

Bol. Cient. - CIOH	Cartagena (Colombia)	No. 6	p. p. 3 - 15	Enero 1986	ISSN 0120 - 0542
--------------------	-------------------------	-------	--------------	------------	------------------

INFLUENCIA DE LA CONTRA-CORRIENTE NORTE COLOMBIANA PARA LA CIRCULACION  
DE LAS AGUAS EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL :  
SU ACCION SOBRE LA DISPERSION DE LOS EFLUENTES EN SUSPENSION DEL RIO MAGDALENA.

Por: Michel PUJOS\*, Jean-Luc PAGLIARDINI\*\*, Rafael STEER\*\*\*, Georges VERNETTE\*\* y  
Olivier WEBER\*.

R E S U M E N :

Durante la misión oceanográfica "CARACOLANTE" realizada en noviembre de 1981 en la plataforma continental colombiana del Caribe, medidas rutinarias de temperatura y salinidad fueron ejecutadas.

Los resultados permitieron suponer la existencia de "Células ciclónicas" de corriente (hasta la fecha limitada a dos, debido a la falta de datos suficientes). El origen de estas células puede ser el resultado del efecto conjunto de la corriente del Caribe y de la contra-corriente Litoral, hipótesis que se tratará de verificar en crucero posterior, con medidas de corriente y boyas de deriva.

Además, un reconocimiento preliminar en la desembocadura del delta del Magdalena, indica igualmente el efecto de esta contra-corriente en la difusión de las aguas fluviales y para la dispersión en el mar de los efluentes en suspensión.

\*\*\*\*\*

During CARACOLANTE campaign conducted on caribbean continental shelf in Colombia, some routine measurements of temperature and salinity allowed to anticipate the existence of flow cyclonic cells, temporarily limited to two cells in consequence of a fragmentary information. Their genesis can be attributed to a joint influence of the Caribbean flow and a coastal conterflow deflected by an obstacle; we shall try to confirm this theory at the time of a next campaign by means of speed measurements and paths of drift buoys.

Moreover, a preliminary survey of approaches of Magdalena River Delta also shows the influence of this counter flow over the scattering of fluvial waters and over dispersion of floating throws in the sea.

INTRODUCCION

Actualmente se están desarrollando investigaciones sedimentológicas en la plataforma continental colombiana del Caribe (Fig. 1). Esto corresponde tanto a un trabajo de iniciación (región poco investigada desde este punto de vista), como de explicación de los fenómenos, puesto que despues de la identificación de las facies sedimentarias y de las formaciones encontradas en la plataforma (VERNETTE, 1982), se necesitaba explicar las modalidades de los procesos que actuan en esta sedimentación.

\* Instituto de Géologie du Bassin d'Aquitaine - Bordeaux - France,  
\*\* Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - Misión Técnica Francesa - Escuela Naval - Cartagena, Colombia.  
\*\*\* Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - Armada Nacional - Cartagena - Colombia.



El objetivo de esta publicación es doble:

1º Conocer en la zona de plataforma situada entre la desembocadura del río Magdalena y el golfo de Morrosquillo, los rasgos generales de la circulación de las masas de agua, que aparecen como resultante del efecto conjunto de la corriente del Caribe y de la contra-corriente del golfo del Darien.

Hasta el momento y por falta de datos suficientes, no se puede precisar el papel que puede jugar esta circulación en la dispersión de los aportes detríticos procedentes del continente.

2º Analizar y explicar los mecanismos locales que pueden ser responsables de la dispersión de los efluentes del río en el mar durante el período de clima húmedo; la importancia de estos efluentes había sido evidenciada por fotografía satélite.

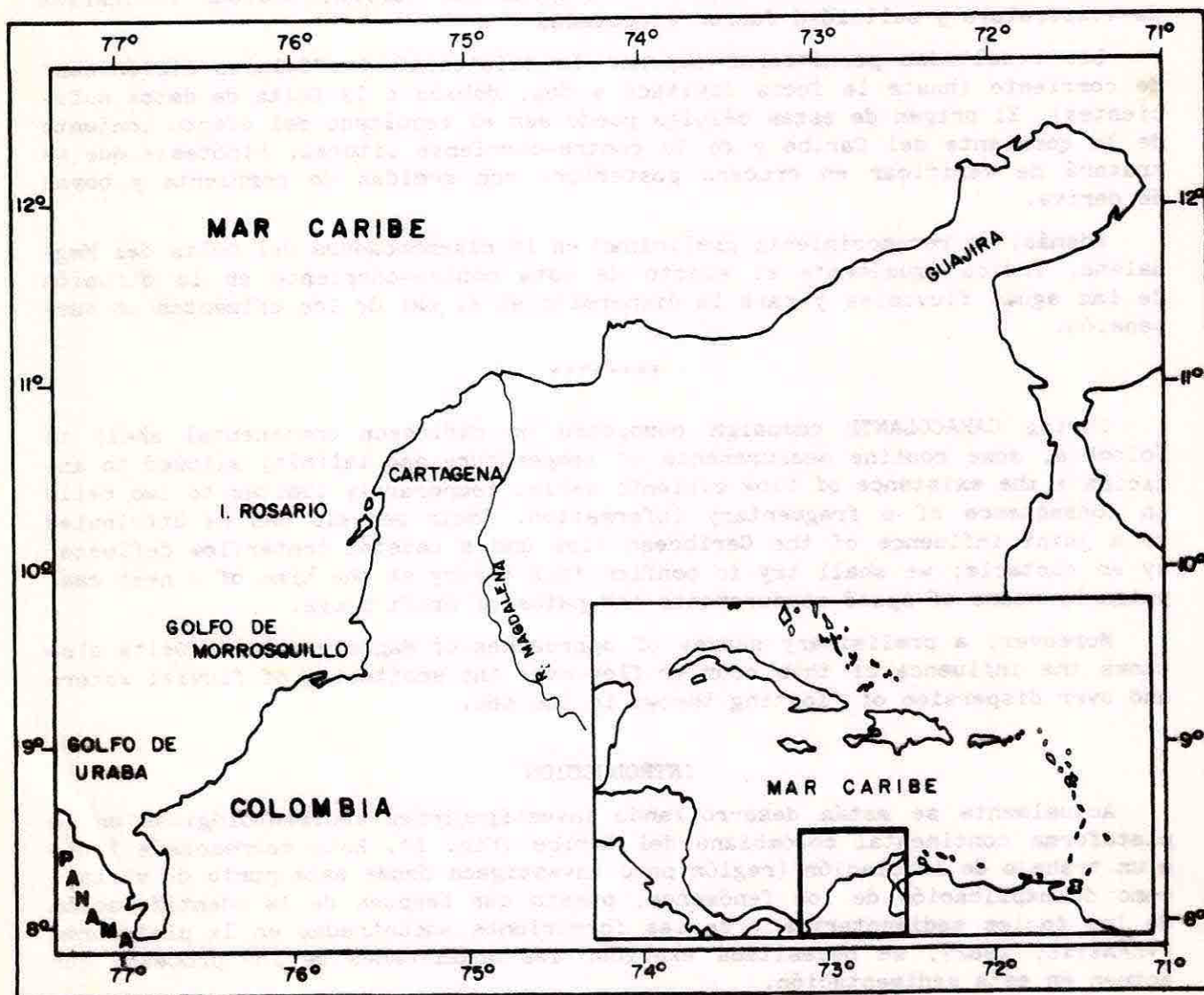


Fig. 1. ZONA DE ESTUDIO



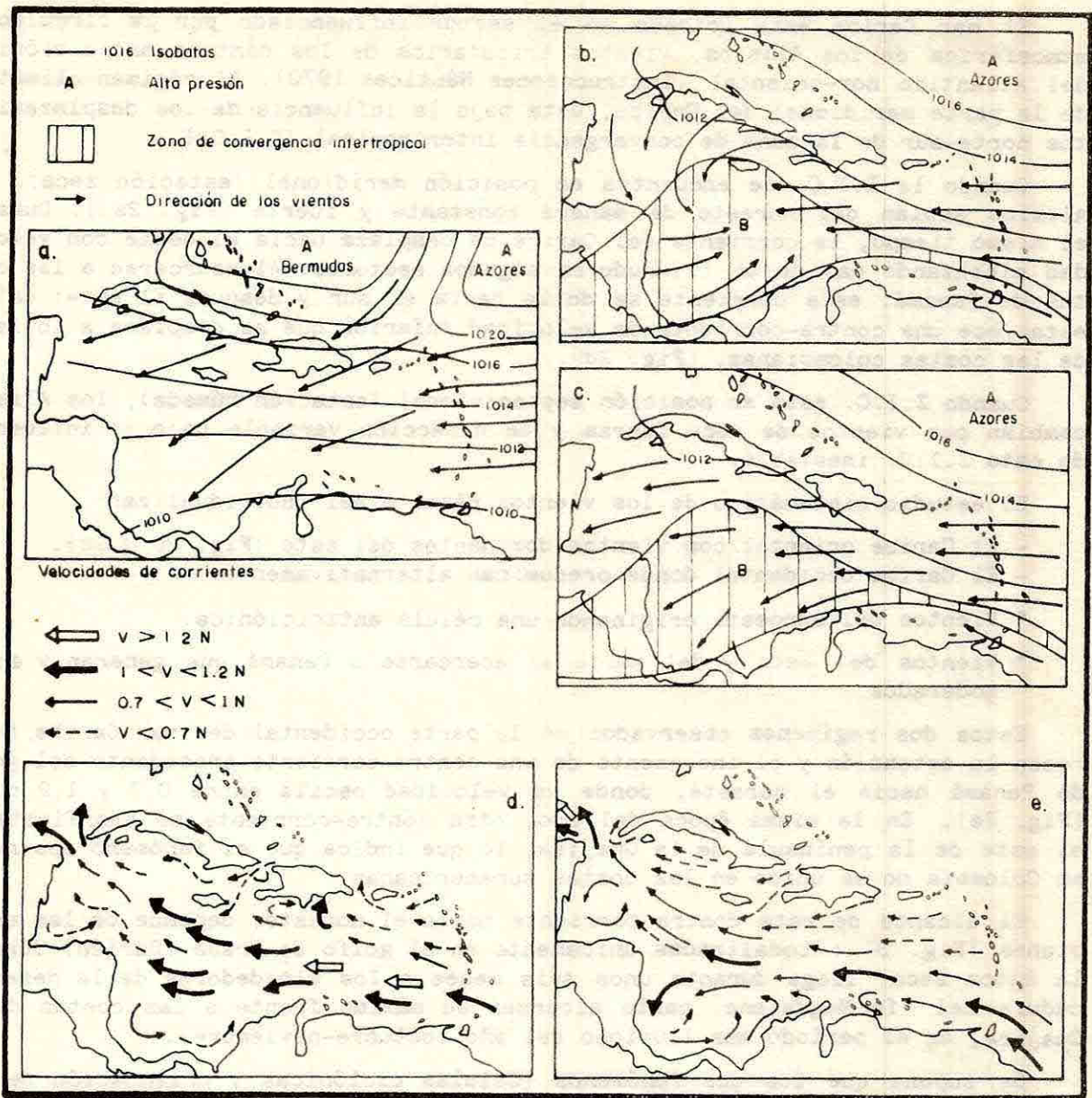


Fig. 2 - VIENTOS Y CORRIENTES GENERALES EN EL MAR CARIBE

- a - Epoca seca - isobatas y dirección de los vientos
- b - Epoca de lluvias - isobatas y dirección de los vientos fuertes.
- c - Epoca de lluvias - isobatas y dirección de los vientos moderados.
- d - Epoca seca - corrientes de superficie,
- e - Epoca de lluvias - corrientes de superficie.



## DATOS CLIMATICOS E HIDRODINAMICOS GENERALES EN EL CARIBE.

El mar Caribe esta ubicado en el sector influenciado por la circulación atmosférica de los Alisios, vientos tributarios de los centros anticiclónicos del Atlántico nor-oriental (Instrucciones Náuticas 1970). El régimen climático de la parte meridional del Caribe, esta bajo la influencia de los desplazamientos norte-sur de la zona de convergencia intertropical (Z.I.C.).

Cuando la Z.I.C. se encuentra en posición meridional (estación seca), los Alisios soplan del noreste de manera constante y fuerte (Fig. 2a.). Durante el mismo tiempo, la corriente del Caribe se desplaza hacia el oeste con velocidad alcanzando mas de un (1) nudo en algunos sectores. Al acercarse a las costas de Panamá, esta corriente se dobla hacia el sur y despues al este: así se establece una contra-corriente de velocidad inferior, que se desplaza a lo largo de las costas colombianas. (Fig. 2d).

Cuando Z.I.C. está en posición septentrional (estación húmeda), los Alisios cambian por vientos de poca fuerza y de dirección variable bajo la influencia de esta Z.I.C. inestable.

El estudio sistemático de los vientos permite así individualizar:

- El Caribe oriental con vientos dominantes del este (Fig. 2b y 2c).
- El Caribe occidental donde predominan alternativamente:

- \* Vientos del suroeste originando una célula anticiclónica.

- \* Vientos del este y del norte al acercarse a Panamá que generan vientos moderados.

Estos dos regímenes observados en la parte occidental del mar Caribe, favorecen la extensión y el incremento de una contra-corriente procedente del golfo de Panamá hacia el noreste, donde su velocidad oscila entre 0,7 y 1,2 nudos (Fig. 2e). En la misma época del año, otra contra-corriente se manifiesta en el este de la península de la Guajira, lo que indica que el fenómeno observado en Colombia no es único en las costas suramericanas.

El alcance de esta contra-corriente hacia el noreste, depende de las estaciones (Fig. 3) : Localizadas unicamente en el golfo de Urabá (Darién) durante la época seca, llega durante unos seis meses a los alrededores de la desembocadura del río Magdalena, hasta alcanzar su máximo frente a las costas de la Guajira, en el período mas lluvioso del año (octubre-noviembre).

Se supone que los dos fenómenos (Células ciclónicas y orientación de los efluentes del Magdalena al salir al mar), los cuales fueron observados con los datos hidrológicos obtenidos durante la misión CARACOLANTE (Epoca de lluvia, noviembre 1981), pueden ser originados por la acción de esta contra-corriente.

### CELULAS CICLONICAS.

Los datos hidrológicos obtenidos durante el crucero en todo el sector, desde la desembocadura del río Magdalena hasta el golfo de Morrosquillo, permiten establecer curvas de temperatura, salinidad y densidad en las aguas por períodos de 12 horas. La comparación de varios períodos seguidos, indica generalmente una evolución conjunta de estos tres parámetros traduciendo rotaciones acompañadas casualmente por translación (Fig. 4).

Estas variaciones pueden explicarse por desplazamiento de masas de agua.



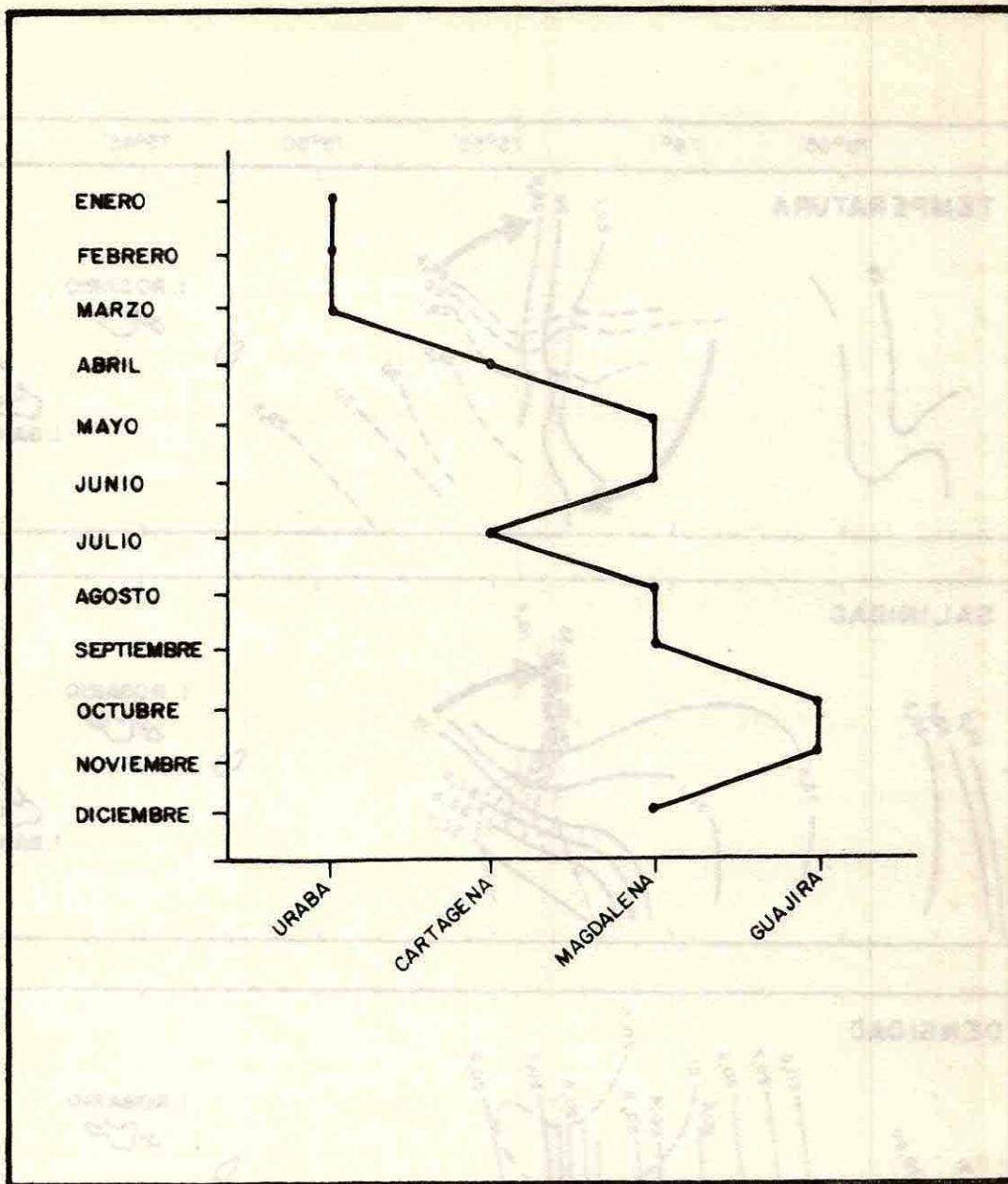


Fig. 3 - ALCANCE ESTACIONAL DE LA CONTRA-CORRIENTE. (Segun las "pitot-charts").

En ausencia de medidas de corriente en este mismo sector (Operación en proyecto), se supone que la orientación de estas rotaciones y la dirección de translación son manifestaciones de las corrientes.

La cartografía de estas trayectorias dibuja dos células ciclónicas; la primera al oeste de las Islas del Rosario, la segunda al oeste del delta del río Magdalena (Fig. 5).

Estas células están probablemente originadas por:

- Una desviación de la contra-corriente sobre un obstáculo: los arrecifes del Rosario y el delta del Magdalena, representan por supuesto unos obstáculos a la progresión normal de esta contra-corriente.

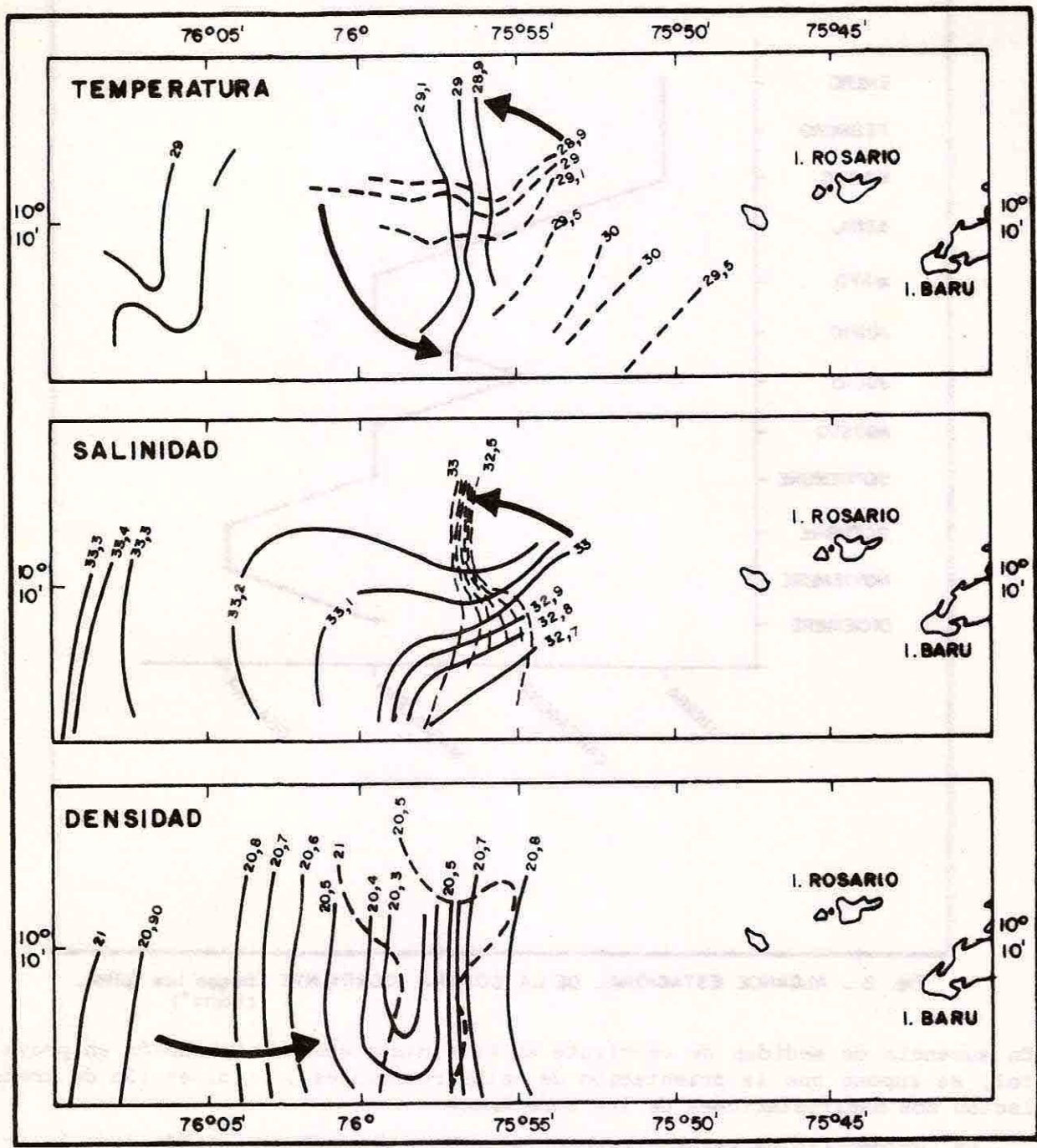


Fig. 4. VARIACIONES LOCALES DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y DENSIDAD.

- Período del 21/22 de noviembre. (19h a 07h)
- - - Período del 22 de noviembre (7h a 19h)



- Una aceleración de la desviación por la corriente general del Caribe cuyo flujo se ubica más mar adentro.

- Además de estas dos causas se puede pensar que actúa también de manera esporádica.:

- Un viento local para el cual las observaciones indicarían un giro inverso de la corriente (Célula ciclónica meridional).

- Un viento local con dirección similar a la corriente (Célula ciclónica septentrional).

SOUTHARD et STANLEY (1976) describen un fenómeno similar en la región del cabo Hatteras (U.S.A.), y mencionan el conjunto de los mismos factores: corriente, contra-corriente, obstáculo.

Estas células ciclónicas cuya existencia parece relacionada con la contra-corriente, debe logicamente desaparecer con esta última, durante la estación seca.

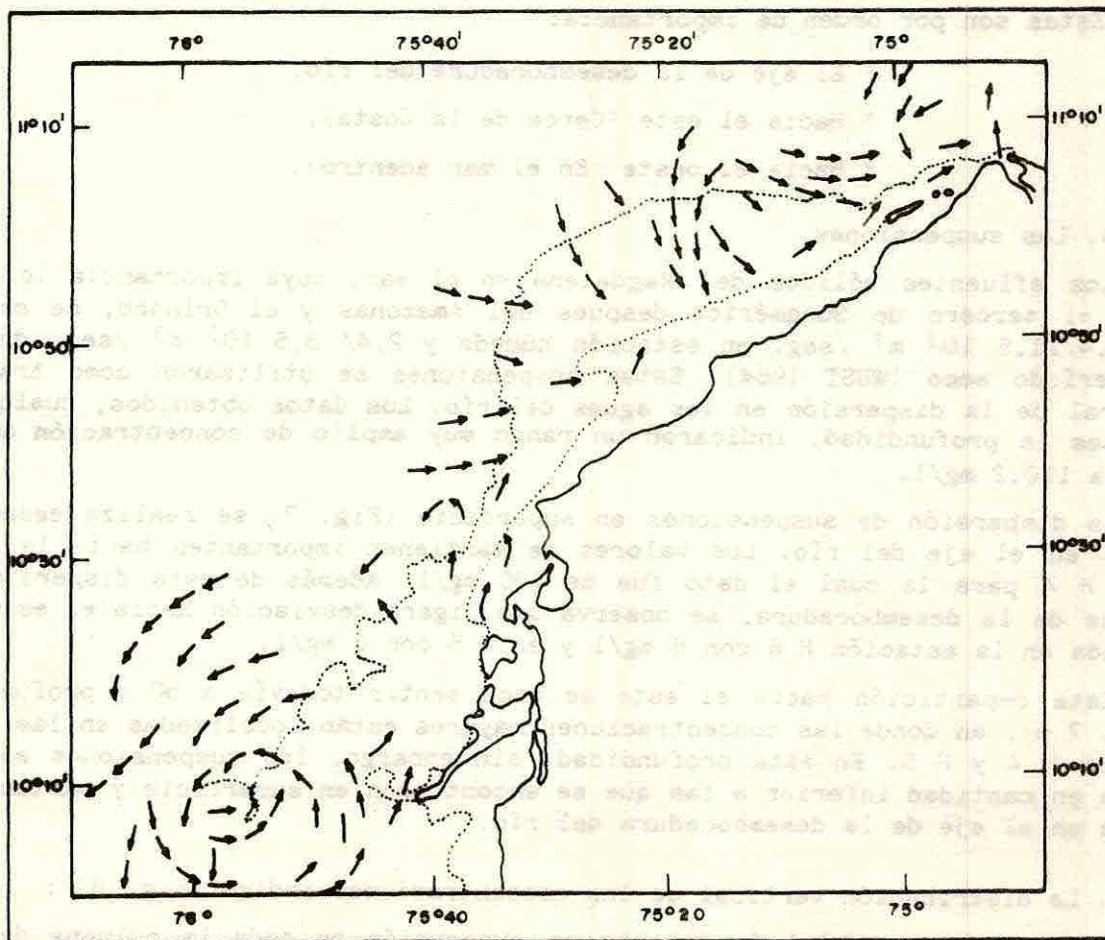


Fig. 5 - DIRECCIONES DE CORRIENTES : CELULAS CICLONICAS



## LA CIRCULACION COSTERA Y EL TRANSITO DE LAS SUSPENSIONES HACIA EL OCEANO EN LAS AFUERAS DEL MAGDALENA.

1º Durante la misión CARACOLANTE, ha sido posible determinar la extensión de los fluviales del Magdalena en el sector de la desembocadura:

### a. Las salinidades.

Las medidas de salinidad que fueron ejecutadas tanto en superficie como en profundidad, indican una gran variabilidad (Desde 20 a 34, 38 % y una repartición un poco especial).

Efectivamente, la difusión de las aguas salobres parece realizarse hacia el este de la desembocadura del río (Fig. 6). Pero, hay que subrayar que los valores inferiores fueron observados en el eje de la desembocadura en donde el mínimo de salinidad es inferior a 20 % a una distancia de unas cuatro (4) millas de la costa (Estación H 4). Esto significa la existencia de un fuerte gradiente de salinidad particularmente entre las estaciones H 3 y H 4 en donde los valores pasaron de 31, 21 % a 20 %.

Así, tres direcciones parecen posibles para la difusión de las aguas del río. Estas son por orden de importancia:

- ° El eje de la desembocadura del río,
- ° Hacia el este (Cerca de la Costa),
- ° Hacia el oeste (En el mar adentro).

### b. Las suspensiones.

Los efluentes sólidos del Magdalena en el mar, cuya importancia lo sitúa como el tercero de Suramérica después del Amazonas y el Orinoco, se estiman en  $9,4/11,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / \text{seg.}$  en estación húmeda y  $2,4/ 3,5 \cdot 10^3 \text{ m}^3 / \text{seg.}$  durante el período seco (WUST 1964). Estas suspensiones se utilizaron como trazador natural de la dispersión en las aguas del río. Los datos obtenidos, cualquiera que sea la profundidad, indicaron un rango muy amplio de concentración de 0,2 mg/l a 110,2 mg/l.

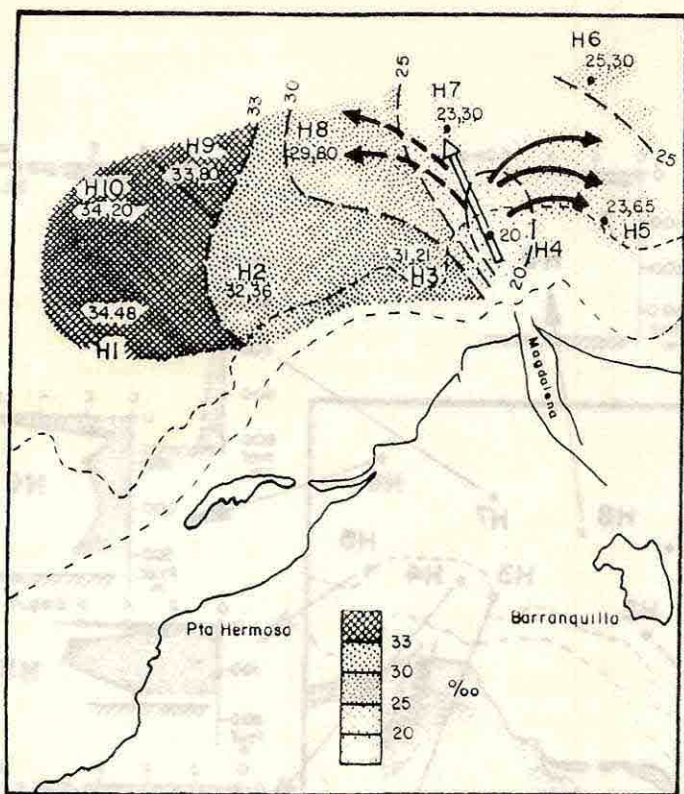
La dispersión de suspensiones en superficie (Fig. 7), se realiza esencialmente en el eje del río. Los valores se mantienen importantes hasta la estación H 4 para la cual el dato fue de 100 mg/l. Además de esta dispersión en el eje de la desembocadura, se observa una ligera desviación hacia el este detectada en la estación H 6 con 8 mg/l y en H 5 con 6 mg/l.

Esta repartición hacia el este se hace sentir todavía a 50 m profundidad (Fig. 7 b), en donde las concentraciones mayores están localizadas en las estaciones H 4 y H 5. En esta profundidad, sin embargo, las suspensiones sólidas están en cantidad inferior a las que se encontraron en superficie y particularmente en el eje de la desembocadura del río.

- La distribución vertical de las concentraciones indica (Fig. 8) :

- \* Una poca cantidad de materia en suspensión en toda la columna de agua (H 1 y H 2) en el lado oeste.
- \* Una estratificación horizontal :
- En las estaciones situadas alrededor de la desembocadura (H 3, H 6,





Profundidad de cada estación:

H1	400 m
H2	225 m
H3	210 m
H4	130 m
H5	170 m
H6	350 m
H7	610 m
H8	355 m
H9	533 m
H10	720 m

Fig. 6 - SALINIDAD A - 2 m de la superficie.

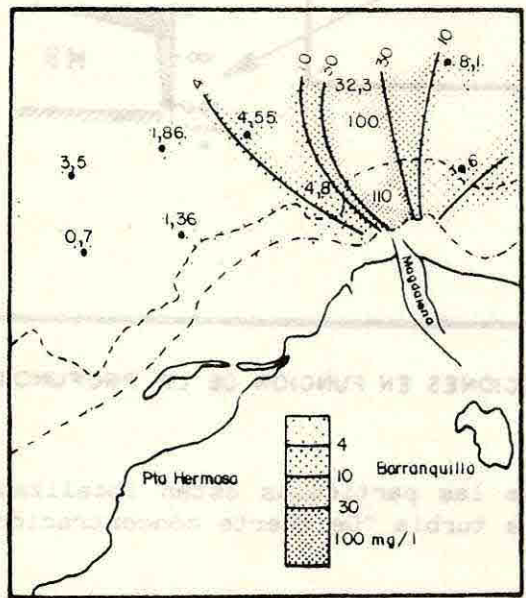


Fig. 7a - CONCENTRACIONES EN SUPERFICIE

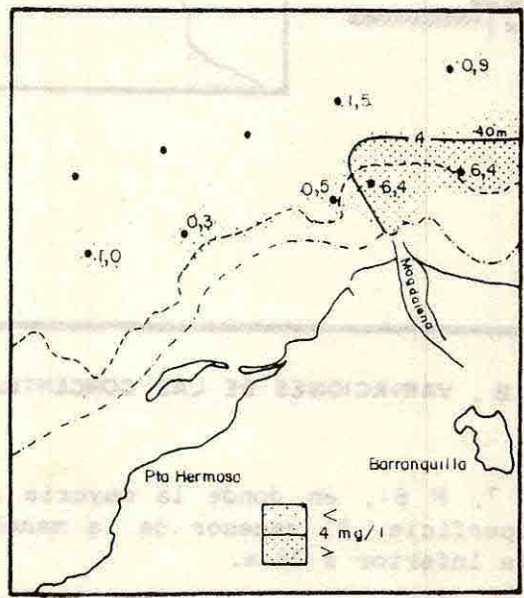


Fig. 7b - CONCENTRACIONES A - 50 m.



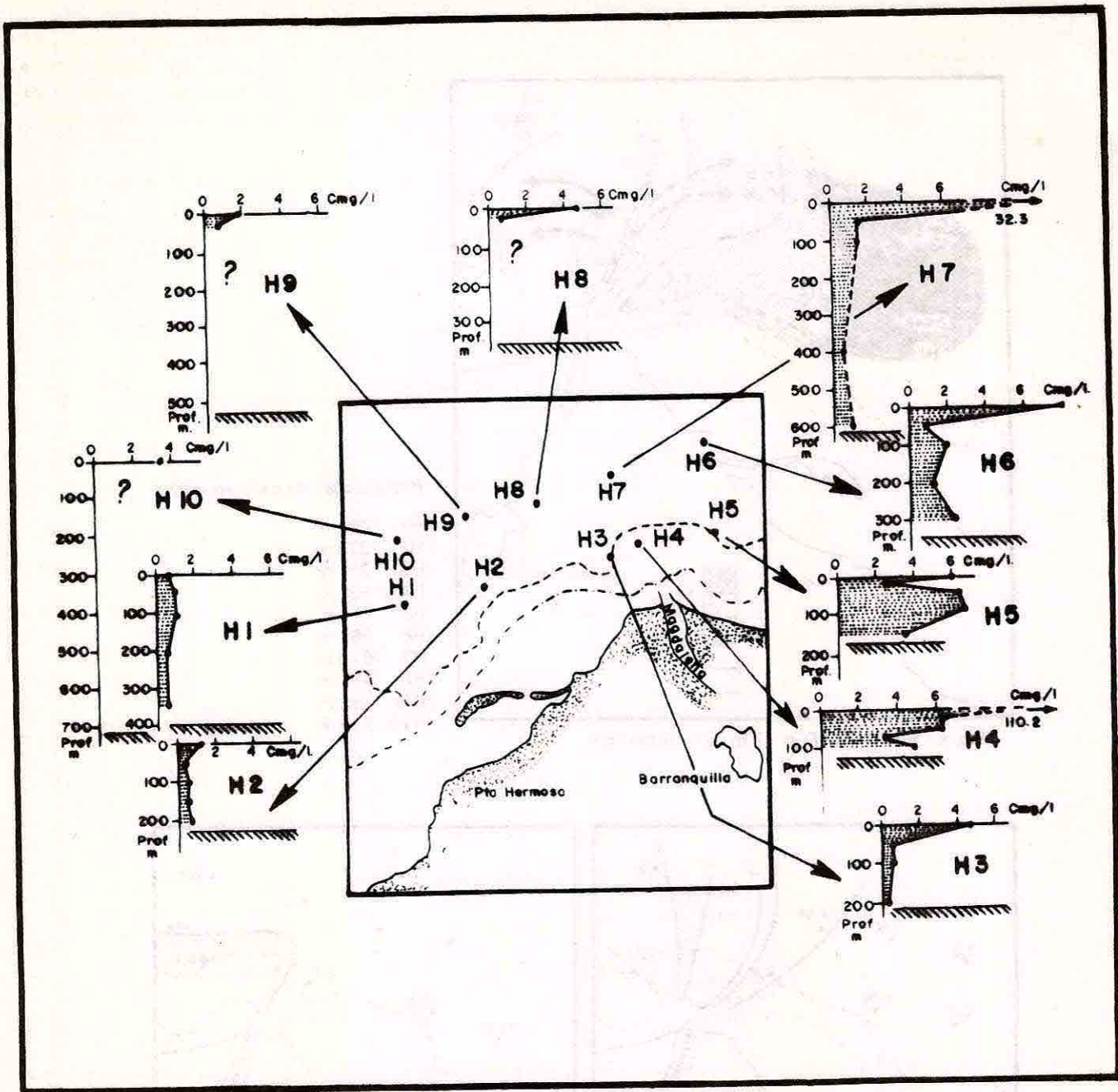


Fig 8 . VARIACIONES DE LAS CONCENTRACIONES EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD

H 7, H 8), en donde la mayoría de las partículas están localizadas en superficie. El espesor de la mancha turbia "De fuerte concentración" sería inferior a 25 m.

- ° En frente y al este de la desembocadura, en donde las materias en suspensión son relativamente importantes en toda la columna de agua. Caso de la estación H 4 en donde se puede observar, además de la disminución de la superficie (100 mg/l, hacia 25 m (6,4 mg/l), un decrecimiento hasta mayor profundidad.

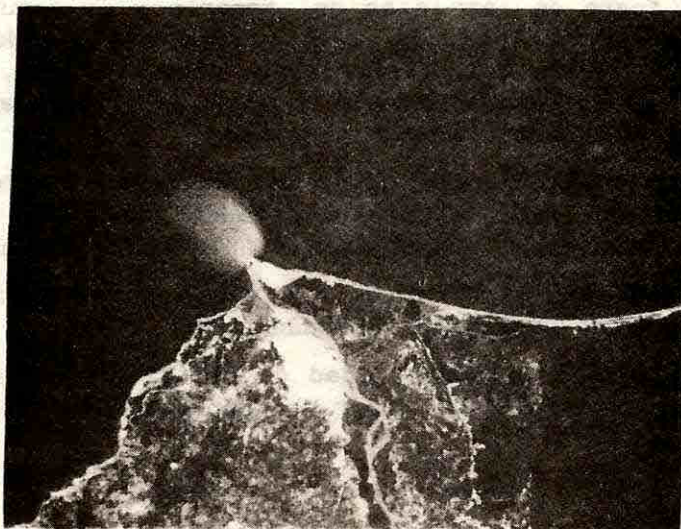


Así se pudo notar que, en superficie la mancha de turbidez se establece uniformemente alrededor de la desembocadura y bajo un leve espesor de agua (inferior a 25 m); mas afuera, las concentraciones están por debajo de 2 mg/l excepto en el este de la desembocadura, en donde la turbidez se mantiene importante.

Hay que anotar la gran similitud en las reparticiones de las concentraciones y salinidades en superficie. Finalmente, todas estas observaciones indican que, durante la estación lluviosa los efluentes fluviales del Magdalena hacia mar afuera se disminuyen esencialmente en superficie; en el eje de la desembocadura del río, el sobrante de las suspensiones se orienta hacia el este.



14 de noviembre de 1978 Foto satélite NASA LANDSAT 021



7 de enero de 1979 Foto satélite NASA LANDSAT 145

Fig. 9 Evolución del aporte de materias en suspensión del Magdalena, en las épocas húmeda y seca.



La circulación predominante de las aguas, esta relacionada de una parte con los fuertes caudales del río que arrojan la mayor parte de las partículas en suspensión frente a la desembocadura (Fig. 6-7), y de otra parte a la influencia de la contra-corriente Litoral, fuerte y de gran magnitud en este período del año, la cual acarrea mas allá de los 25 m de profundidad el sobrante de las suspensiones hacia el este.

La importancia de esta contra-corriente, puede ser igualmente evidenciada a favor de observaciones obtenidas por fotografías satélite que permiten un vistazo instantáneo sobre las superficies marinas influenciadas por estos efluentes y sobre las variaciones en la concentración de estas materias en suspensión (Fig. 9).

Durante la estación húmeda (noviembre 1978), la extensa mancha turbia que corresponde a un fuerte caudal se aleja inicialmente en el eje de la desembocadura del río. Después a unas cinco (5) millas de la costa, la difusión de la mancha (menos concentrada) se orienta hacia el este. Esto corresponde al mismo tipo de circulación que se había observado durante la misión.

En estación seca (enero 1979), la mancha turbia de magnitud siempre importante, se observa igualmente en el eje de la desembocadura antes de desviarse nitidamente hacia el oeste, en ausencia de la contra-corriente cuya extensión no sobrepasa en esta época el golfo de Urabá. La corriente del Caribe y los vientos Alisios del noreste se presentan preponderantes durante esta época.

### C O N C L U S I O N E S

Los resultados de la misión CARACOLANTE, permiten evidenciar dos fenómenos hidrodinámicos específicos de las costas colombianas, que resultan de la extensión estacional de una contra-corriente, desplazando las masas de agua hacia el noreste, entre la costa y la corriente general del Caribe.

- Dos células ciclónicas de corrientes se desarrollan durante la estación húmeda: la primera fuera de las islas del Rosario y la segunda al oeste de la desembocadura del río Magdalena. Si a este nivel de estudio, la estabilidad de estas células a lo largo del tiempo parece poco probable, su extensión vertical, la dirección de su desplazamiento eventual y su influencia sobre la dispersión de las suspensiones quedan por precisar.

- Una deriva estacional de las aguas del Magdalena tanto en dirección del este (Estación lluviosa) como del oeste (Estación seca), es responsable de la dispersión de los efluentes en suspensión del río hacia mar afuera.

Se trata de fenómenos importantes que sería interesante profundizar con medidas hidrológicas y de corrientes adecuadas.

Proximamente, tendremos la posibilidad de estudiar nuevamente tránsitos sedimentarios y correlativamente localizar su desplazamiento final.



B I B L I O G R A F I A :

- ATLAS DE LA GUADELOUPE, 1982  
Collection des Atlas des Départements d'Outre Mer  
 Editions du CNRS, Paris, Vol. III, 36 pl., texte.
- DEFANT A., 1961  
 Physical Oceanography  
Pergamon Press, Oxford, vol. 1, 729 p, 340 fig., 154 tabl.
- FAJARDO MENDEZ G. E. 1975  
 Contribucão as estudo das condicoes oceanograficas das aguas adjacentes a costa Colombiana no mar Caribe.  
Thesis Grado, Sao Pablo, 53 p., 26 fig.
- FEBRES ORTEGA G., 1972  
 Isanosteric Analysis of the Eastern Caribbean Waters during winter  
Bol. inst. Oceanogr., Univ. Oriente, Cumaná, 11 (1) p.19 - 34.
- GORDON A. L. 1967  
 Circulation of the Caribbean sea  
J. Geophys. Res., Washington, 72 (24), p. 6207-6223.
- INSTRUCTIONS NAUTIQUES  
Service Hydrographique de la Marine, Paris  
 1973 série H. vol. I, 337 p., VII pl., tabl., fig.  
 1970 série H. vol. II, 375 p., VI pl., tabl.
- PELROTH I, 1968  
 Distribution of mass in the near surface waters of the Caribbean  
Prog. Rep. natn. Oceanogr, Washington, Data center, p. 72, n°V1-15.
- SCHWERDTFEGER W., 1976  
 World Survey of climatology  
Elsevier Scient. publishing company, Amsterdam, vol. 12, 532 p.
- SOUTHARD J. B. et ATANLEY D. J. 1976  
 Shelf break Processes and Sedimentation  
in Marmie Sediment Transport and Environmental Management,  
 ed. STANLEY D. J. et SWIFT J. P., ch. 16, p. 351-377.
- VERNETTE G. 1982  
 Estandarización de los criterios sedimentologicos para la cartografía de la plataforma continental.  
Bol. Cient. CIOH, Cartagena, 4, p. 3-13
- WORTHINGTON L.V, 1971  
 Water circulation in the Carribbean sea and its relationship to North Atlantic Circulation.  
Coloquio sobre investigaciones y recursos del mar Caribe y regiones adjacentes, UNESCO, Paris, p. 181-191.
- WUST G., 1964  
 Stratification and circulation in the Antillean - Caribbean Basins. Spreadin and mixing of the water types with an Oceanographic.  
Atlas, Colombia, University Press, New York, 201p.