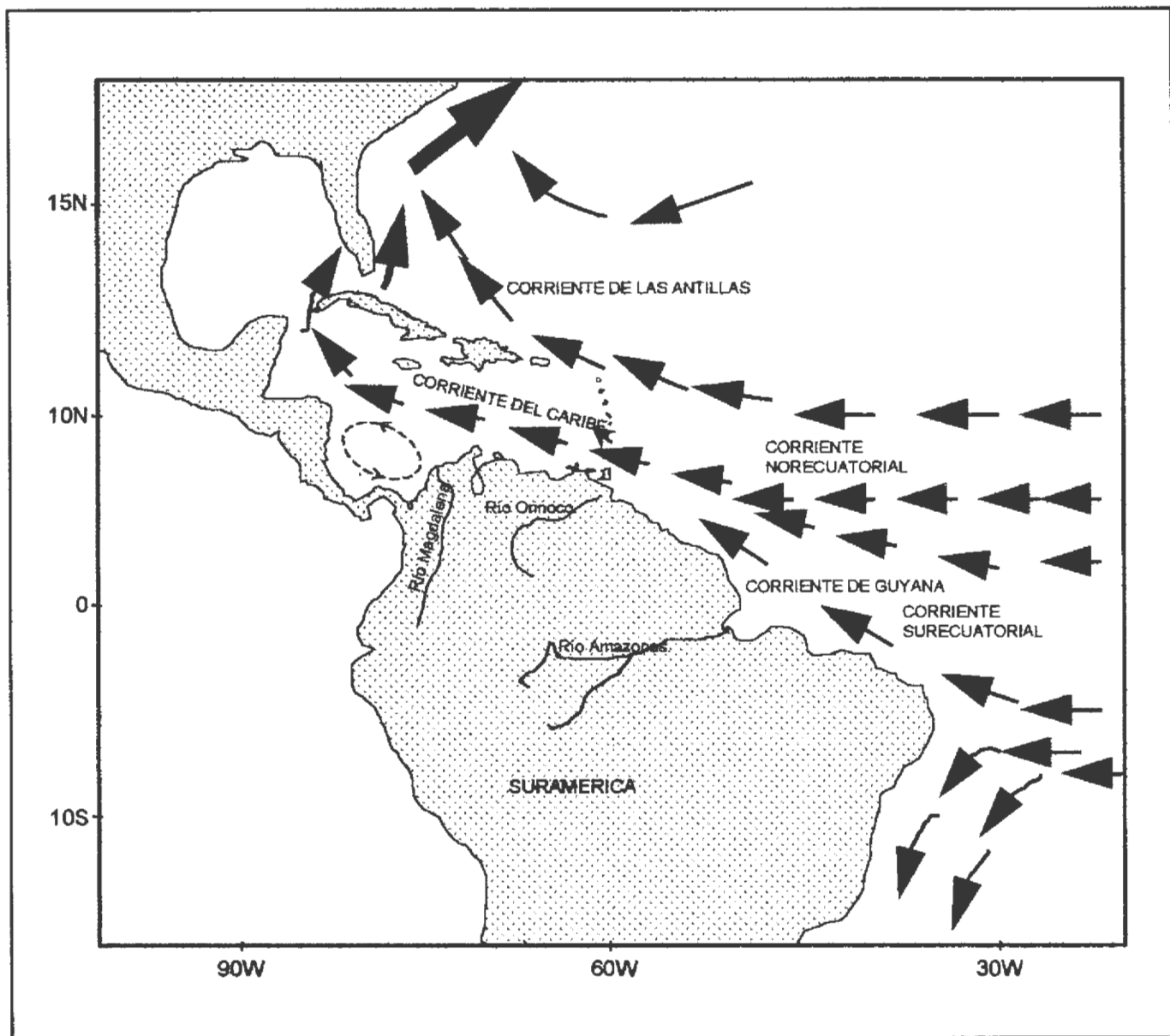


Figura 3. Corrientes superficiales en la región tropical del Atlántico Occidental.

narlo con los patrones de corrientes conocidos. La temperatura superficial fue registrada cuando estuvo disponible y correlacionada con los datos de posición para examinar si la temperatura superficial respondía a características dinámicas de la corriente o a la estacionalidad climática.

Se calcularon campos 'eurelianos' de la corriente superficial, interpolando todas las velocidades de las boyas

disponibles durante lapsos de tiempo en una grilla de un grado de longitud por un grado de latitud, para lo cual se utilizó el método de interpolación 'Inverso a la Distancia' a cada centro del cuadrado de la grilla más cercano. Dicha interpolación se hizo para cada una de las tres estaciones tropicales entre agosto de 1997 y junio de 1999, mediante un programa escrito en MATLAB. Los resultados fueron graficados usando el programa SURFER para WINDOWS.

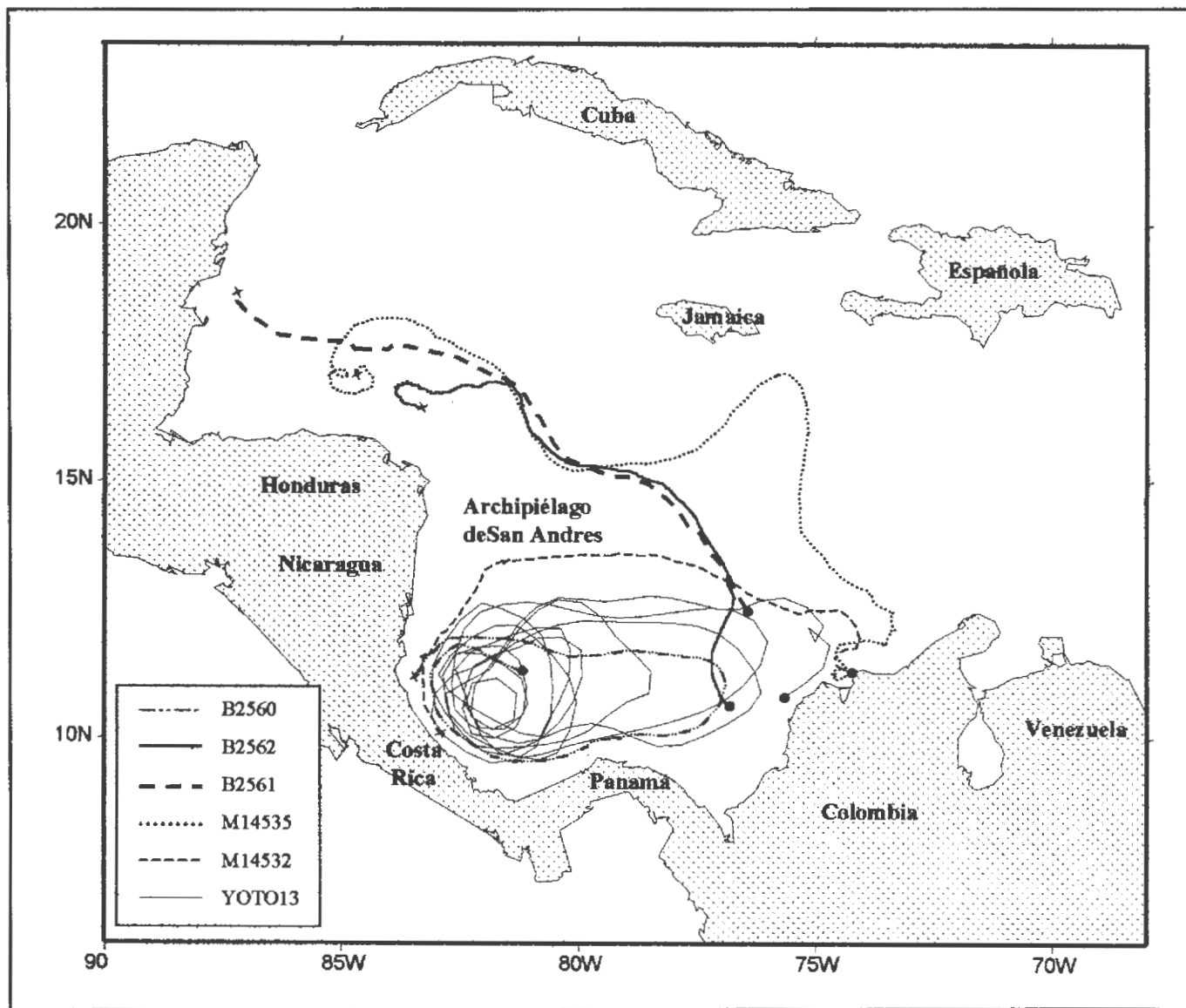


Figura 4. Trayectorias de las boyas utilizadas en el presente estudio. Tres fueron lanzadas en el Caribe Suroccidental en agosto de 1997, otras dos fueron lanzadas frente a Santa Marta (Colombia) en octubre de 1998 y un año de la deriva de la boya YOTO13 (junio 1998 a junio 1999) que fue lanzada frente a Cartagena para el experimento del Año de los Océanos.

3. Seguimiento de las boyas

Una vez lanzada en agosto de 1997, la boya B2562 derivó hacia el Noreste con velocidades de $0.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el primer día (Figura 4). La boya luego giró hacia el norte y al noroeste con velocidades de $0.45\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. En la medida que la boya se aproximó a la Elevación Centroamericana, giró al oeste y aceleró a velocidades de $1.55\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Posteriormente la boya derivó hacia afuera del Caribe a través del Canal Chibcha, justo al Sur del Banco Serranilla (Figura 4).

La Boya B2561 fue lanzada dos días después, 200 km mas al Norte. La trayectoria de esta boya fue muy similar a la de B2562, derivando casi sobre la misma ruta a $0.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, pasando también a través del Canal Chibcha con velocidad máxima de $2.15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 4).

La circulación superficial cambió drásticamente a la llegada de la estación de vientos como se pudo observar en la trayectoria de la boya B2560 que fue lanzada al sur del Archipiélago de San Andrés el 16 de noviembre de

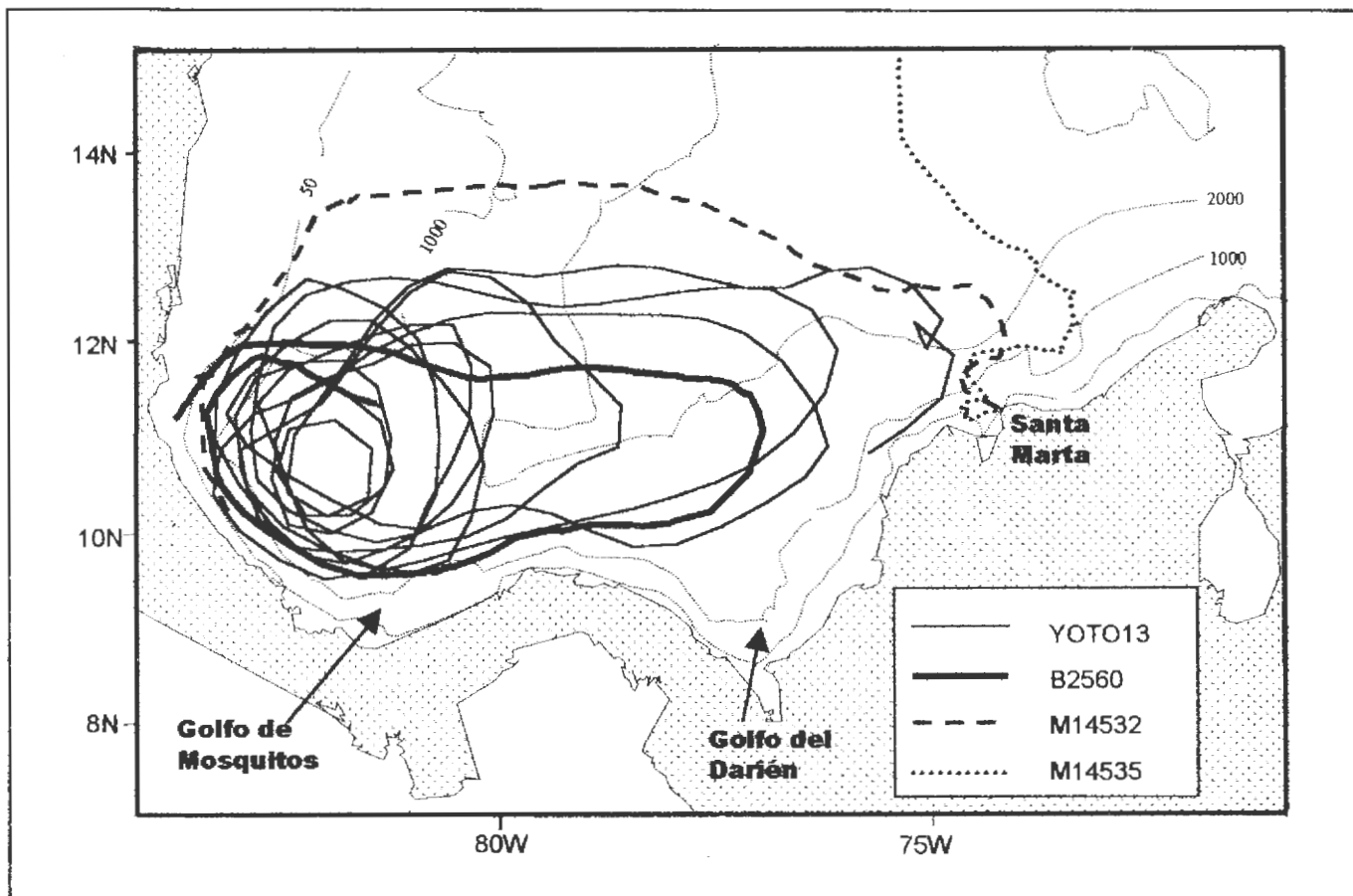


Figura 5. Las trayectorias de las boyas en el Caribe Suroccidental describieron dos patrones de circulación, un ciclón en el Golfo de Mosquitos y un ciclón más grande conocido como el Giro de Panamá-Colombia. En el extremo oriental del Giro Panamá-Colombia varía ampliamente como puede ser observado por el punto de giro hacia el Oeste.

1997. Esta derivó al Noroeste con una velocidad diaria promedio de $0.98\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura.5). Un día después giró hacia el Sur siguiendo una trayectoria paralela a la costa de Costa Rica con una velocidad media de $0.92\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el Golfo de Mosquitos, siguiendo la llamada Contracorriente de Panamá-Colombia mientras viajó a 60 km de la costa. En noviembre 26 la trayectoria se mantuvo hacia el Este atravesando el Golfo del Darién a $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

La llegada de la estación de vientos ($>15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) encontró a B2560 mucho antes de llegar a la costa colombiana. Ella giró abruptamente hacia el Oeste en noviembre 30 y derivó a lo largo de Lat. 11°N por dos días a $1.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ cerrando un giro ciclónico en 19 días. La boya giró hacia el Sur de nuevo en una trayectoria cercana a la costa de Nicaragua con una velocidad alrededor de $0.7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Finalmente, se encalló luego de tres semanas de operación en la costa de Costa Rica el 12 de diciembre de 1997.

La deriva de M14535 empezó seis meses más tarde en la costa de Santa Marta (Colombia) el 2 de julio de 1998 (Figura 5). Siguió una trayectoria Norte hacia fuera de la costa colombiana y dos días después giró al Oeste. Luego de dejar la influencia de la Contracorriente de Panamá-Colombia, aceleró a unos $0.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en un patrón similar al seguido por B2560 pero más lento hasta su llegada a la costa centroamericana donde encalló el 25 de octubre de 1998. Esta boya tomó un mes en recorrer el brazo norte del Giro Panamá-Colombia.

La boya M14532 fue lanzada el 10 de agosto de 1998 (ver Figura 4). Esta boya estuvo 10 días interactuando con el lado norte de la circulación ciclónica que ocurre en el Golfo de Salamanca (Andrade & Duarte, 1992) hasta que fue aparentemente "empujada" costa afuera por los chorros de viento katabático producidos en la Sierra Nevada (Blanco, 1988). La Contracorriente de Panamá-Colombia captu-

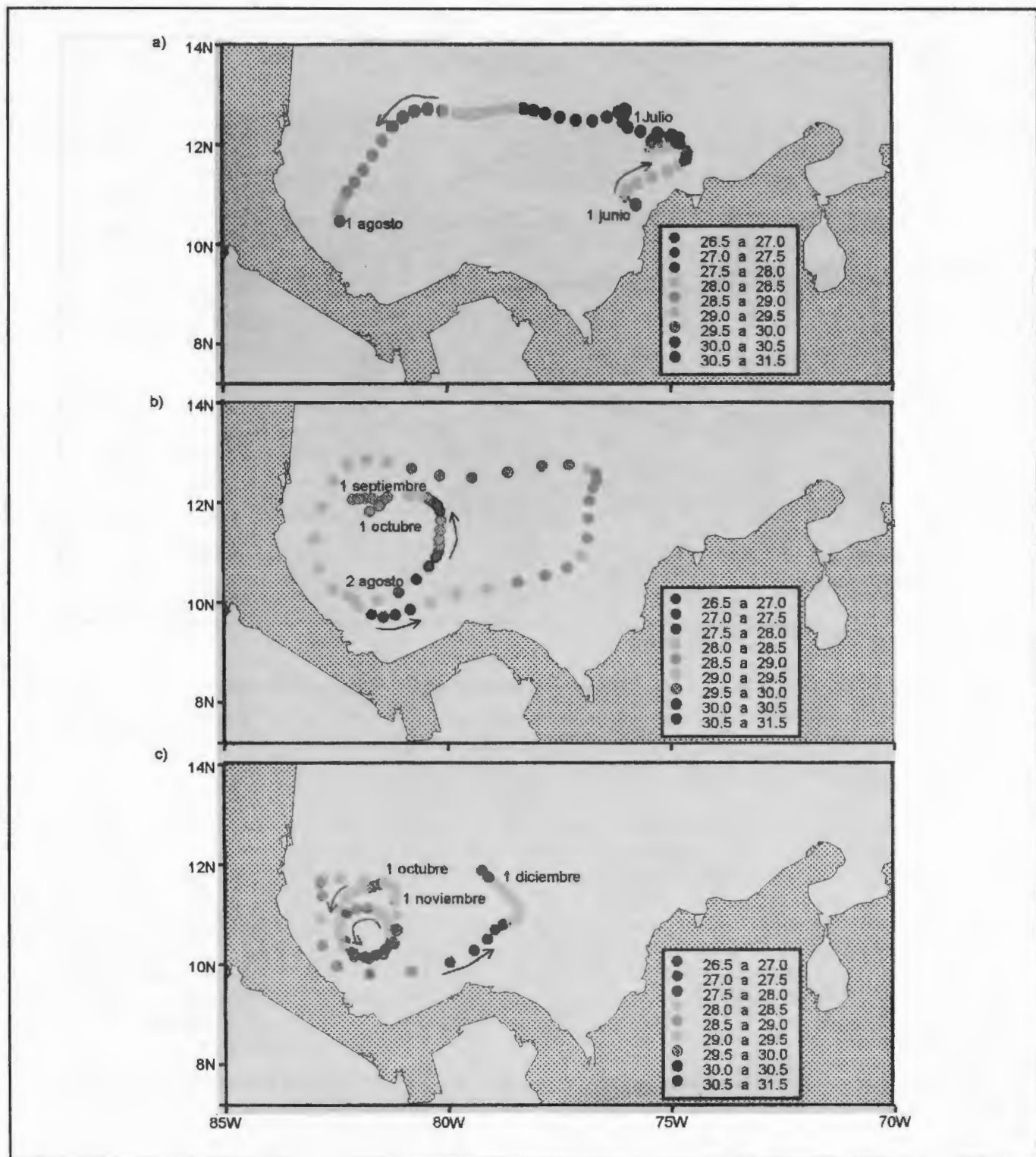


Figura 6. Trayectoria de la boya YOTO13 del programa del año de los océanos a) junio y julio, b) agosto-septiembre y c) octubre-noviembre de 1998. Los puntos son posiciones diarias y el color representa la temperatura superficial media del mar. La trayectoria muestra dos celdas ciclónicas en la región; un giro grande en todo el Caribe Suroccidental y otro más pequeño en el Golfo de Mosquitos.

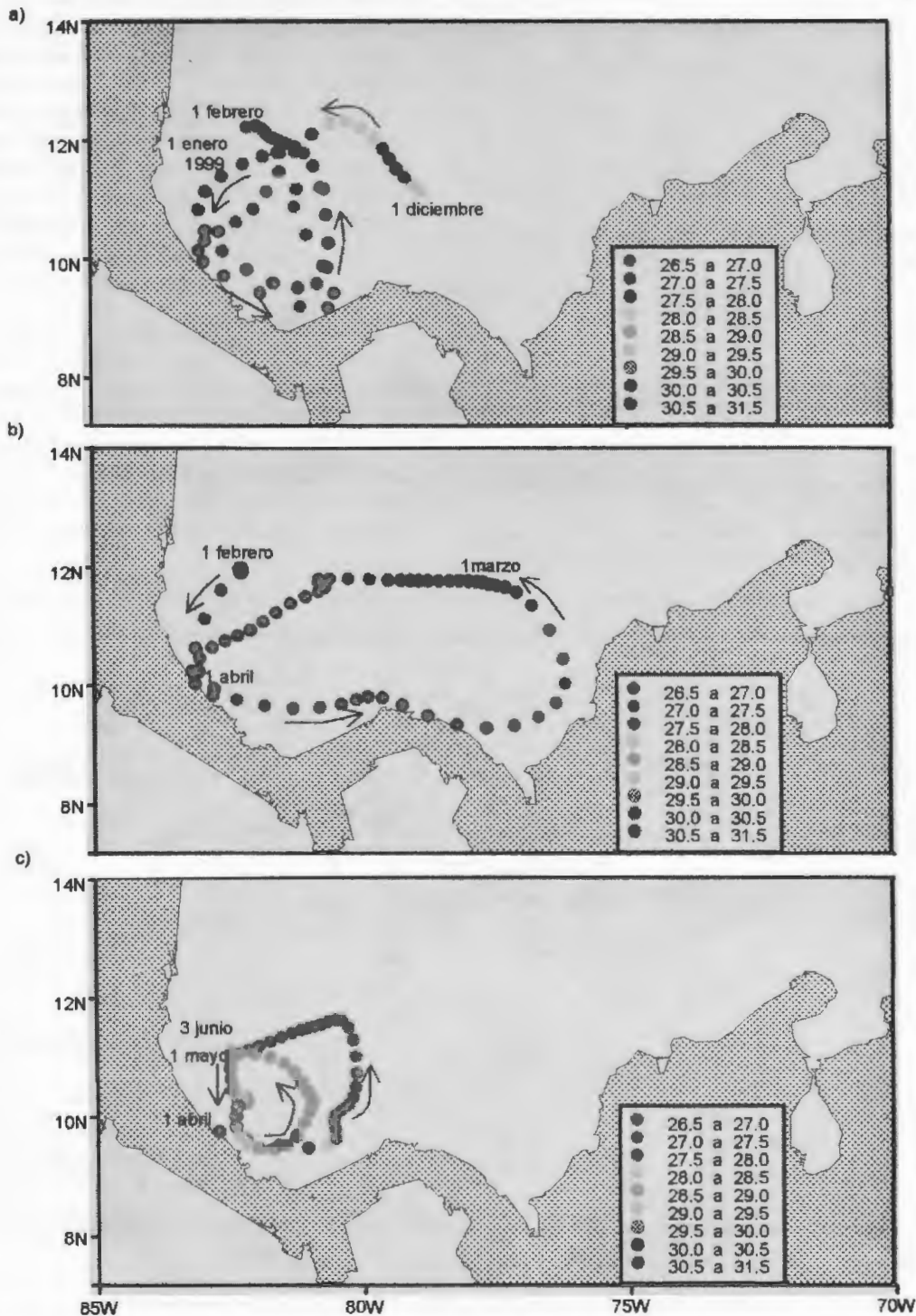


Figura 7. Trayectoria de la boya YOTO13 para a) diciembre 1998 – enero 1999, b) febrero-marzo y c) abril y mayo 1999. La circulación muestra los mismos rasgos que los meses previos pero toma distintos lapsos de tiempo para cubrir las mismas distancias. Esta boya muestra la persistencia de los dos ciclones a lo largo del año. Los cambios de temperatura parecen mas estacionales; sin embargo, la temperatura en el centro del ciclón en el Golfo de Mosquitos es siempre menor.

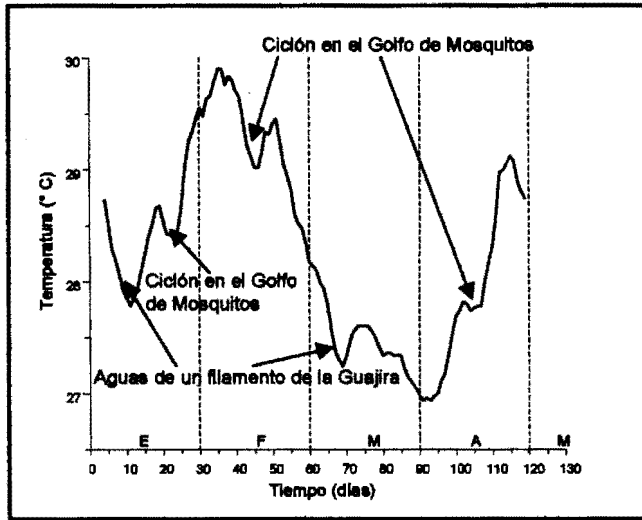


Figura 8. Temperatura superficial del mar de YOTO13 durante cuatro meses de viaje en el Caribe suroccidental. La variación estacional es interrumpida por decrecimientos de alrededor de 0.5°C cuando la boya estuvo cruzando el Golfo de Mosquitos.

ró su deriva hacia el Este a $0.35\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ cerca de la costa colombiana por una semana más. La boya luego giró hacia el Noroeste con una velocidad de alrededor de $0.45\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ con la Corriente del Caribe. Luego cambió a una dirección Norte a $0.60\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ hasta el 7 de septiembre cuando giró al Oeste alrededor de un giro anticlónico (en el sentido de las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte) como los registrados en Nystuen & Andrade (1993) viajando con la Corriente del Caribe al norte de 14°N . M14532 derivó luego hacia el Canal Chibcha, como lo hicieron las otras boyas para llegar allí el 21 de septiembre.

La boya YOTO13 fue lanzada en junio 1° de 1998 afuera de la costa colombiana cerca de Cartagena, como parte del primer conjunto de boyas del programa YOTO en Caribe suroccidental (Figura 6). Esta boya también proveía lecturas continuas de temperatura superficial del mar. Ella derivó lentamente hacia el Norte ($\sim 0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) en aguas cálidas ($>29^{\circ}\text{C}$) a lo largo de la Contracorriente de Panamá-Colombia y cuando llegó al dominio de los vientos fuertes

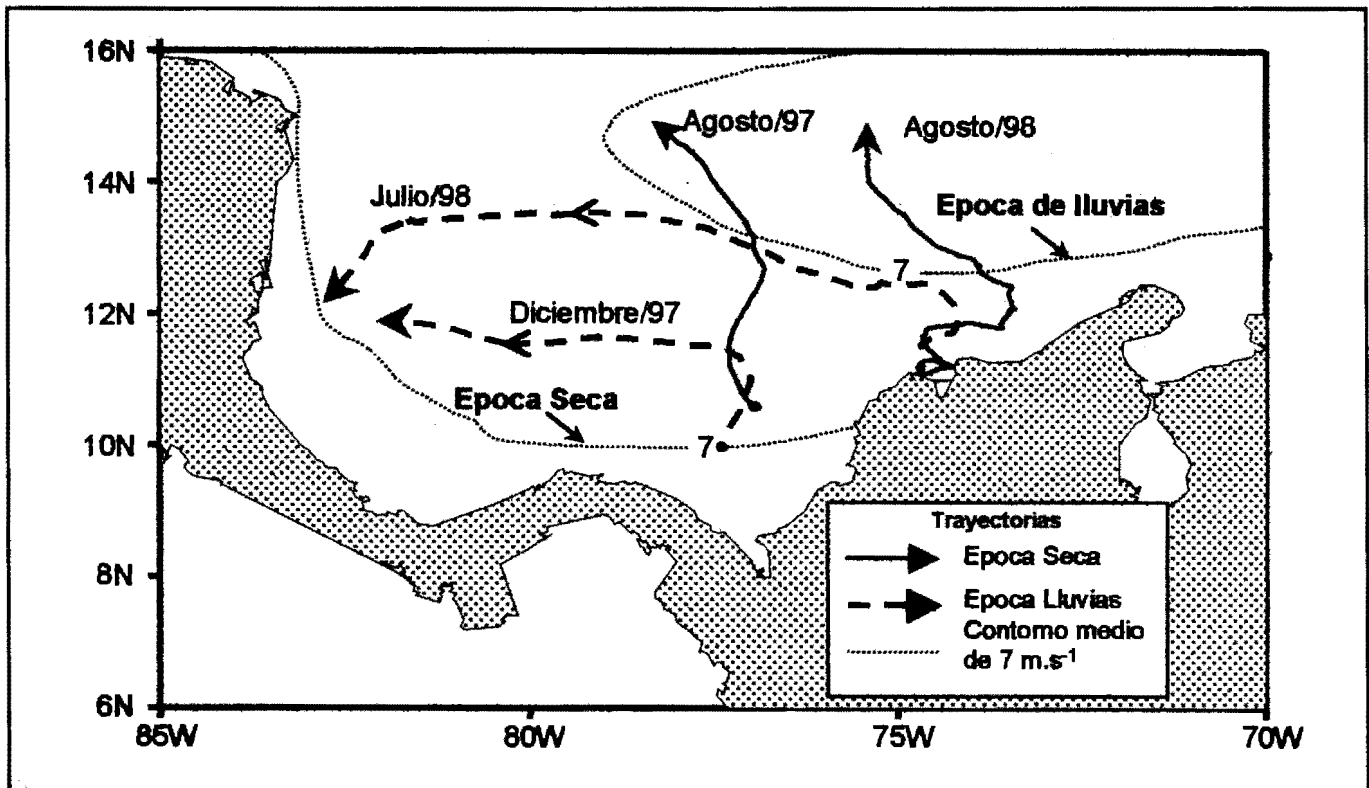
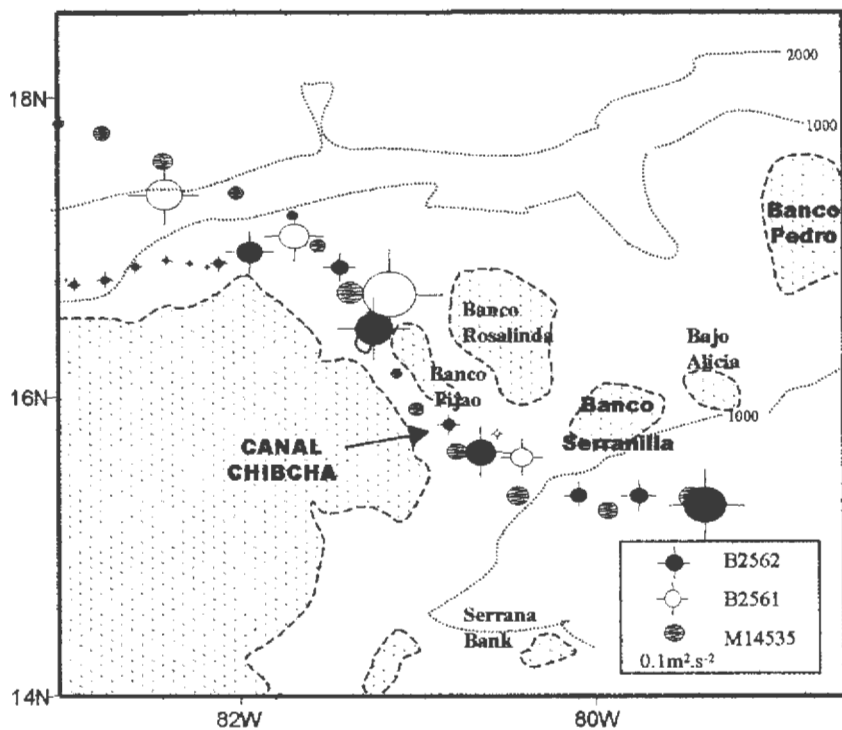


Figura 9. La circulación superficial en el Caribe suroccidental tiene una dependencia importante en los cambios de la velocidad del viento que ocurren en el centro del Caribe como puede observarse en la deriva de las boyas. Dos ejemplos de pares de trayectorias empezando en el mismo lugar, tomaron diferentes rutas, relacionadas con la velocidad del viento. El contorno de $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ de velocidad del viento (líneas punteadas) está señalado para las estaciones seca y de lluvias. Cuando los Alisios del norte se intensifican en la estación seca (diciembre) o en el Veranillo (julio) a la circulación superficial cierra el brazo norte del Giro Panamá-Colombia (trayectorias punteadas). Cuando el viento se relaja a menos de $7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en la estación de lluvias, el giro ciclónico se retira de la parte Este y las aguas superficiales se mueven hacia el Norte y Noroeste (trayectorias continuas).

a)



b)

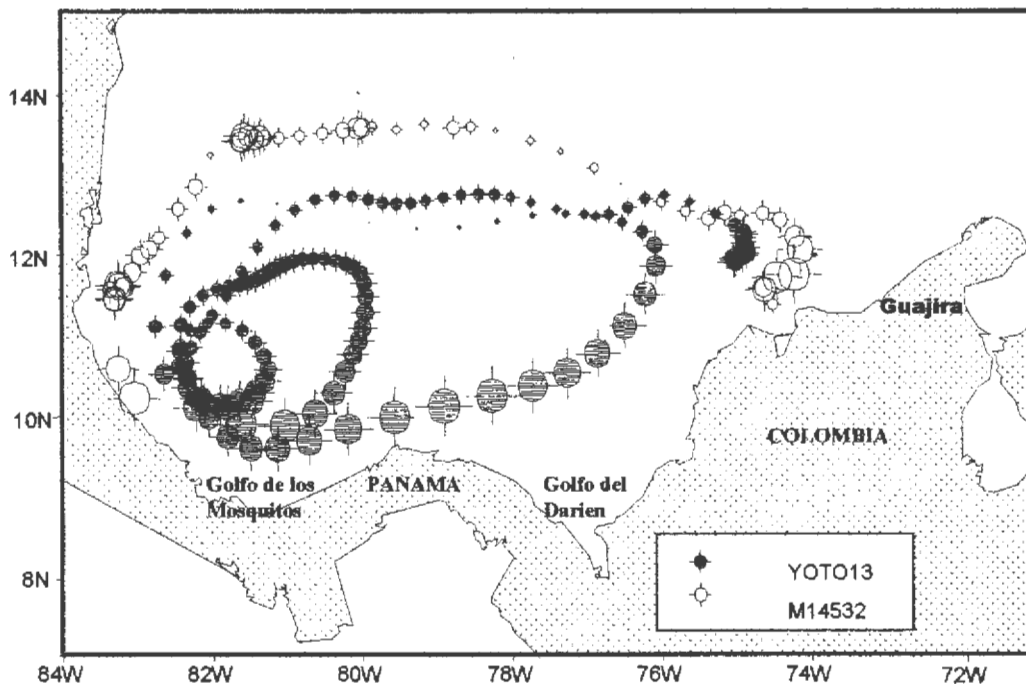


Figura 10. Posición diaria de las boyas en a) la salida al Mar Caimán y b) en el Caribe Suroccidental. El tamaño de los círculos es proporcional al promedio diario de la energía cinética. Las boyas aceleraron justo después de entrar al Canal Chibcha. El brazo Sur -La Contracorriente Panamá-Colombia- fue siempre más intensa que en cualquier otra parte.

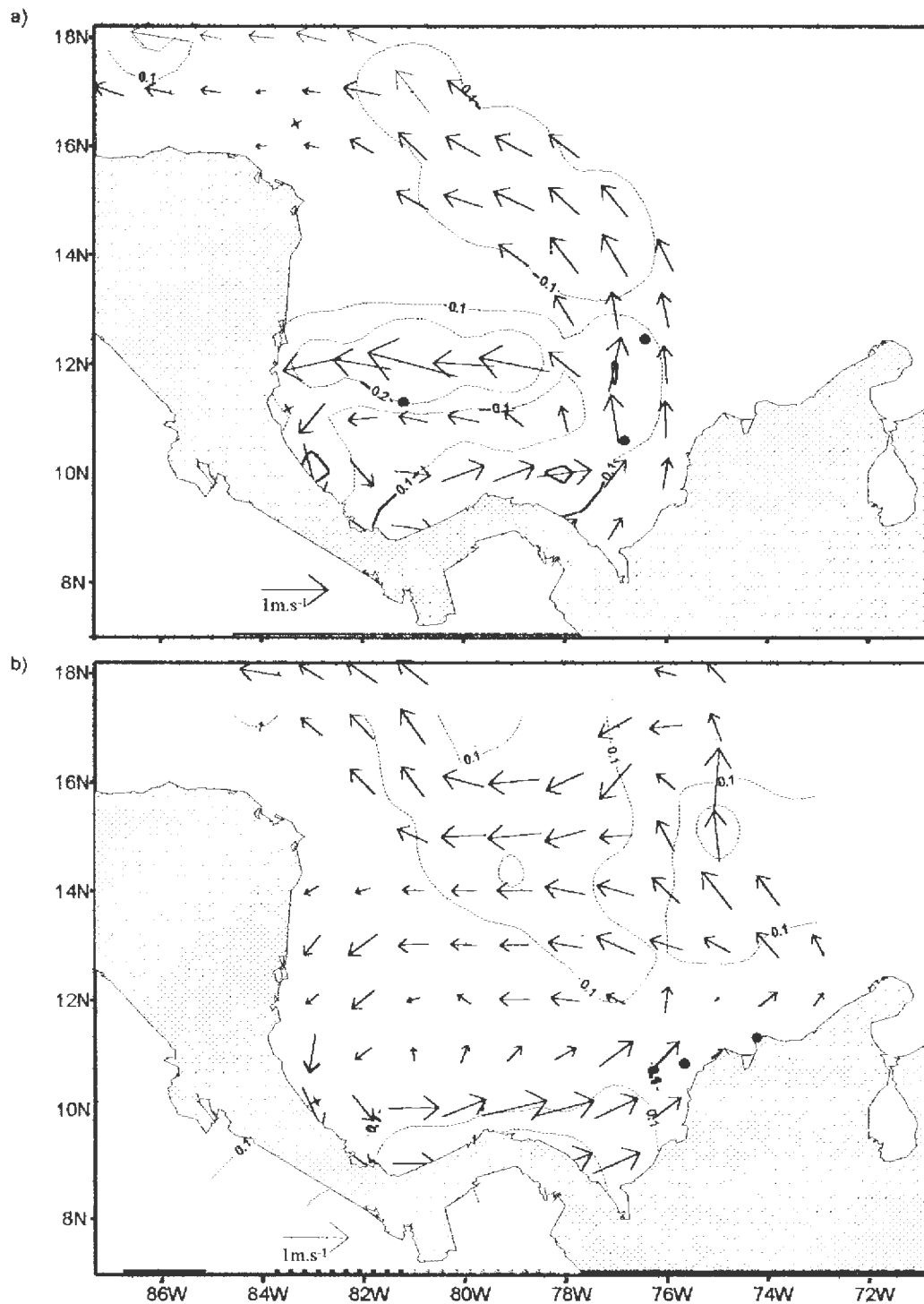


Figura 11. Las corrientes superficiales en el Caribe Suroccidental deducidas de las trayectorias de las boyas durante a) agosto-diciembre 1997 y b) julio-noviembre 1998. Ambos grupos cubren las respectivas estaciones de lluvias. En 1997 las mayores velocidades en el brazo norte del Giro Panamá-Colombia son debidas al comienzo en la estación de vientos en diciembre. La velocidad del Giro nunca fue menor de 0.5 m.s⁻¹. Los campos de velocidad en superficie muestran el Giro entregando aguas hacia el Norte y Noroeste. Los contornos son energía cinética en m²s⁻².

del Caribe Central cerca de 13° N giró hacia el Oeste con aguas más frías (<28° C) del afloramiento de la Guajira dirigiéndose hacia el Caribe Suroccidental al finalizar junio. YOTO13 tomó todo el mes de julio 1998 viajando de la costa colombiana al Golfo de Mosquitos en la costa Costarricense (Figura 6a).

Esta boya aceleró a velocidades mayores de 1.1 m.s⁻¹ mientras viajó hacia el Este con la Contracorriente de Panamá-Colombia, regresando de nuevo a lo largo de 13° N y completando un giro completo en cerca de un mes durante agosto 1998. En lugar de dar la vuelta completa de nuevo, YOTO13 hizo un giro ciclónico completo en el Golfo de Mosquitos por primera vez en septiembre 1998 describiendo una espiral hacia el centro de este ciclón, haciendo dos vueltas durante octubre 1998 (Figura 6b). Esta boya dejó el ciclón para seguir una trayectoria más amplia durante noviembre 1998 (Figura 6c), sin embargo un poco más corto que los giros previos, durante un mes.

Durante diciembre 1998 y enero de 1999, YOTO13 giró alrededor del Golfo de Mosquitos dos veces (Figura 7a), mientras la temperatura superficial disminuyó debido a la estación climática. En febrero 1999, YOTO13 viajó al Sur y dejó el Golfo de Mosquitos con la Contracorriente a velocidades cercanas a 1 m.s⁻¹ y mientras giró de nuevo hacia el Oeste a lo largo de 12° N, bajó su velocidad tomando todo marzo 1999 para llegar de nuevo al Golfo de Mosquitos (Figura 7 b). YOTO13 rotó de nuevo alrededor del ciclón en el Golfo de Mosquitos durante abril y mayo 1999 (Figura 7c) haciendo una espiral hacia el centro, a razón de una vuelta por mes.

La temperatura superficial del mar en el Caribe suroccidental mostró una señal estacional bien definida de alrededor de 4°C (Figura 8). Las aguas superficiales fueron de 26.5° C al final de la estación de vientos (el invierno boreal) y cerca de 30°C en la estación de lluvias, en el verano boreal. Durante el monzón, la temperatura superficial aumenta en el área debido a la disminución de la velocidad de los vientos. Sin embargo las temperaturas superficiales de las boyas también mostraron fuentes de aguas más frías en el Norte de la costa colombiana y en el Sur del Golfo de Mosquitos, a pesar de la señal estacional, debido a que las aguas afloradas en la costa de la Guajira son arrastradas al Oeste en el ramal norte del Giro Panamá-Colombia y aguas más frías (al menos un grado) fueron detectadas en el centro del ciclón en el Golfo de Mosquitos.

4. La deriva alrededor del Giro Panamá-Colombia

Las boyas B2560, M14535 y YOTO13 mostraron, en forma evidente, que la circulación alrededor del Caribe

Suroccidental es ciclónica y que existe un ciclón en el Golfo de Mosquitos. Sin embargo, tomaron diferentes lapsos de tiempo para hacer una rotación completa. B2560 hizo una vuelta completa en 19 días mientras que YOTO13 tomó casi dos meses para hacerlo en febrero-marzo 1998. La deriva de YOTO13 fue la más impresionante ya que giró, alrededor del Golfo de Mosquitos seis veces y del Giro Panamá-Colombia en cuatro ocasiones.

Hay varios aspectos comunes en el comportamiento del conjunto de boyas, en términos de su rotación alrededor del Caribe Suroccidental, y de su forma de dejarlo. Debido a la amplia variabilidad de la escala de tiempo en la rotación alrededor del Giro Panamá-Colombia y a su 'preferencia' espacial para girar alrededor, ya sea de ciclones más o menos grandes, el tiempo de residencia del agua superficial en el Caribe Suroccidental puede variar entre un mes y un año.

Las boyas de deriva viajaron muy cerca de la costa de Panamá y giraron al Sureste cerca de San Blas, pero viajaron lejos de la costa colombiana. Esta característica muestra que la Contracorriente es un flujo muy estrecho cerca de las costas centroamericanas y más ancho afuera de la costa colombiana.

El punto de giro hacia el Oeste frente a las costas colombianas varió muy ampliamente (ver Figura 5). Las boyas derivaron dentro del Golfo del Darién con el flujo Este y giraron ciclónicamente antes de 76° W (solo una alcanzó a llegar más allá de 74° W) viajando al Oeste entre 14° N y 12° N, ya fuese cerrando la celda o girando al Noroeste hacia su salida en la Elevación Centroamericana.

Cuando B2561 y B2562 viajaron al Norte dejando la influencia del Giro de Panamá-Colombia, el viento era del Este-Sureste y tenía velocidades cercanas a 5 m.s⁻¹. Cuando B2560 llegó a la misma área, el viento era del Este pero con velocidades alrededor de 10 m.s⁻¹. Entonces, existe un umbral entre esas dos velocidades del viento que parece modular la corriente superficial cerrando el Giro. En una primera aproximación, el umbral es de alrededor de 7 m.s⁻¹ en los Vientos Alisios del Norte, ya sea para cerrar el Giro o para dejar escapar, al sistema de la Corriente del Caribe, las aguas superficiales (Figura 9).

El análisis diario de la energía cinética promedio muestra que la Corriente del Caribe siempre acelera al cruzar el Canal Chibcha (Figura 10a) y en el brazo sur del Giro, la Contracorriente de Panamá-Colombia. (Figura 10b).

5. Campos Estacionales Eurlianos

La interpolación estacional de las trayectorias de las derivas de las boyas fue hecha mediante el promedio de

todas las velocidades de las boyas dentro de una grilla, de un grado de latitud por un grado de longitud, durante la estación de lluvias de 1997 y durante las estaciones de vientos y de lluvias de 1998, para obtener una visión 'eureliana' de los mismos mecanismos atrás descritos.

Durante la estación de lluvias de 1997 (Figura 11a) el Giro de Panamá-Colombia fue aumentado debido a la intensificación del viento pero también aparece 'abierto' en su extremo Este, 'despidiendo' agua superficial del Giro hacia el Norte. La máxima energía cinética ocurrió a lo largo de 13°N cuando el viento en el Caribe Central se intensifica. Durante la estación de lluvias de 1998 (Figura 11b) el Giro estuvo 'abierto' en su parte Este, permitiendo que la circulación hacia el Norte evacuará agua del Giro. Las máximas velocidades se presentaron frente a las costas de Panamá, donde la Contracorriente tuvo siempre máxima intensidad.

Durante la estación de vientos de 1998-1999 (Figura 12) el Giro de Panamá-Colombia estuvo 'cerrado' por la

intensificación de los Vientos Alisios que van al Oeste. La energía cinética máxima en la superficie del mar estuvo relacionada con el estrés ejercido por aquellos vientos en la parte Norte del Giro. El Giro se apartó de la costa colombiana y se restringió al Golfo de Mosquitos hasta el norte de Panamá.

6. Conclusiones

Las observaciones lagranianas, hechas con boyas de deriva entre 1997 y 1999, mostraron la persistencia del llamado Giro Panamá-Colombia a lo largo del periodo de observación. Las velocidades medias de la Contracorriente de Panamá-Colombia estuvieron próximas a $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ notablemente intensas si se comparan con la circulación general del Caribe, que normalmente es de la mitad.

También se encontró un remolino que domina el Golfo de Mosquitos de manera persistente a través de los dos años de observación. Esta celda ciclónica fue una característica permanente, independiente de la estación

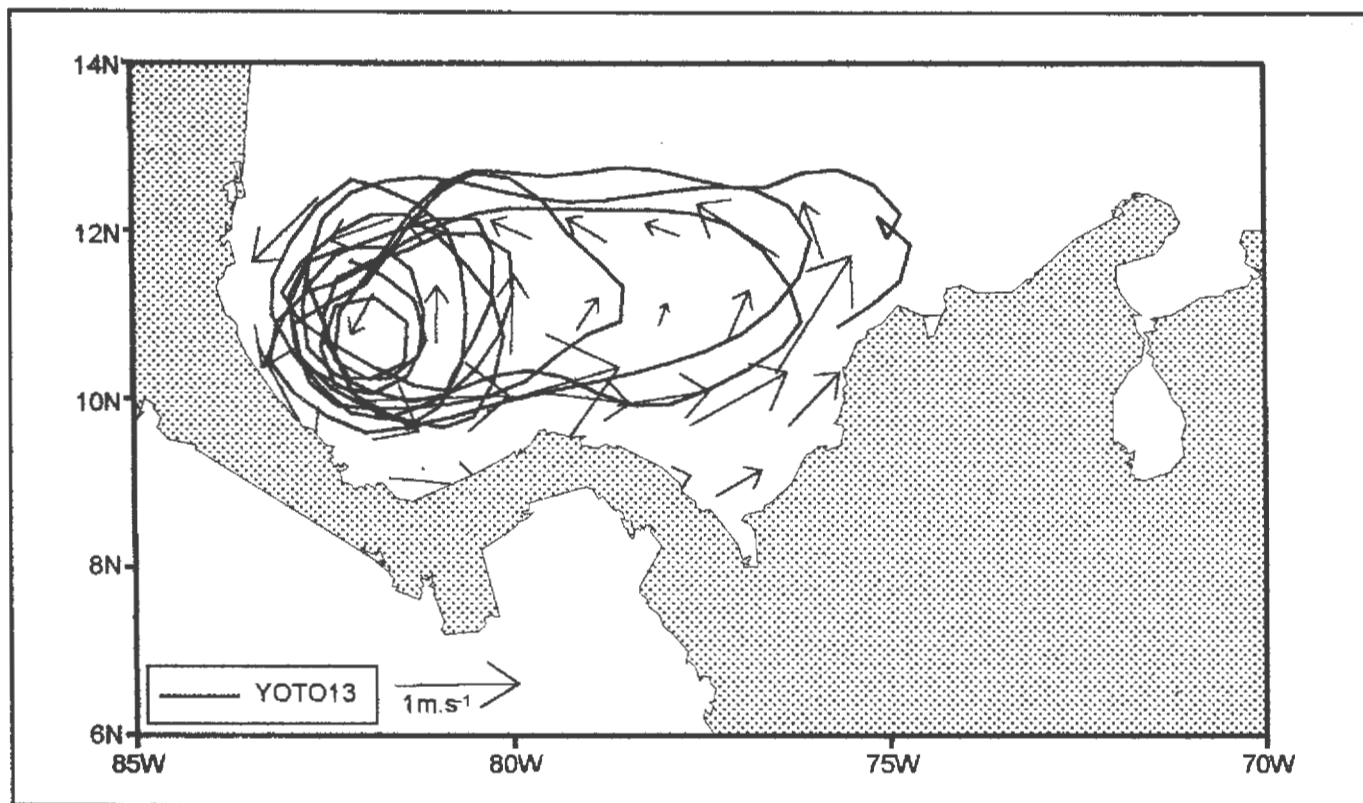


Figura 12. Las corrientes superficiales durante la estación de vientos de 1998/1999 (diciembre-marzo) como fueron deducidas de la trayectoria de la boya YOTO13. Las velocidades máximas en el Giro Panamá-Colombia fueron alrededor de $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el brazo Sur - La Contracorriente Panamá-Colombia.

climática. Las aguas dejaron el ciclón siguiendo la Contracorriente a lo largo de la costa centroamericana y recircularon o dejaron el Giro de Panamá-Colombia derivando hacia el Norte de acuerdo con el estrés del viento en superficie frente a las costas colombianas.

Los fuertes vientos del Caribe Central juegan un papel importante en el comportamiento de la circulación superficial en Caribe Suroccidental, como lo describieron las derivas de los grupos de boyas estudiados. Hay un umbral en la velocidad del viento superficial de cerca de 7m.s^{-1} en el centro del Caribe (cerca de 14°N), necesario para obtener suficiente estrés en la circulación superficial y construir el brazo norte del Giro Panamá-Colombia. Las aguas dejaron el Giro y 'escaparon' hacia el Norte o el Noroeste frente a las costas de Colombia cuando bajó la velocidad del viento.

Todas las boyas lanzadas en la Cuenca de Colombia que no encallaron, aceleraron hacia el Noroeste y salieron hacia el Mar Caimán confirmando estimaciones previas sobre la circulación superficial en esa área (Parr, 1936). El eje de la Corriente del Caribe cruza el Canal Chibcha a pesar de que existen pasos más profundos en la Elevación Centroamericana.

Reconocimientos

El presente trabajo fue hecho con los auspicios del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología 'Francisco José de Caldas' (COLCIENCIAS) y del Concejo Británico durante el proceso de doctorado del autor en la Universidad de Gales. La Armada Nacional proveyó los buques para el lanzamiento de las boyas y el trabajo se realizó en las instalaciones del CIOH en Cartagena. La Dra. Maria. Criales contribuyó con los datos de las boyas de deriva del proyecto del INVEMAR- U. de Miami. Mis agradecimientos son para el Dr. Eric Desmond Barton por su asesoría en el presente trabajo y a Jakeline Benavides MSc. por su colaboración en la preparación del texto y las figuras.

7. Bibliografía

- Andrade, C.A., 2000. The circulation and mesoscale variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. [La circulación y variabilidad de media escala de la Cuenca de Colombia en el Mar Caribe], Tesis doctoral, Universidad de Gales, 228 pp.
- _____ & A. Duarte, 1992. Estudio oceanográfico y de suelos en el Golfo de Salamanca, Rep. *Técnico ECOPEPETROL- Colombia*, 175 pp.
- Blanco, J.A., 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe Colombiano, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, 50 pp.
- Criales, M. M., T. Lee, C. Yeung, E. Williams, C. Andrade, A. López & F. Amaya, 1999. Onshore larval transport in the Santa Marta Region, Colombian Caribbean with a general description of the SW Caribbean circulation through Argos buoys and altimetry data [Transporte costero de larvas en la región de Santa Marta, Caribe Colombiano con una descripción general de la circulación del Caribe Suroccidental a través de boyas Argos y datos de altimetría] *Primera Reunión Científica Bianaual de la Iniciativa para el Mar Intra-americano. noviembre 9-11* (abstract).
- Etter, P.C., P.J. Lamb & D.H. Portis, 1987. Heat and freshwater budgets of the Caribbean sea with revised estimates for the Central Americas Seas. *J. Phys. Oceanogr.*, 17(8), 1232-1248.
- Leaman, K.D. & W.D. Wilson, 1999. Physical Variability of Surface Currents in the Panama-Colombia Gyre: Nature, causes and comparisons with a high resolution numerical-model. [La variabilidad física de las corrientes superficiales en el Giro Panamá-Colombia, naturaleza, causas y comparación con modelos numéricos de alta resolución]. *Primera Reunión Científica Bianaual de la Iniciativa para el Mar Intra-americano. noviembre 9-11* (abstract).
- Molinari, R., M. Spillane, I. Books, D. Atwood & C. Duckett, 1981. Surface currents in the Caribbean Sea as deduced from Lagrangian observations: *J. Geophys. Res.*, 86, 6537-6542.
- Mooers, C.N.K. & G.A. Maul, 1998. Intra-Americas Sea Circulation [La circulación del Mar Intra-americano], en: *The Sea*, editores. K. H. Brink and A. R. Robinson, 1062 pp., Wiley, New York.
- _____ & L. Gao, 1996. Numerical simulation of the Intra-Americas Sea, Part I. [Simulación numérica del Mar Intra-americano; Parte 1] *Trans. Amer. Geophys. Union.* 76, OS 118, suppl. (solo abstract).
- Nystuen, J.A. & C.A. Andrade, 1993. Tracking mesoscale ocean features in the Caribbean Sea using GEOSAT altimetry, [Siguiendo rasgos oceánicos de media escala en el Caribe utilizando el altímetro de Geosat] *J. Geophys. Res.*, (98), 8389-8394.
- Parr, A.E., 1936. A contribution to the Hydrography of the Caribbean and Cayman Seas, based upon the observations made by the Research Ship 'Atlantis', 1933-1934. [Una contribución a la hidrografía del Mar Caribe y Mar Caimán basada en observaciones hechas por el Buque Oceanográfico "Atlantis", 1933-1934], *Bull. Bingham Oceanogr. Collect.*, 5(4).
- Pujos, M., J. L. Pagliardini, R. Steer, G. Vernet & O. Weber, 1986. Influencia de la contra-corriente norte colombiana para la circulación de las aguas en la plataforma continental su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena, *Bol. Cient. CIOH*, 6, 3-15.