

PATRONES DE DERIVA DE TRAZADORES LAGRANGEANOS EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS

DRIFT PATTERNS OF LAGRANGIAN TRACERS IN TODOS SANTOS BAY

Luis G. Alvarez-Sánchez
Rafael Hernández-Walls
Reginaldo Durazo-Arvizu

Departamento de Oceanografía
Centro de Investigación Científica
y Educación Superior de Ensenada
Apdo. Postal 2732
Ensenada, B.C., México

Alvarez-Sánchez, L.G., Hernández-Walls, R. y Durazo-Arvizu, R. Patrones de deriva de trazadores lagrangeanos en la Bahía de Todos Santos. *Drift Patterns of Lagrangian Tracers in Todos Santos Bay. Ciencias Marinas* 14(4): 135-162, 1988.

RESUMEN

Se describen los resultados de 30 experimentos con cuerpos de deriva superficiales efectuados en la Bahía de Todos Santos, Baja California, entre 1980 y 1986. Se obtuvieron valores de la velocidad lagrangeana de la corriente superficial, de la constancia de dirección de las trayectorias (Persistencia) y de la razón de separación relativa de dichos trazadores (Difusividad). Estas características se describen en dos épocas del año: de marzo a agosto, cuando las corrientes fueron más intensas ($\sim 15 \text{ cm s}^{-1}$) y la persistencia presentó valores más altos (> 0.65); y entre septiembre y enero, cuando se observaron corrientes débiles y variables ($\sim 5 \text{ cm s}^{-1}$) con valores de persistencia bajos (< 0.65). El promedio de todas las observaciones muestra corrientes costeras bien definidas entre marzo y agosto las cuales siguen el contorno de la costa y sugieren una convergencia en la región de la boca del Estero de Punta Banda. Los cálculos de difusividad produjeron coeficientes muy bajos, asociados con valores altos de persistencia.

ABSTRACT

Results from 30 experiments with surface drifters, conducted between 1980 and 1986 in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico, are described. Lagrangian velocity of surface currents, trajectory direction consistency (Persistence), and relative drogue separation rates (Diffusivity) are described for two times of the year: from March to August, when currents were more intense ($\sim 15 \text{ cm s}^{-1}$) and persistence was higher (> 0.65); and from September to January, when weak ($\sim 5 \text{ cm s}^{-1}$), low persistence (< 0.65) currents were measured. The mean pattern of all the observations shows well defined alongshore currents from March to August, and suggests a convergence in the region near the mouth of Estero de Punta Banda. Very low diffusivity coefficients were found, related to high persistence values.

INTRODUCCION

La Bahía Todos Santos está situada sobre la costa noroccidental de la Península

INTRODUCTION

Todos Santos Bay is located on the northwestern coast of the Baja California

de Baja California, a los 31° 50'N y tiene una configuración romboidal cuyos lados miden cerca de 15km (Fig. 1). Dos de sus lados opuestos están orientados de Noroeste a Sureste, otro forma la costa interior que se orienta aproximadamente de Norte a Sur, y el último es la entrada de la Bahía que comunica con mar abierto. Las Islas Todos Santos dividen la entrada formando dos bocas: una amplia, de 12km de ancho con profundidades menores de 50m, y otra de sólo 5km, pero con profundidades hasta de 400m en el cañón submarino de Todos Santos. Cerca del 80% de la superficie de la Bahía tiene profundidades menores de 50m y únicamente las isobatas menores de 20m siguen aproximadamente el contorno de la costa.

En la región norte de la Bahía, Alvarez-Sánchez (1971) observó que el movimiento de la capa superficial fue principalmente hacia el sureste, en forma de una corriente paralela a la costa, entrando a la Bahía en la misma dirección que el viento. En algunas ocasiones se observaron corrientes en sentido contrario, es decir, hacia el oeste y noroeste. Además, se detectaron variaciones de la velocidad en intervalos de tiempo similares o menores que el período de marea.

Con datos de temperatura, salinidad y densidad, se obtuvo una descripción más general de la corriente, sin el efecto de las variaciones a corto plazo (Argote-Espinoza, *et al.*, 1975); en dicho trabajo se indica que en la región con profundidad mayor de 30 metros y con viento del Norte, la circulación superficial involucra dos giros, uno anticiclónico en la parte norte y otro ciclónico en la parte sur de la Bahía. Esta descripción sugiere la posibilidad de que en la parte sur el movimiento del agua superficial sea hacia el interior, formando un flujo paralelo a la costa de Punta Banda, para cambiar luego hacia el norte y salir hacia el oeste por la parte media de la Bahía.

Ocampo-Torres (1983), reportó datos de un correntímetro instalado a 10m de profundidad, en el sur de la Bahía, entre febrero y junio de 1982. Los datos indican una rapidez muy variable, con tendencia a agruparse entre 1 y 15cm s⁻¹. La dirección, también variable, presenta dos modos: uno, el predominante, entre 50° y 70° y el otro entre 270° y 300°.

Peninsula, south of 31° 50'N, and has a rhomboidal shape with sides measuring about 15km (Fig. 1). Two of its sides are oriented from Northwest to Southeast, another side forms the inner shore, which is oriented roughly North-South, and the last side is the Bay entrance. About 80% of the Bay area is less than 50m deep. The Todos Santos Islands divide the entrance in two sections: one is 12km wide, with depth less than 50m, and the other is only 5km wide, with depths down to 400m in the Todos Santos submarine canyon. Only the isobaths less than 20m follow roughly the shoreline contour.

At the north region of the Bay, Alvarez-Sánchez (1971) observed the surface waters moving predominantly to the southeast, into the Bay, following the coastline, in the same direction as the wind. However, currents in the opposite direction were observed as well. Small scale variations were also detected, within time intervals similar or smaller than that of the tidal period.

Argote-Espinoza *et al.* (1975) used temperature, salinity and density data to obtain a more general description of the currents, without the effect of very short-term variations. They state that under North winds, the surface circulation involves two gyres, one anticyclonic in the north of the Bay and the other cyclonic in the south. This work suggested for the first time the possibility that in the south, the water could move into the Bay following the Punta Banda coast, to then change to the north and go out by the middle of the Bay.

Ocampo-Torres (1983) reported data measured in the south of the Bay, with a current meter placed at a depth of 10m, from February to June, 1982. The data revealed a variable speed, with a tendency to grouping between 1 and 15cm s⁻¹. Direction, also variable, had two modes: from 50° to 70° and from 270° to 300°, with a clear predominance by the first.

Pérez-Higuera and Chee-Barragán (1984) reported likely circulation patterns by studying the texture of near-shore sediments. The clearest patterns were identified within the surf zone and show a southward circula-

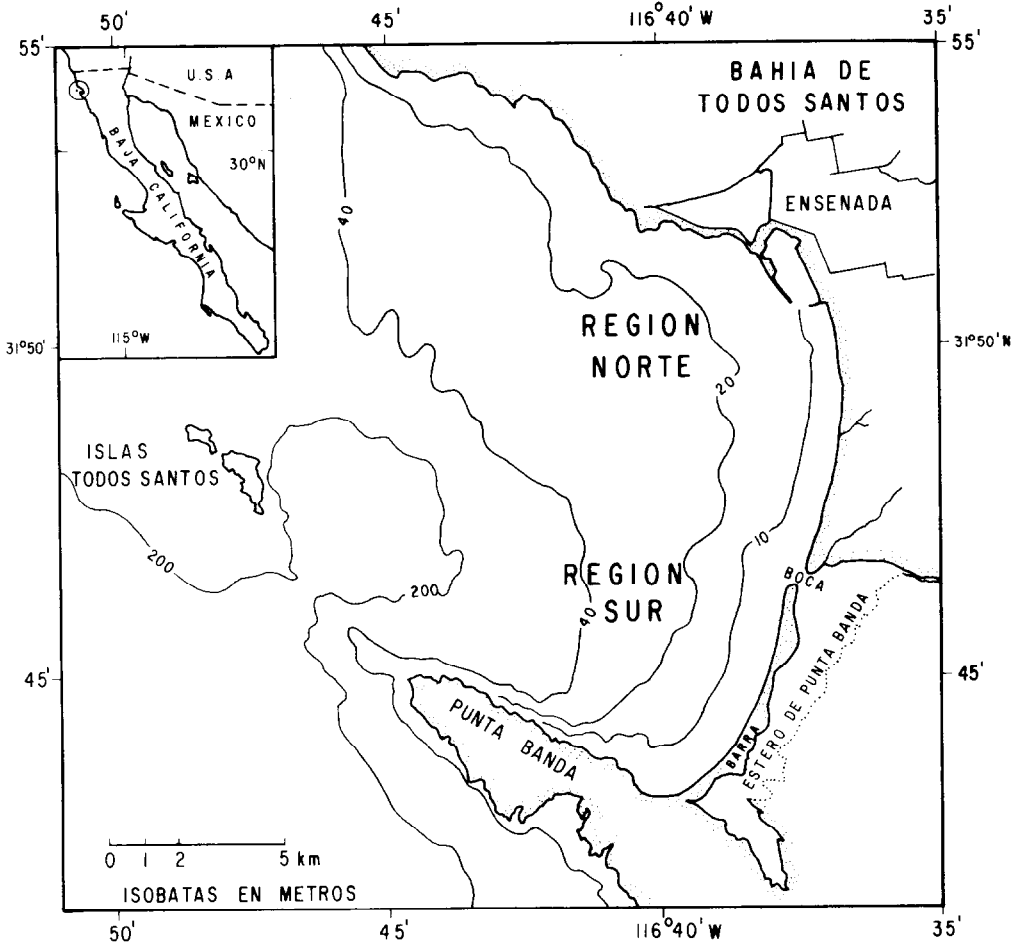


Figura 1. Bahía de Todos Santos y las dos regiones en que se dividió el área de estudio.

Figure 1. Todos Santos Bay and the two regions in which the study area was divided.

Pérez-Higuera y Chee-Barragán (1984) encontraron posibles patrones de circulación mediante un estudio de textura de sedimentos costeros de Bahía Todos Santos. Los patrones más claros se identificaron dentro de la zona de rompiente e indican circulación hacia el Sur en las playas del norte de la Bahía y hacia el Norte en las playas del sur, frente a la barra del Estero de Punta Banda. Fuera de la zona de rompiente no se determinó un esquema confiable del transporte.

tion in the beaches of the north of the Bay, and a northward circulation in the beaches of the south, in front of the Estero de Punta Banda sandbar. Seaward of the surf zone a reliable transport pattern was not determined.

Hernández-Walls (1986) studied the wind-induced coastal currents in the Bay using a linear, stationary analytical model. Assuming a typical 6 m s^{-1} northwest sea-breeze, circulation trends were determined

Hernández-Walls (1986) estudió la corriente inducida por el viento en las costas de la Bahía mediante un modelo analítico estacionario y lineal. Al aplicar un viento típico de la brisa marina a 6 m s^{-1} , se determinaron tendencias de circulación sobre distintos segmentos de costa, estudiados en forma independiente. Aunque las condiciones del modelo no se cumplen totalmente en la Bahía, se encontró cierta coincidencia con las observaciones experimentales, al menos en lo relativo a tendencias generales de la corriente superficial costera.

Si bien las observaciones directas de corrientes no han sido suficientes para establecer un esquema general de la circulación, éstas muestran magnitudes típicas de velocidad y dan idea de la variación que puede esperarse. Como se indicó al principio, los únicos estudios que proponen un esquema general, se basan en evidencia indirecta y por lo tanto representan un punto de partida para tratar de verificarlos con mediciones más extensas.

En el presente estudio se resumen observaciones del movimiento de trazadores lagrangeanos hechas en la Bahía de Todos Santos entre 1980 y 1986, en distancias típicas de 10km y por tiempos cercanos a un día (Tabla I). Con dichas observaciones se pretende describir características generales de la circulación superficial de la Bahía.

OBSERVACIONES Y TRATAMIENTO DE DATOS

Las observaciones se hicieron registrando las posiciones sucesivas de grupos de tres a ocho flotadores a la deriva, mediante un radar de navegación instalado en la costa. La posición de cada flotador se obtuvo en coordenadas polares a intervalos de 13 minutos, aproximadamente. El indicador digital de distancia del radar tiene una resolución de 18.5m; sin embargo, las pruebas de localización indicaron una precisión mejor (la desviación estándar de las lecturas fue menor de 10m, en distancias hasta de 5.5km). Para el propósito de este trabajo se supone que el error de posición de los cuerpos de deriva no

separately for different sections of the coast. Although the model conditions are not completely satisfied, some agreement is found between his results and the observations reported here, at least in connection with general trends of the surface alongshore current.

Earlier current measurements were not enough to present a general circulation pattern, but revealed typical speeds and provided some evidence of variations to be expected. The only general schemes proposed are based on indirect methods, therefore, more extensive measurements are required to properly verify them.

The present study summarizes the movement patterns of lagrangian tracers observed between 1980 and 1986 (Table I), and attempts to describe overall features of the surface circulation.

OBSERVATIONS AND DATA REDUCTION

The observations were made by direct reading of the sequential positions of three to eight drifting drogues, using a shore based navigation radar. The position of each drogue was recorded in polar coordinates at approximately 15 minute intervals. The digital distance indicator has a resolution of 18.5m; however, positioning tests showed better precision (the standard deviation of the readings was less than 10m for distances up to 5.5km). In this work, it is assumed that the positioning error of the drift buoys does not exceed $\pm 20\text{m}$, since drogues were tracked as far as 10km.

The drogues were surface drift crosses, with a radar reflector on top of a 2m mast. The submerged portion of the drift buoy had an effective drag area of 1.2m^2 , to integrate the current over the upper meter of the water column. The ratio of the exposed area above the surface, to the submerged area of the drift buoy was approximately 1 to 11.

The wind drag over the exposed portion was evaluated by measuring the displacement of complete drift buoys released together with others without area exposed to the wind. Three experiments under a 5 to 6 m s^{-1} steady

Tabla I. Distribución de las observaciones con trazadores lagrangeanos superficiales en la Bahía de Todos Santos, B.C.

Table I. Program of observations with lagrangian surface tracers in Todos Santos Bay, B.C.

Año	Mes	Días
1980	Marzo	5, 6
1980	Junio	29
1980	Julio	2, 16, 17, 28
1980	Octubre	20, 21, 22
1981	Enero	23, 24, 25, 26
1981	Mayo	25, 26, 27
1981	Junio	14, 15, 16
1983	Agosto	20
1983	Septiembre	20, 22
1983	Octubre	20
1984	Marzo	7
1985	Octubre	23, 24
1986	Noviembre	7, 12

excede de $\pm 20\text{m}$, atendiendo a que en algunos experimentos se localizaron flotadores a distancias hasta de 10km.

Los flotadores empleados fueron cruces de deriva superficiales, con un reflector de radar colocado sobre un mástil de 2m de alto para su localización por radar. La porción sumergida del flotador tenía una área de arrastre efectiva de 1.2m^2 con lo cual se integraba la corriente en el metro superior de la columna de agua. La razón entre el área expuesta sobre la superficie y el área sumergida del cuerpo de deriva fue aproximadamente de 1 a 11. Alvarez-Sánchez, *et al.* (1982) presentan una descripción más detallada del método de observación.

El arrastre del viento sobre la porción expuesta se evaluó experimentalmente midiendo el desplazamiento de cuerpos de deriva completos colocados al lado de otros sin área expuesta al viento. Las velocidades observadas en tres experimentos indican que los flotadores con área expuesta tuvieron una componente adicional de 2.6 a 2.8 cm s^{-1} , en la misma dirección que el viento casi estacionario de $5\text{ a }6\text{ m s}^{-1}$. Estos resultados son

wind show that the drogues with exposed area had an additional $2.6\text{ to }2.8\text{ cm s}^{-1}$ velocity component, in the direction of the wind. These results are similar to those of Murray (1975), who found an additional 3 cm s^{-1} velocity induced by a 5 m s^{-1} wind acting on drogues with a 1 to 8 exposed to submerged area ratio.

The sequential positions of each drogue were transformed to Cartesian coordinates and interpolated linearly in time to obtain the trajectories with positions at 15 minutes intervals. The current velocity was computed as the drogue displacement divided by 15 minutes. With this sampling interval, the positioning error produces a $\pm 2\text{ cm s}^{-1}$ error in the current speed computation. In order to determine the velocity based upon the positions of the group centroid, four or more drogues were followed simultaneously in most experiments. If uniform flow is assumed over a spatial scale similar to the size of the drogue group, then the error can be reduced to about $\pm 1\text{ cm s}^{-1}$.

A quantitative comparison between trajectories configuration can be made by using a persistency index, which is a measure of the

similares a los que reportó Murray (1975), quien determinó que los cuerpos de deriva con razón de 1 a 8, tuvieron una velocidad adicional de 3cm s^{-1} , por efecto de un viento de 5m s^{-1} .

Las posiciones sucesivas de cada flotador se transformaron a coordenadas cartesianas y se interpolaron linealmente en tiempo para obtener las trayectorias con posiciones a intervalos de 15 minutos. La velocidad de la corriente se calculó como el cociente del espacio recorrido entre el intervalo de tiempo de 15 minutos. Con este intervalo de muestreo, el error de posición de un flotador produce un error de $\pm 2\text{cm s}^{-1}$ en el cálculo de rapidez. En la mayoría de los experimentos se siguieron simultáneamente cuatro o más flotadores para determinar la velocidad mediante las posiciones sucesivas del centroide del grupo. En este caso, si suponemos en flujo uniforme en escala espacial similar a la del grupo de flotadores, el error de la rapidez se reduce a $\pm 1\text{cm s}^{-1}$.

Con el fin de comparar cuantitativamente los cambios de orientación de las trayectorias se calculó un índice de persistencia para cada una. Este indica la constancia de dirección de la corriente en espacio y tiempo. La persistencia P se define como (Panofsky and Brier, 1968):

$$P = \frac{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{\frac{1}{2}}}{(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}$$

donde u y v son, en nuestro caso, las componentes lagrangeanas de la velocidad calculada cada 15 minutos, y la barra indica promedio sobre toda la trayectoria. En vista de que las trayectorias fueron de distinta duración, la persistencia se calculó tomando únicamente la mínima duración común, que corresponde a las primeras 8 horas de cada experimento. Los autores no encontraron antecedentes sobre el uso de la persistencia en mediciones lagrangeanas. Como punto de referencia se tiene que dicha persistencia puede tomar valores entre 0 y 1; el primer caso corresponde a una trayectoria cerrada y el segundo caso a una trayectoria recta.

consistency of the current direction in space and time. The persistence P is defined as (Panofsky and Brier, 1968):

$$P = \frac{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{\frac{1}{2}}}{(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}}$$

where u and v are, in this case, the lagrangian components of the velocity over the 15 minute intervals, and the bar indicates average over each trajectory. Since the trajectories were not of the same duration, the persistence was computed for the minimal common duration, namely, the first 8 hours of each experiment.

The persistence can assume values from 0 to 1; the first case corresponds to a closed path, and the second, to a straight one. The authors did not find any previous reports on the use of the persistence index for lagrangian measurements.

In the experiments with groups of five or more drogues, the relative positions were determined relative to the centroid, in order to analyze the temporal behavior of the group in a reference frame traveling with the current. The new coordinates represent deviations from the centroid and can be related to the apparent diffusion produced by both, the horizontal velocity gradients and turbulence of scales smaller than the dimension of the group.

Diffusion was expressed as an apparent diffusivity coefficient K_r , given by the formula:

$$K_r = \frac{1}{2} \frac{ds_r^2}{dt}$$

where s_r^2 is the variance of the drogue positions relative to the centroid and t is time. This formula has been used before in studies of particle separation in the ocean (e.g. Okubo, 1986; Csanady, 1973).

Besides the variance s_r^2 , which assumes a radially symmetric distribution of the

En los experimentos con grupos de cinco o más flotadores se determinó la posición relativa de cada uno con respecto al centroide, a fin de analizar el comportamiento temporal del grupo en un sistema de referencia que se desplaza con la corriente. Las nuevas coordenadas representan desviaciones de posición con respecto a dicho centroide y pueden relacionarse con la difusión aparente producida por los gradientes horizontales de velocidad y la turbulencia de escala menor que la dimensión del grupo de flotadores.

La difusión se calculó en forma de un coeficiente de difusividad aparente K_r , dado por la fórmula:

$$K_r = \frac{1}{2} \frac{ds_r^2}{dt}$$

donde s_r^2 es la varianza de la posición del grupo de flotadores con respecto a su centroide y t es el tiempo. Esta fórmula se ha aplicado en trabajos sobre separación de partículas en el océano (e.g. Okubo, 1968; Csanady, 1973). Además de calcular la varianza total s^2 , que supone un grupo de flotadores con distribución radial simétrica, se calcularon las componentes s_e^2 y s_n^2 , en direcciones Este-Oeste y Norte-Sur, respectivamente.

RESULTADOS

En la mayoría de las trayectorias se observa que la dirección del flujo estuvo influenciado por la morfología costera; sin embargo, se detectaron desplazamientos de flotadores sin relación aparente con la orientación de la costa. En algunos casos la dirección variable de la corriente produjo trayectorias irregulares, comparadas con otras casi rectas o con curvatura pequeña, relacionadas con una corriente mejor definida.

La descripción de las observaciones se dividió en dos épocas del año: entre marzo y agosto, cuando prevalecen vientos más fuertes y más estables, y entre septiembre y enero,

drogues, the components s_e^2 and s_n^2 , in the East-West and North-South direction were also computed.

RESULTS

In general, the trajectories indicate that the flow was affected by the coastline proximity; however, small scale displacements were also detected, with no apparent relation to the proximity of the boundaries. In some cases, currents with variable direction produced irregular trajectories compared to others with almost straight or slightly curved paths.

The observations are grouped as follows: from March to August, when steadier and faster winds prevail, and from September to January, when winds are slower and more variable. In addition, the results are described for the two regions (north and south) shown in Figure 1.

1. Observations from March to August

a) North Region

There are observations from six experiments: three were made in July, 1981, two in August, 1983 and one in March, 1984. All six were made in daylight hours and lasted less than five hours, under predominant 4 to 6m s^{-1} West and Northwest winds (blowing "from" West and Northwest). Since the trajectories had a nearly constant direction, the persistence values were higher than 0.90. The results of these experiments are similar to that shown in Figure 2a, for August 20, 1983.

Dominant surface currents were to the southeast, towards the inner coast of the Bay. The south component was observed to increase in waters shallower than about 10 meters, nearly becoming an alongshore flow. The average speed was 10 to 14cm s^{-1} in five experiments and 30cm s^{-1} in August 20, under an almost steady 5 to 6m s^{-1} Northwest wind that lasted for about 10 hours. Standard deviations were smaller than half of the corresponding average values, and the fast currents observed in these experiments were associated to high persistence values.

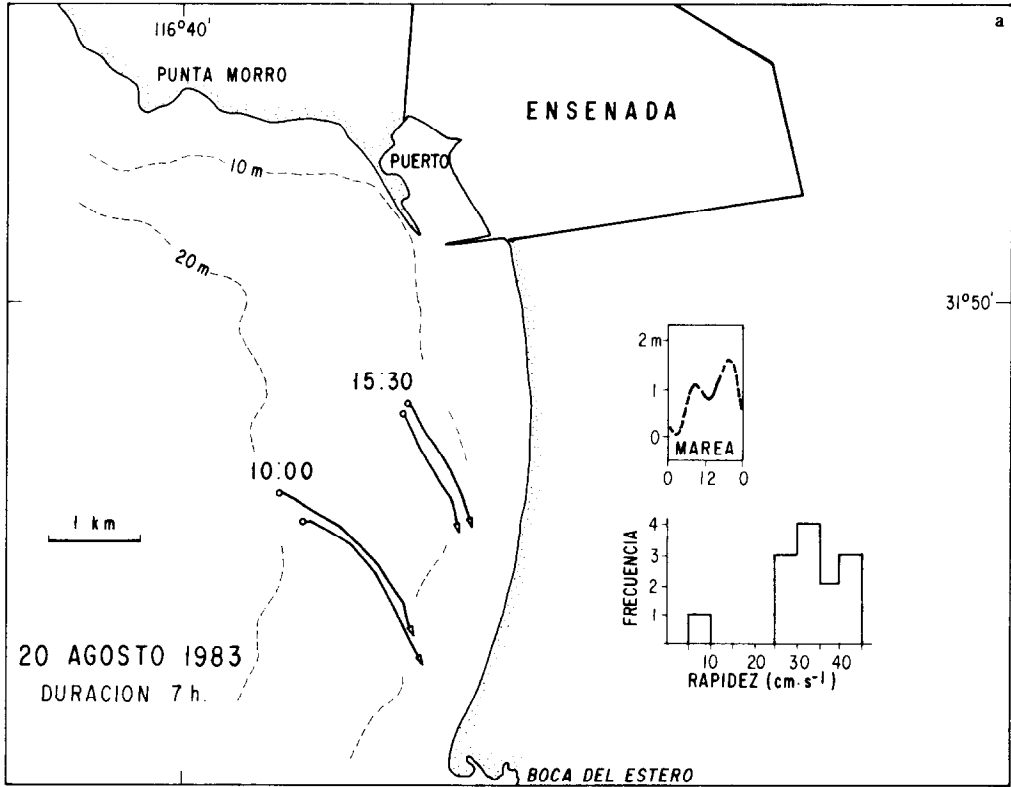


Figura 2. Trayectorias de cuerpos de deriva e histogramas de rapidez de la corriente superficial promediada en intervalos de 15 minutos. La frecuencia indica el número de intervalos. (a) Región norte, el 20 de agosto de 1983, con vientos predominantes del Noroeste, de 5 a 6 m s⁻¹. (b) Región sur, el 16 de julio de 1980, con vientos predominantes del Oeste y Suroeste, a 3 m s⁻¹. (c) Región norte, el 20 de septiembre y 20 de octubre de 1983, con vientos del Sur y Suroeste a 5 m s⁻¹, y del Oeste a 3 m s⁻¹, respectivamente. (d) Región sur, del 24 al 26 de enero de 1981, con vientos variables, a menos de 1 m s⁻¹.

Figure 2. Drogue trajectories and histograms of the surface current speed averaged over 15 minute intervals. Frequency indicates the number of time intervals. (a) North region, August 20, 1983. Predominant winds from the north, at 5 to 6 m s⁻¹. (b) South region, July 16, 1980. Predominant winds from the west and southwest, at 5 m s⁻¹, and from the west at 3 m s⁻¹, respectively. (d) South region, January 24 to 26, 1981. Winds were variable, less than 1 m s⁻¹.

cuando los vientos son más lentos y variables. Además, los resultados se describen dentro de cada una de las dos regiones (Norte y Sur) que se indican en la Figura 1.

1. Observaciones entre Marzo y Agosto

a) Región Norte

En esta región se tienen observaciones de seis experimentos: tres en julio de 1981, dos en agosto de 1983 y uno en marzo de 1984.

b) South Region

Ten deployments were made in March, May, June and July, 1981. Regular trajectories were observed in seven experiments with persistence values higher than 0.70. The three remaining, two in May and one in March, were experiments made under variable or less than 1 m s⁻¹ winds and had low persistence, less than 0.40. In general, surface Southeast flow entered the Bay along the coast of Punta

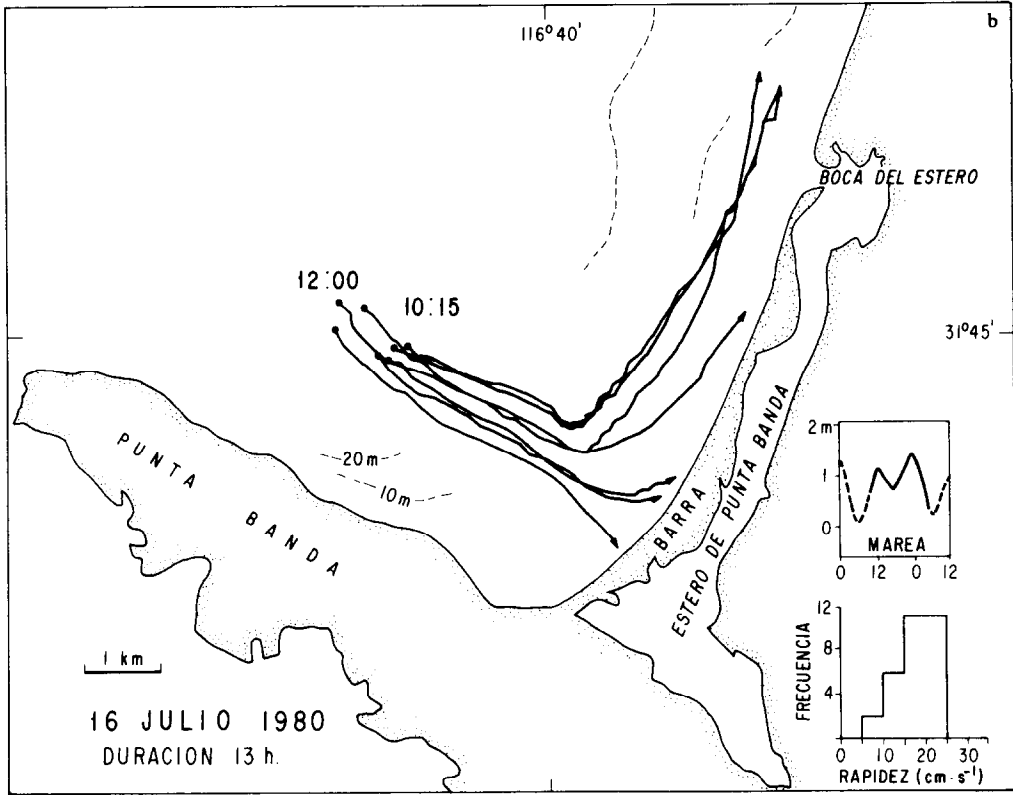


Figura 2 - b

Todos se realizaron durante el día, con vientos predominantes del Oeste y Noroeste, de 4 a 6m s⁻¹. La duración de los experimentos fue menor de 5 horas y las trayectorias tuvieron una persistencia mayor de 0.90, como resultado de una notable constancia en dirección. La Figura 2a muestra las observaciones del 20 de agosto, representativas del resto de los experimentos.

Predominó la corriente superficial al Sureste, hacia las playas interiores de la Bahía. En aguas someras, en las proximidades de la isobata de 10m, se observó un incremento de la componente sur para formar una corriente casi paralela a la costa. Los promedios de rapidez fueron de 10 a 14cm s⁻¹ en cinco experimentos y de 30cm s⁻¹ en el del día 20 de agosto, bajo condiciones de viento Noroeste (casi estacionario por 10 horas), con rapidez de 5 a 6m s⁻¹. En los seis experimentos, la rapidez de la corriente tuvo una desviación es-

Banda, turning North in shallow waters less than 10m deep. The flow continued north as a current at least 2km wide, along the Estero de Punta Banda sandbar. In contrast, the current along Punta Banda was observed at least twice as wide. The relevant features of the flow are seen in the July 16 experiment, shown in Figure 2b.

Maximum speed values were measured in these months, reaching 37cm s⁻¹, and 15 to 25cm s⁻¹ as the most frequent. Little or no development of the Estero sandbar alongshore current was observed in three experiments when the drogues movement was onshore, reaching the surf zone.

The observation in March was started under a 3 to 5 m s⁻¹ wind from the West. After about 5 hours a winter storm induced a rapid wind direction change and shifted to blow from the Southeast for the rest of the

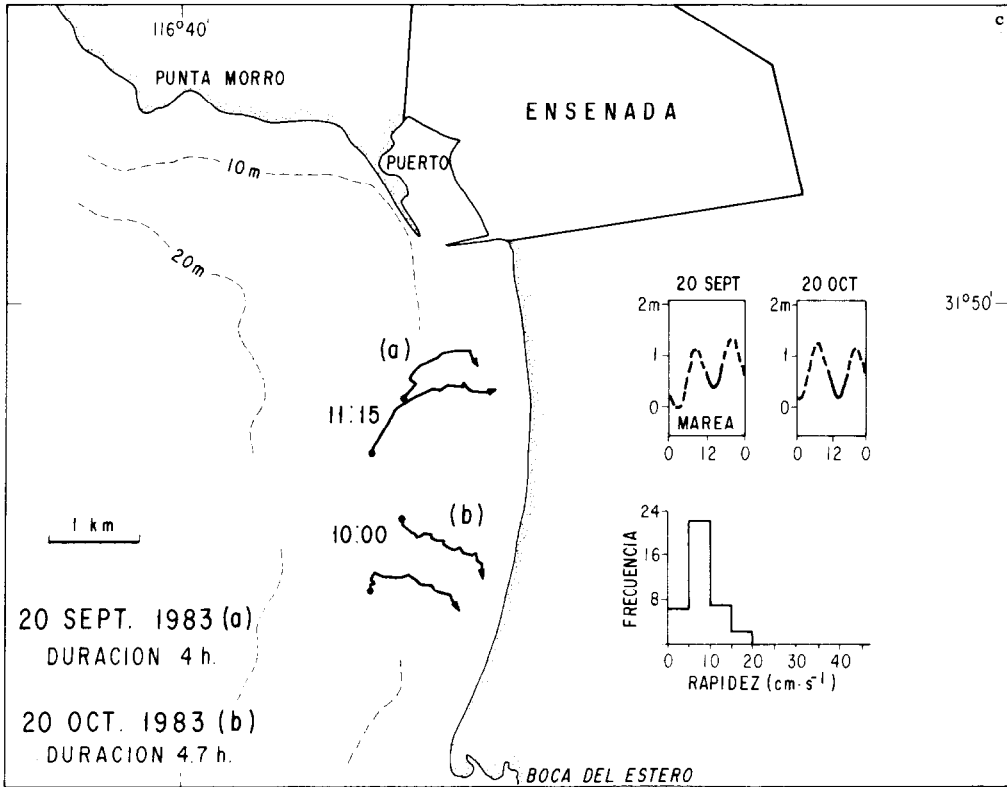


Figura 2 - c

tándar menor que la mitad de los promedios. En este caso, a valores altos de rapidez corresponden valores altos de persistencia.

b) Región Sur

Se hicieron diez experimentos distribuidos en los meses de marzo, mayo, junio y julio de 1981. En general se observaron trayectorias regulares, con persistencia mayor que 0.70, excepto en dos muestreos de mayo y uno de marzo, cuyas trayectorias mostraron valores de persistencia muy bajos, (<0.40), en condiciones de viento con rapidez menor de 1 m s^{-1} , o con dirección variable. Se observó un flujo superficial predominante entrando a la Bahía con dirección Sureste, paralelo a la costa de Punta Banda, que cambió al Norte como una corriente casi paralela a la barra del Estero de Punta Banda en una franja de unos 2 km de ancho. En cambio, frente a Punta Banda, la franja resultó al menos dos veces

observation. The 1 to 3 m s^{-1} Southeast wind induced a surface flow reversal from an Eastward to a Northward flowing current, as shown in Figure 3. At the end of this experiment the surface current was 20 to 30 cm s^{-1} , increasing to over 35 cm s^{-1} under a 5 m s^{-1} Southeast wind.

2. Observations from September to January

a) North Region

Five observations were made as follows: two in September and one in October, 1983; one in October, 1985, and one in November, 1986. The first two, lasting less than 4 hours, indicate that the flow was to the Northeast in one instance, and to the West in another. The Northeast current was measured under a 5 m s^{-1} South-Southwest wind, and the West flowing current was observed under calm conditions. The Northeast current could have

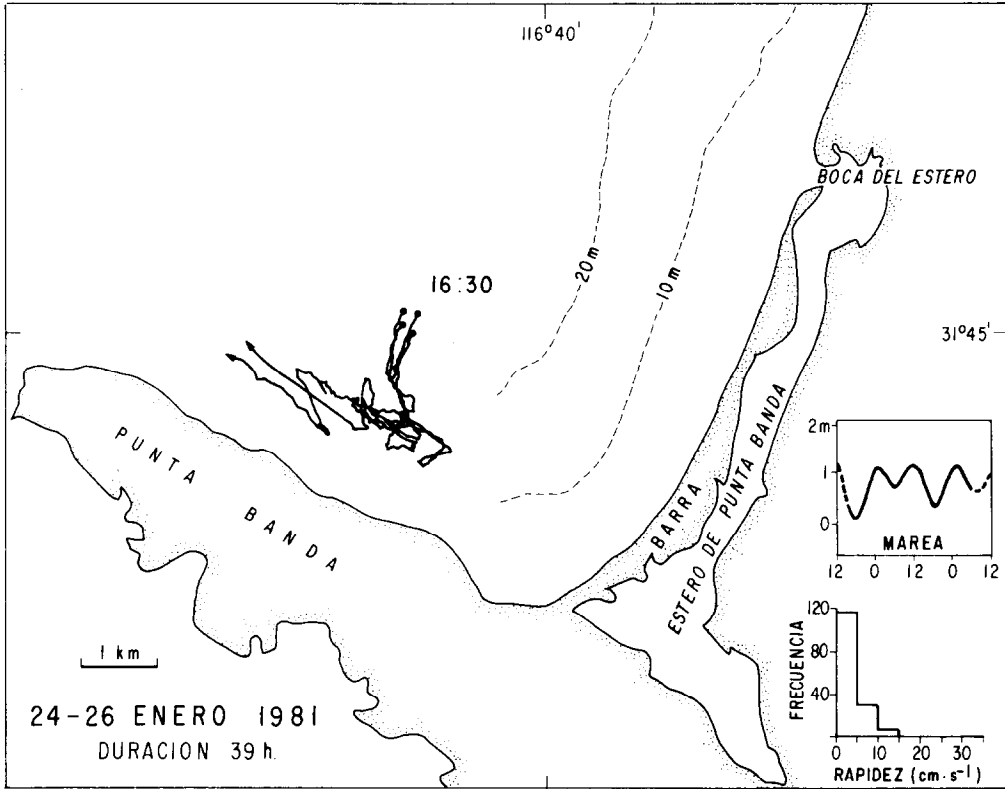


Figura 2 - d

más ancha. Las características relevantes del flujo se muestran en el experimento del 16 de julio (Fig. 2b).

Durante las observaciones de estos meses se presentaron los valores más altos de rapidez, con máximo de 37 cm s^{-1} y de 15 a 25 cm s^{-1} como más frecuentes. En tres experimentos se observó una convergencia de las trayectorias hacia la barra del Estero, hasta la zona de rompientes, lo cual indica que hubo una corriente poco desarrollada a lo largo de dicha barra.

El muestreo de marzo coincidió con vientos del Oeste, de 3 a 5 m s^{-1} , durante las primeras 5 horas. El arribo de una tormenta de invierno produjo un cambio rápido en el viento, el cual comenzó a soplar del Sureste con rapidez de 1 a 3 m s^{-1} . La corriente superficial, que inicialmente se observó hacia el Este, prácticamente invirtió su sentido de

been induced by the winds from the South-Southwest, but there is no evidence of the possible origin of the Westward current. These flow directions are different from those measured between March and August, when Southeast current dominated. The highly variable speeds measured in these experiments yielded an average of about 10 cm s^{-1} and similar value for the standard deviation.

The remaining three short-lasting experiments were carried under nearly steady west winds that could have induced the observed currents to the Southeast, with 5 to 10 cm s^{-1} average speeds. Flow direction is similar to that prevailing in the March to August measurements; average speeds, however, are smaller.

Persistence was not computed because of the short duration of these experiments; nevertheless, trajectories indicate only slight

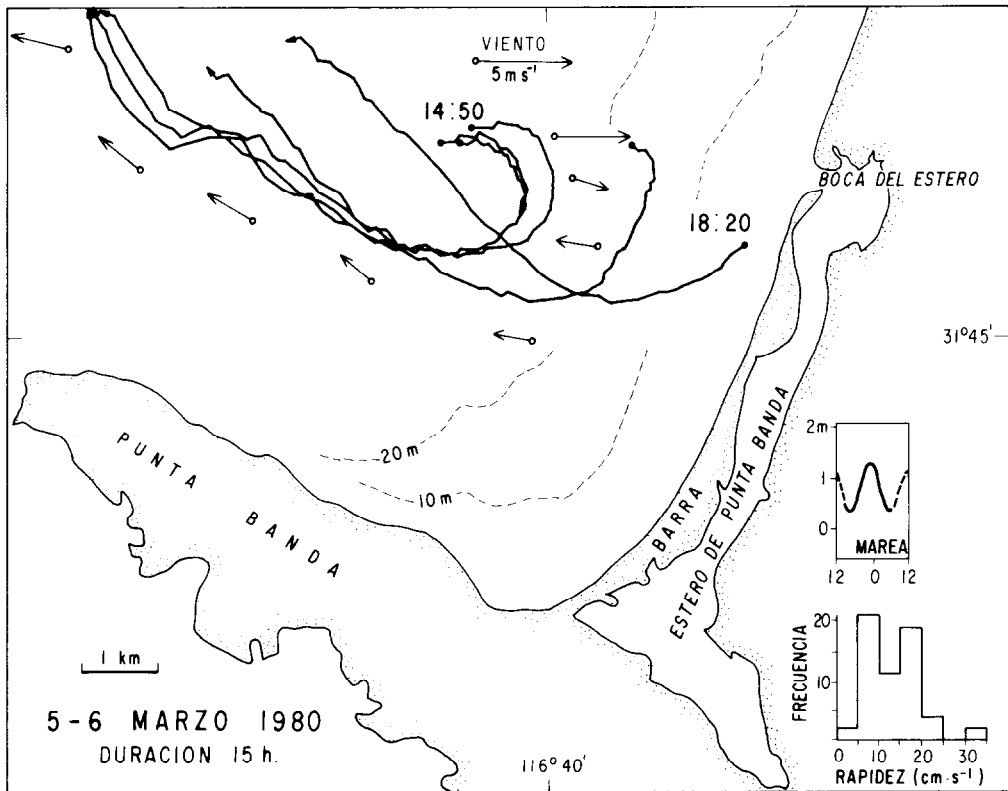


Figura 3. Trayectorias de cuerpos de deriva, el 5 y 6 de marzo de 1980, durante el paso de un frente de invierno. El viento medido en tierra se indica junto a las trayectorias, a intervalos de 2 horas.

Figure 3. Drogue trajectories for March 5 and 6, 1980, during the arrival of a winter front. The wind measured on land is indicated by arrows at 2 hour intervals.

flujo y se estableció hacia el Noroeste, como se indica en la Figura 3. Hacia el final del experimento la corriente superficial era de 20 a 30 cm s⁻¹, aumentando a más de 35 cm s⁻¹, bajo la influencia de un viento del Sureste, a 5 m s⁻¹.

2. Observaciones entre Septiembre y Enero

a) Región Norte

En esta región se hicieron observaciones en dos días de septiembre y uno de octubre de 1983 (Fig. 2c); dos en octubre de 1985 y una en noviembre de 1986. Los dos experimentos de septiembre, con duración menor de 4 horas,

direction changes. Figure 2c shows the measurements of September 20, under South-Southwest winds, and of October 20, under West winds.

b) South Region

Surface currents were, in general, more variable and slower than those observed in March to August, as indicated by data from nine observations made in October and January, 1980. Eight experiments lasted more than 8 hours, four having low persistence between 0.37 and 0.68, under 1 m s⁻¹ or weaker winds. The remaining trajectories had persistence between 0.77 and 0.90, and were

muestran una corriente superficial hacia el Noreste en un caso y hacia el Oeste en otro. La rapidez fue muy variable, con promedio cercano a 10cm s^{-1} y desviación estándar similar. Estas direcciones de movimiento son diferentes a las observadas entre marzo y agosto, que fueron predominantemente hacia el Sureste. La corriente al Noroeste se observó cuando el viento fue del Sur-Suroeste a 5m s^{-1} , y la corriente al Oeste se presentó en ausencia de viento. Si bien, la corriente al Noroeste puede atribuirse al viento de Sur-Sureste, no es posible especular sobre el origen del flujo al Oeste, hacia afuera de la Bahía, observado en condiciones de calma.

Las tres observaciones restantes fueron también de corta duración, pero bajo condiciones de vientos estables del Oeste, lo que posiblemente determinó que la corriente superficial fuera hacia el Sureste. Los promedios de rapidez en estos últimos tres casos resultaron entre 5 y 10cm s^{-1} . La dirección del flujo fue similar a la que predominó en los muestreos hechos entre marzo y agosto, pero con promedios de rapidez menores.

Las trayectorias muestran poco cambio en dirección, sin embargo, no se calcularon valores de persistencia en virtud de la corta duración de los experimentos. La Figura 2c muestra el experimento del 20 de septiembre, con viento Sur-Suroeste, y el del 20 de octubre, con viento del Oeste.

b) Región Sur

Las nueve observaciones realizadas en octubre y enero de 1980 indican que la corriente superficial fue, en promedio, más variable y más lenta que en los meses descritos anteriormente. De las ocho trayectorias con más de 8 horas de duración, cuatro muestran persistencia entre 0.37 y 0.68 coincidiendo con viento de 1m s^{-1} o menor. Las trayectorias restantes tienen persistencia entre 0.77 y 0.90 y se desarrollaron con vientos de 3 a 6m s^{-1} . El valor máximo de rapidez fue 25cm s^{-1} pero, en general, ésta fue menor de 15cm s^{-1} .

Se observó una condición excepcional en la que el grupo de flotadores permaneció durante 40 horas dentro de un radio de 2km

observado under 3 to 6m s^{-1} winds. An outstanding 25cm s^{-1} speed was computed, however, the most frequent values were less than 15cm s^{-1} .

On January 24, four drogues remained within a 2km radius for almost 40 hours (Fig. 2d). This uncommon condition was the result of a 4cm s^{-1} average current speed and a 40 hour low persistence value of 0.24.

3. General Pattern

The overall trend of the 8 hour persistence indicates that predominant values are higher in March to August, and lower in January to September. However, a common average persistence of about 0.65 is the result of some outstanding values in each period. Persistence higher than 0.65 was qualitatively related to steady, 2m s^{-1} or faster winds. Under variable, less than 1m s^{-1} winds, persistence varied from 0.30 to 0.60. In Figure 4 the 8 hour persistence of each trajectory is plotted against its corresponding average speed. The general trend indicates that persistence approaches asymptotically to 1 as the current speed increases. Persistence higher than 0.70 occurs at speeds over 10cm s^{-1} , whereas slower currents have a wider range, from 0.10 to 0.93.

A direct qualitative relation between persistence, current velocity and wind velocity was observed far from the coast (at more than 1km), where boundaries seem to have little effect on the surface current. The dominant effect of the wind over the drogue trajectories can be inferred from three experiments made 2km away from the coast. Figures 5a, b,c, show the east-west component of both drogue velocity and wind velocity vs. time. It is observed that the surface layer followed the wind within approximately 1 hour; however, an accurate current response time can not be defined.

In two experiments in which the drogues came near the shore, the current direction was affected by the coastline and an inverse relation resulted in Figures 5b and c, at the end of the series, although the wind remained nearly constant.

(Fig. 2d). Esto fue el resultado de una persistencia baja de 0.24 y rapidez promedio menor de 4cm s^{-1} .

3. Patron General

Al examinar los valores de persistencia de las trayectorias se encuentra una predominancia de valores altos entre marzo y agosto, comparados con los de septiembre a enero. En ambos períodos aparecen valores muy altos o muy bajos que se apartan notablemente de un patrón definido; consecuentemente, la persistencia promedio, cercana a 0.65, es común a ambos períodos. Sin atender a la época del año, al analizar todos los experimentos se obtuvo que la persistencia fue mayor de 0.65 cuando la rapidez promedio del viento excedió 2m s^{-1} y su dirección cambió poco. Con vientos variables y de rapidez menor de 1m s^{-1} la persistencia fue de 0.30 a 0.60. La Figura 4 muestra los valores de persistencia de las primeras 8 horas de cada trayectoria, en función de la rapidez promedio de la corriente. En la gráfica, las corrientes con rapidez mayor de 10cm s^{-1} tienen persistencia mayor de 0.70 mientras que las más lentas tienen un intervalo amplio que cubre de 0.10 a 0.95. La tendencia general indica que la persistencia se aproxima asintóticamente a uno al aumentar la rapidez de la corriente, al menos en el intervalo de tiempo de 8 horas.

En forma cualitativa se aprecia una relación directa entre la persistencia, la velocidad de viento y la velocidad de la corriente superficial, especialmente en las observaciones hechas a más de 1km de las fronteras, en donde la corriente no se modifica sustancialmente por efecto de la costa. En tres experimentos hechos a más de 2km de la orilla se pudo observar el efecto dominante del viento sobre las trayectorias de la corriente superficial. Las Figuras 5a,b,c, muestran las series de tiempo de las componentes Este-Oeste de la velocidad lagrangeana superficial y de la velocidad del viento. En los tres casos se observa una relación directa entre las dos componentes cuando la del viento es relativamente estable, y mayor de 1m s^{-1} . Aunque no se puede precisar un tiempo de respuesta de la corriente, las gráficas indican que la capa superficial de 1m de espesor se movió en dirección del viento dentro de la primera hora

Computation of lagrangian residual velocity was not possible with the short time series available; only a few lasted more than two tidal cycles. Furthermore, as for most of the coastal waters, the wind is an important source of mechanical energy for the surface waters of Todos Santos Bay (Argote-Espinoza, *et al.*, 1975), so wind drift currents are likely to predominate over tide-induced currents. Previous studies have shown that the wind has diurnal as well as seasonal changes in Todos Santos Bay (Alvarez-Sánchez, 1977; Pavía - López and Reyes-Coca, 1983). Therefore, it was considered that an overall summary of the average lagrangian velocities could give evidence of distinct seasonal patterns of the surface currents. Since the length of the drogue paths was between 1 and 15km , overall averages of lagrangian velocity were computed at $1 \times 1\text{km}$ elements of a rectangular grid. These averages were based on the number of observations made in each element. The average current vectors and their standard deviations are shown in Figure 6a which includes all the data. Figure 6b shows the results with observations from March to August, and Figure 6c shows the results for September to January.

It is evident that the lack of synoptic data and the uneven density of observations are sources of statistical uncertainty. Hence, no interpolation was applied to compensate for the absence of observations; instead, emphasis is made in the general circulation trends shown by real data.

The average circulation shown in Figure 6a, inferred from the overall data average, shows water incoming to the Bay along the north and south coastlines, as a surface flow to the east and southeast. It nearly follows the coast configuration as a southeastward current in the north or as a northward current in the south, along the Estero de Punta Banda sandbar. This pattern suggests a remarkable convergence region near the mouth of the Estero.

Since previous studies indicate that northwest winds are stronger during the first months of the year, current variability was expected to decrease by taking velocity aver-

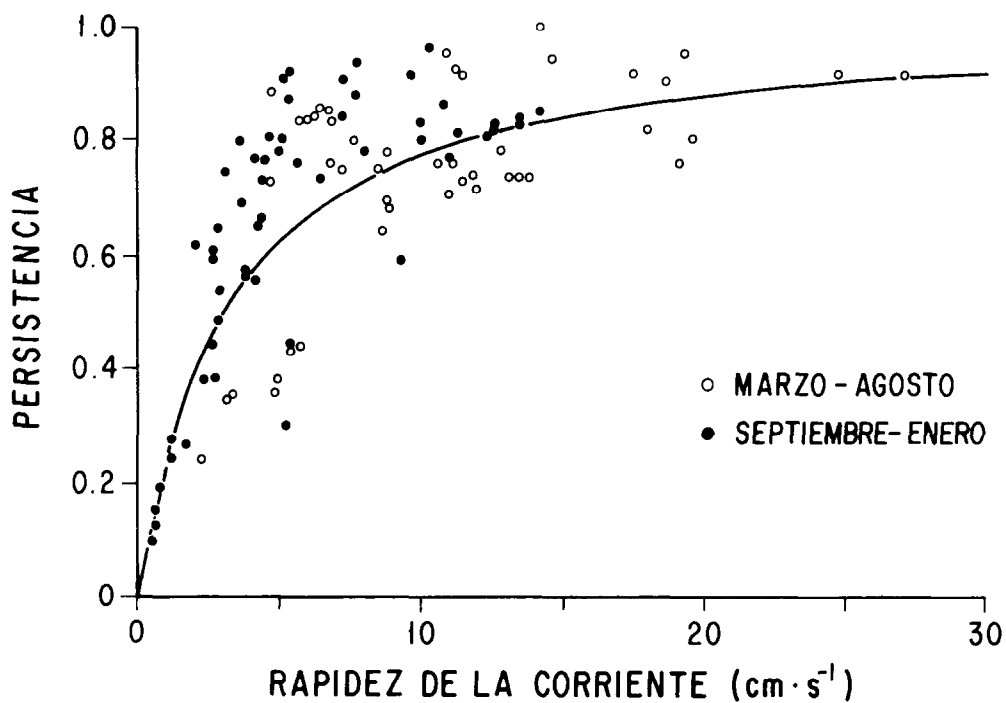


Figura 4. Persistencia de dirección de las trayectorias, en función de la rapidez de la corriente promedio en cada una. Se incluyen únicamente las primeras 8 horas de todo el conjunto de trayectorias. La curva indica el ajuste por cuadrados mínimos.

Figure 4. Persistence of the drogue trajectories as function of the average speed. Only the first 8 hours of each experiment were used. The line indicates the least squares fit.

después que este último se estableció con una dirección determinada. Al final de las series de las Figuras 5b,c se invierte la relación entre componentes. Esto sucedió cuando los flotadores se aproximaron a la costa, cuya orientación comenzó a dominar la dirección de la corriente aunque el viento no mostró cambios notables.

Las trayectorias individuales descritas en este trabajo están limitadas en tiempo porque su duración generalmente cubre un ciclo de marea semidiurna. No es posible determinar una velocidad residual lagrangeana basada en series de duración tan corta ya que excepcionalmente se llegaron a cubrir dos de estos ciclos. Además, como sucede en los cuerpos de agua costeros, el viento representa una importante fuente de energía para las

ages over each time interval: March to August and September to January. The results for the north part indicate that currents to the southeast are present in both periods (Fig. 6b,c). In the south part of the Bay, the southeast flow is well defined from March to August, as well as the northwards flow along the Estero sandbar. These features are unclear in the September to January averages, when currents are slower, and their pattern is undefined.

The general pattern found in this study is in reasonable agreement with some features described by former authors. The cyclonic gyre proposed by Argote-Espinoza *et al.*, (1975) for the south of the Bay, under northerly winds, is similar to that shown in Figure 6a. Drogue data indicate, however,

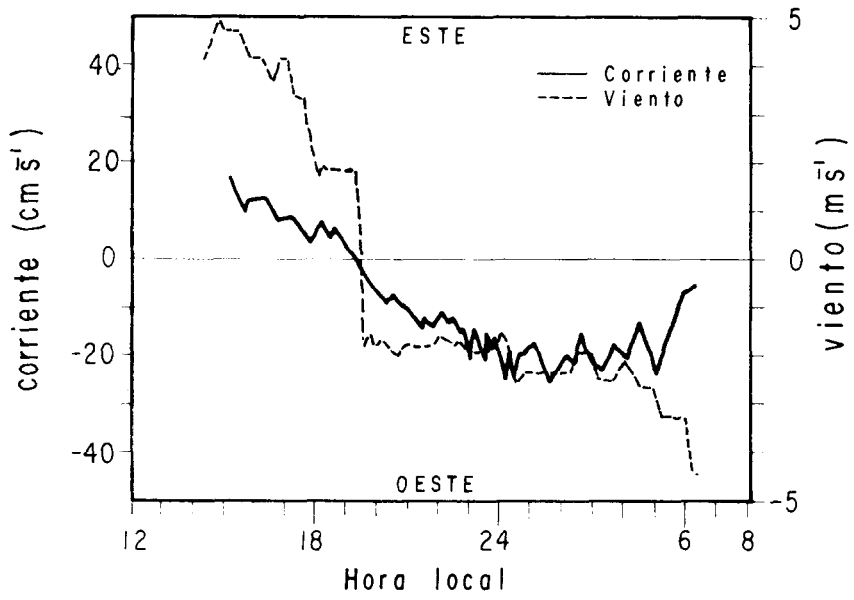


Figura 5 - a

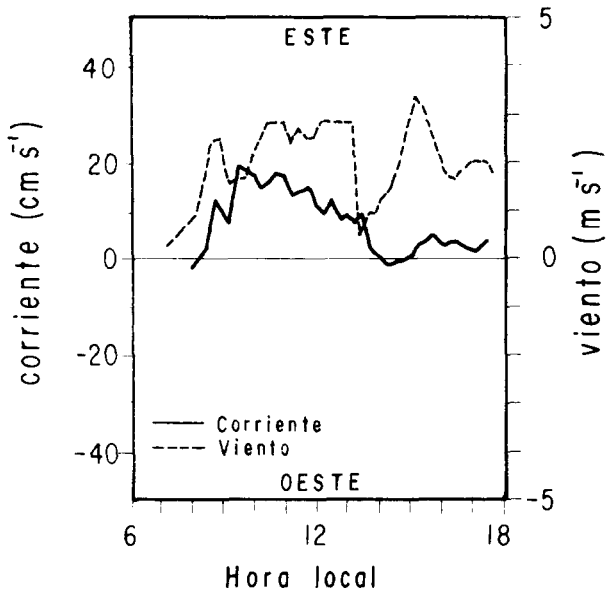


Figura 5 - b

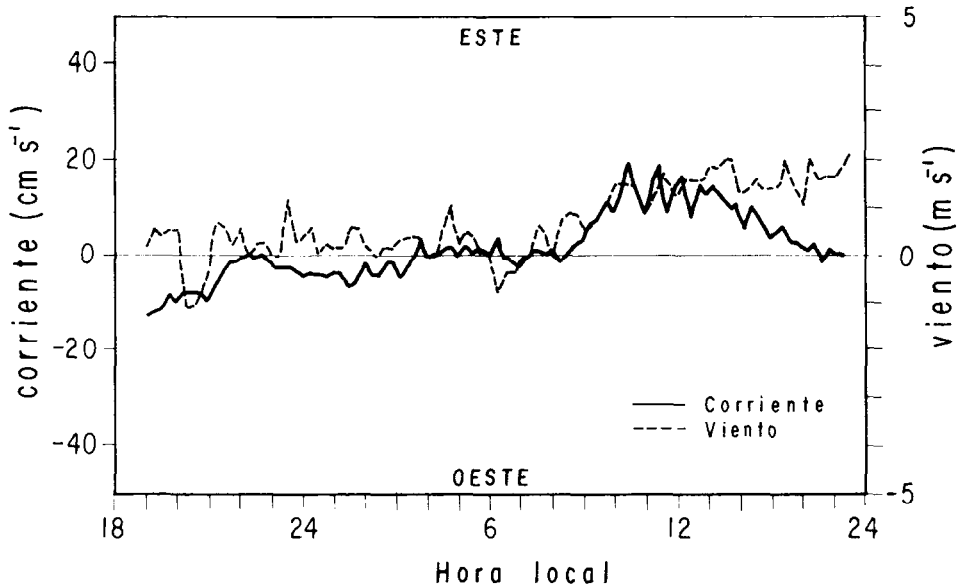


Figura 5 - c

Figura 5. Componente Este-Oeste de la corriente superficial y del viento en tres experimentos efectuados en la región sur de la Bahía. (a) 5 y 6 de marzo, 1980; (b) 29 de junio, 1980; (c) 28 y 29 de julio, 1980.

Figure 5. East-west component of the lagrangian surface current velocity and of the wind velocity for three experiments in the southern region of the Bay. (a) March 5 and 6, 1980; (b) June 29, 1980; (c) July 28 and 29, 1980.

aguas superficiales de la Bahía Todos Santos (Argote-Espinoza *et al.*, 1975) y posiblemente las corrientes de deriva sean más importantes que las inducidas por la marea. En trabajos precedentes se ha demostrado que el viento tiene una notable variabilidad diaria en la Bahía (Pavía-López y Reyes-Coca, 1983), además de cambios estacionales (Alvarez - Sánchez, 1977). En vista de lo anterior se optó por presentar un resumen global de las velocidades lagrangeanas promedio, con objeto de establecer si existe algún comportamiento definido. Para este fin se construyó una cuadrícula rectangular con elementos de 1km por lado, atendiendo a las dimensiones de la Bahía y a que la longitud de las trayectorias fue hasta de 15km y no menor de 1km. En esta malla se determinó el número de observaciones de velocidad producida por el paso de las trayectorias a través de cada kilómetro cuadrado. Con estos datos se obtuvieron los vectores que representan la corriente promedio y sus respectivas desviaciones estándar. Los

that the gyre is likely to develop under westerly winds and reach shallow inner waters. The same applies to the north of the Bay where currents related to a possible anticyclonic gyre extend to shallow waters, and eastward flow turns to a nearly southeast direction in the vicinity of the Ensenada harbor. This surface flow can be traced as far south as the entrance to Estero de Punta Banda.

The current meter data reported by Ocampo-Torres (1983) in the south of the Bay indicate that from February to June the predominant current direction varied from 40° to 110° (degrees true) over 50% of the time. This information supports the evidence that an alongshore current flows with a marked north component, off the Estero sandbar. This latter feature is also described as a littoral current within the surf zone, inferred from sediment distribution studies (Pérez - Higuera and Chee-Barragan, 1984).

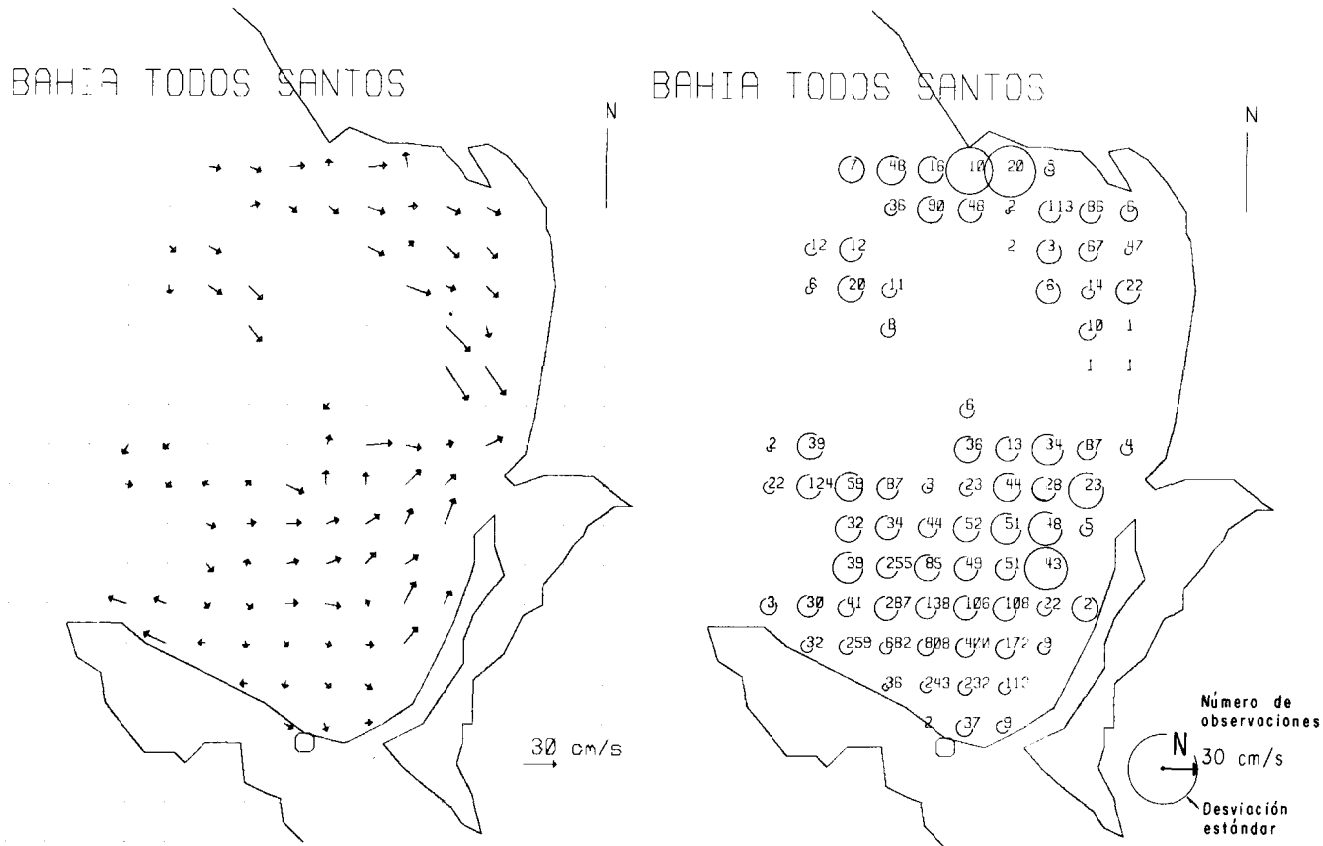
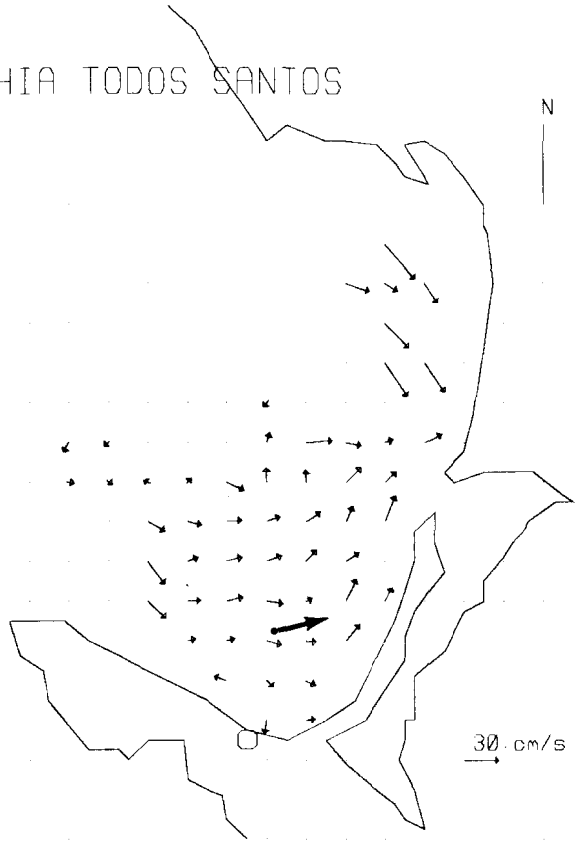


Figura 6 - a

Figura 6. Vectores promedio de velocidad lagrangeana en cada elemento de malla de 1 x 1 kilómetro. En la figura de la derecha se indican el número de observaciones en cada elemento y la dirección estándar de la media. (a) Con todas las observaciones; (b) con observaciones entre marzo y agosto, con la flecha gruesa indicando la dirección predominante reportada por Ocampo-Torres (1983); (c) con observaciones entre septiembre y enero.

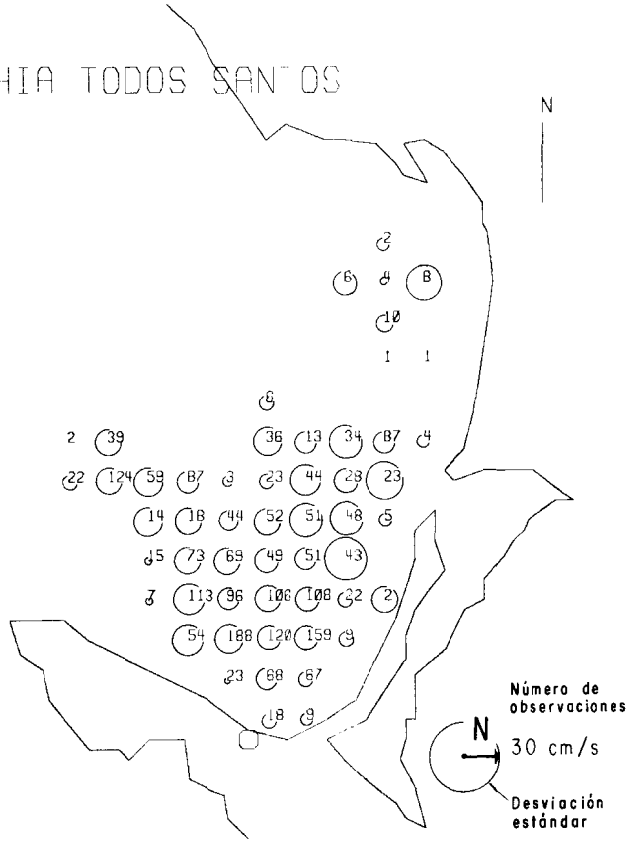
Figure 6. Average Lagrangian velocity vectors for 1 x 1km grid elements. The figure on the right indicates the number of observations and the standard deviation of the mean. (a) All the observations; (b) observations for March to August, with the heavy arrow indicating the predominant flow directions reported by Ocampo-Torres (1983); (c) observations for September to January.

BAHIA TODOS SANTOS



1 Km
1 Km

BAHIA TODOS SANTOS

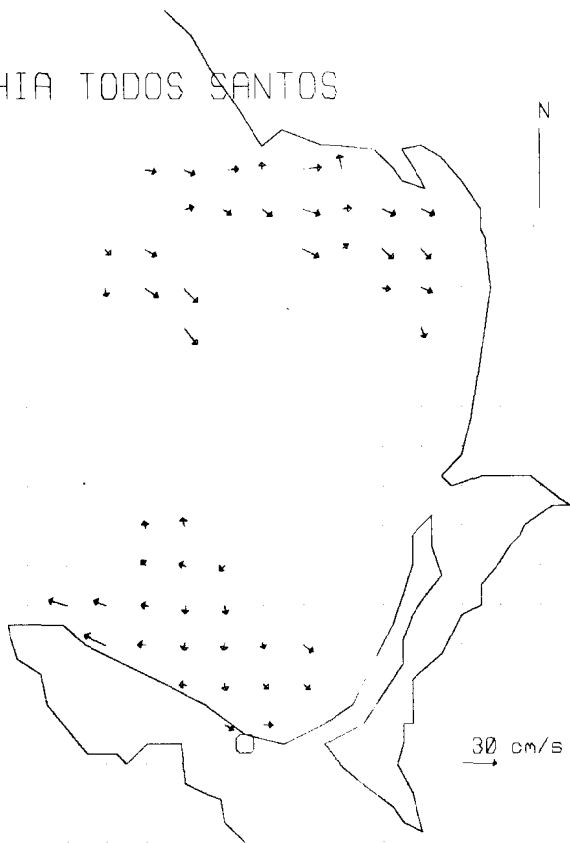


Número de
observaciones
30 cm/s
Desviación
estándar

Alvarez-Sánchez, L.G. et al. - Patrones de deriva

Figura 6 - b

BAHIA TODOS SANTOS



BAHIA TODOS SANTOS

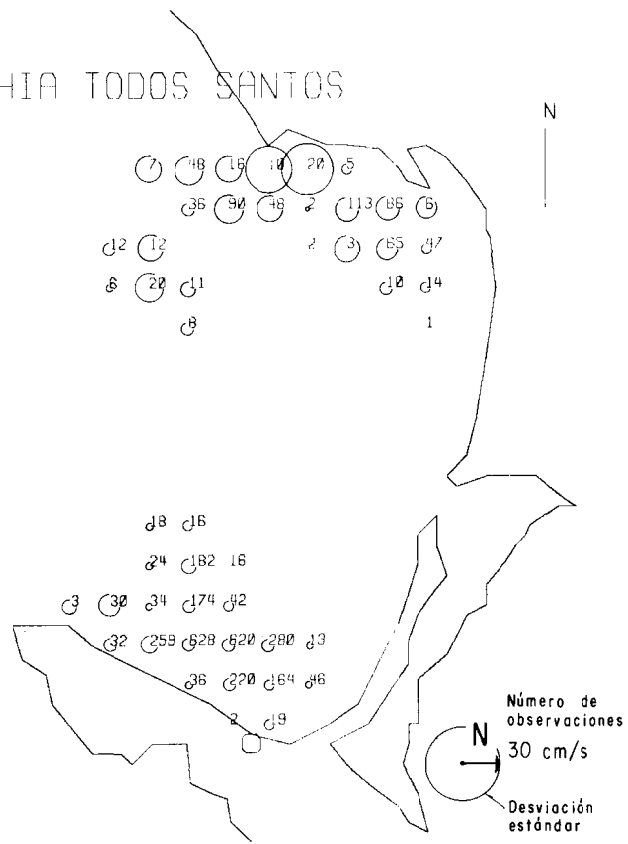


Figura 6 - c

valores se asignaron gráficamente al centro de cada elemento de la cuadrícula como se muestra en la Figura 6a que incluye la totalidad de los datos, la Figura 6b con datos de marzo a agosto y la Figura 6c con datos de septiembre a enero.

Es evidente que los datos de esta distribución espacial de velocidad no provienen de observaciones simultáneas y que la densidad desigual de las muestras es una fuente de incertidumbre estadística. Por lo tanto, no se aplicó ningún esquema de interpolación para cubrir deficiencias y únicamente se hace énfasis en las tendencias generales de circulación que muestran los datos reales.

La circulación promedio obtenida con todos los datos (Fig. 6a) indica ingreso de agua a la Bahía frer.e a las costas norte y sur, en forma de un flujo superficial hacia el Este y Sureste, predominantemente a lo largo de la costa. Dicho flujo continúa hacia el Sur y Sureste en la parte norte, y hacia el Norte en la parte sur, frente a la barra del Estero de Punta Banda. Este esquema sugiere una notable región de convergencia situada en la vecindad de la boca del Estero.

Al separar las observaciones en las dos épocas del año mencionadas anteriormente, se esperaba reducir la variación en virtud de que el régimen de viento del Noroeste es más intenso durante la primera mitad del año y puede inducir una circulación mejor definida. El resultado no es totalmente distinto en una y otra época; la corriente hacia el Sureste se manifiesta en ambos casos, pero la circulación en la parte sur de la Bahía se define mejor con las observaciones de marzo a agosto, que muestran la corriente a lo largo de la costa de Punta Banda, continuando hacia el Norte, a lo largo de la barra del Estero. Este rasgo se pierde en el cuadro promedio de septiembre a enero, en donde se observan corrientes más lentas sin un patrón definido.

A pesar de la desigual distribución de las observaciones, tanto en espacio como en tiempo, el comportamiento general concuerda razonablemente con algunas características de la circulación que se describen en estudios anteriores. El giro ciclónico de la región sur, descrito por Argote-Espinoza *et al.* (1975) con

The evidence given by Hernández - Walls (1986), based on simple dynamical considerations, indicates that the sea breeze (from the west to northwest), as modified by the Bay configuration, may induce nearshore currents having patterns similar to those described in this study, for March to August.

4. Diffusion

Five experiments were made from June 29 to October 21, 1980 by releasing groups of five to seven drogues in the south region of the Bay. The drogues were deployed in small areas (10^4 to 10^5 m²) and dispersed afterwards by turbulent diffusion and horizontal shear. Diffusivity coefficients were evaluated by measuring their relative separation with time.

The longest series were obtained in July 29 (23 hours), and October 21 (13 hours), off the Estero de Punta Banda sandbar. As time elapsed, a general increase in the variance was observed, with maximum and minimum values resulting from expansions and contractions of the drogue group.

Four or five hours after the drogues were released, the variance rate of change increased by about one order of magnitude. This marked increment was observed when the initial drogue group was divided in two subgroups which were gradually separated by horizontal shear. In Figure 7 the variance shows this behavior for the July 29 experiment. Durazo-Arvizu and Alvarez-Sánchez (1987) state that the maximum divergence and vorticity values were computed in this region, suggesting an active mixing induced by horizontal velocity gradients.

In the same Figure, the change pattern of the two variance components indicates a clear anisotropic condition in the horizontal diffusivity. This condition increased with the diffusion time and as a result, the component s_x^2 was several times larger than s_y^2 at the end of the experiments lasting more than 5 hours.

The diffusivity coefficients K_T were computed as proportional to the slope of the variance vs. time regression line, adjusted by

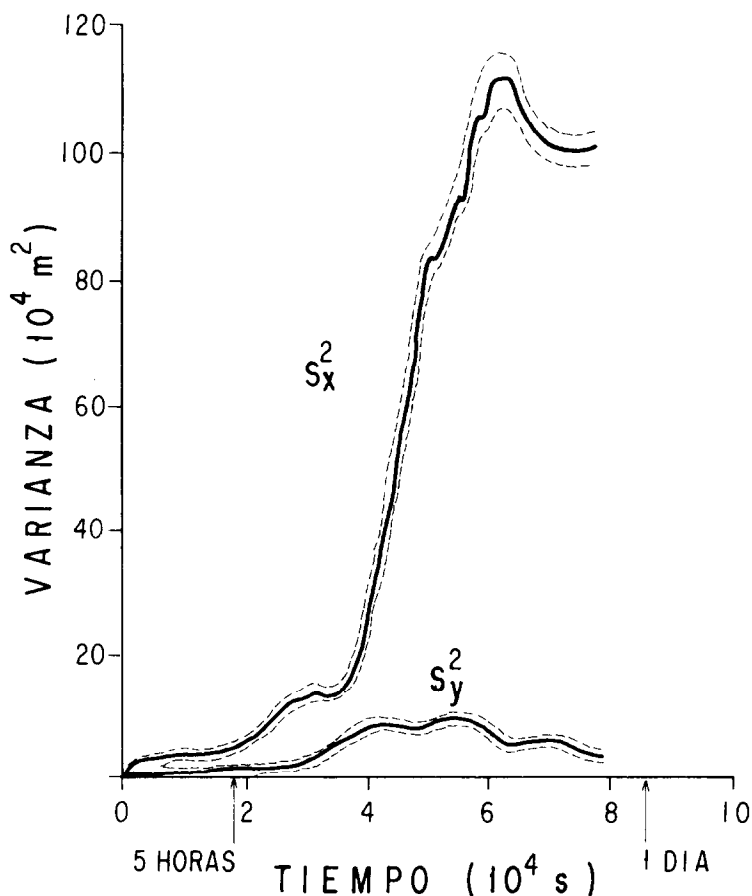


Figura 7. Componentes de la varianza con grupo de seis flotadores observados entre el 28 y 29 de julio de 1980. La línea punteada indica el error de la varianza producido por un error de $\pm 20\text{m}$ en la localización de cada flotador.

Figure 7. Variance components of the group of six drogues observed in July 28 and 29, 1980. The dotted line indicates the error of the variance due to the $\pm 20\text{m}$ positioning error of the radar.

influencia de vientos norte, es similar al de la Figura 6a. Sin embargo, en el presente estudio se muestra que dicho giro puede tener una distribución más amplia que abarca las aguas someras del interior de la Bahía, bajo condiciones de viento del Oeste. Los mismos autores proponen la formación de un giro anticiclónico en la parte norte, restringido a aguas profundas. En el presente trabajo, las corrientes relacionadas con este posible giro se extienden nuevamente hasta aguas someras formando un flujo hacia el Este que luego gira hacia el Sureste, frente al Puerto de Ensenada.

least squares, with data every 15 minutes. These coefficients apply to the initial stage of diffusion, since only the first 5 hours of each experiment were used to estimate K_r . This limitation was imposed because of the uneven duration of the experiments and the marked increase in the variance observed after 5 hours. Figure 8 shows the lowest and highest rates of change of the variance, as observed in the experiments of June 29 and October 21, respectively. Table 2 summarizes the results and conditions of the five drogue deployments.

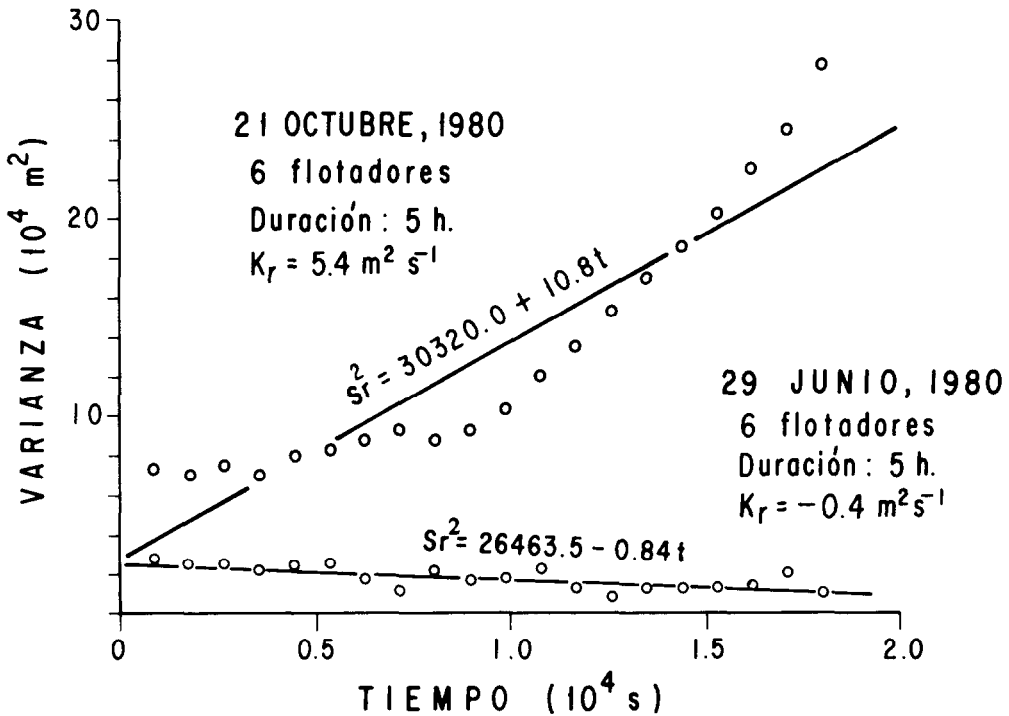


Figura 8. Razón de cambio de la varianza calculada cada 15 minutos, en los experimentos del 29 de junio y 21 de octubre de 1980. La recta representa el ajuste por cuadrados mínimos.
Figure 8. Variance computed every 15 minutes, for the experiments of June 29 and October 21, 1980. The lines represent the least squares fits.

Los datos recabados por Ocampo Torres (1983) en el sur de la Bahía, entre febrero y junio de 1982, muestran que la dirección predominante de la corriente tuvo un intervalo de 40° a 110° , con cerca del 50% de ocurrencia. Esta información reafirma la existencia de una corriente paralela a la costa en el sur de la Bahía, que continúa hacia el Norte frente a la barra del Estero de Punta Banda. Este flujo al Norte se describe también como una corriente litoral, determinada a partir de características de los sedimentos de playa (Pérez-Higuera y Chee-Barragán, 1984).

La evidencia presentada por Hernández-Walls (1986), con base en consideraciones dinámicas elementales demuestra que el viento

Only the first two experiments listed in Table 2 show a decrease in the variance. The diffusivity coefficients K_r are negative (-0.4 and -0.6), as a result of negative linear regression slopes. These small negative diffusivities were probably the result of a convergent condition that dominated over the turbulent diffusion of scale smaller than the size of the drogue group. The remaining three experiments yielded positive coefficients: two are close to $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, and the last, that of October 21, is about four times larger. During this experiment, a separation in two subgroups was observed 4 to 5 hours after the drogues were released. As a result this coefficient is relatively high and coincides with weak and variable currents and a low persistence value.

del Noroeste, modificado por la configuración de la Bahía, puede producir corrientes cercanas a la costa con comportamiento similar al observado en el presente estudio, entre marzo y agosto.

4. Difusión

Los experimentos con más de cinco flotadores superficiales agrupados inicialmente en áreas pequeñas ($10^4 - 10^5 \text{ m}^2$) se efectuaron en la región sur de la Bahía de Todos Santos con el fin de estudiar la separación relativa de éstos, por el efecto combinado de gradientes horizontales de velocidad y difusión.

A continuación se presentan los resultados de cinco experimentos hechos en junio, julio y octubre de 1980, en los cuales fue posible seguir simultáneamente grupos de cinco a siete flotadores superficiales para calcular la difusividad aparente. Las series de mayor duración se obtuvieron los días 29 de julio (23 horas) y 21 de octubre (13 horas), frente a la barra del Estero de Punta Banda. Aunque la tendencia general de difusión indica un incremento de la varianza con el tiempo, esta última presenta máximos y mínimos como producto de expansiones y contracciones del grupo de flotadores. Después de 4 ó 5 horas de iniciados los experimentos, la razón de cambio de la varianza aumentó hasta en un orden de magnitud comparada con las primeras horas de observación. Este incremento se debió a que el grupo inicial de flotadores se dividió en dos subgrupos, separados progresivamente por los efectos de corte horizontal de la corriente. La Figura 7 muestra este comportamiento en el experimento del 29 de julio. Durazo-Arvizu y Alvarez-Sánchez (1987), indican que en esta región se calcularon los valores máximos de divergencia y vorticidad, lo cual sugiere una mezcla activa inducida por los gradientes horizontales de velocidad.

En la misma Figura se observa que las componentes s_x^2 y s_y^2 de la varianza tuvieron valores y cambios temporales distintos dentro del mismo experimento, indicando una condición anisotrópica en la difusividad horizontal. Esta condición se hizo más marcada al aumen-

CONCLUSIONS

The land based radar was adequate for the measurement of surface currents by means of drogue trajectories at distances less than 10 kilometers, with observations every 15 minutes.

From March to August currents were strongest, averaging about 15 cm s^{-1} , which is approximately twice the average computed for September to January. In addition to the weaker currents, in this latter period smaller values of persistence dominated (< 0.65), indicating that trajectories were irregular compared to those observed from March to August.

The time average of all the observations shows a predominant inflow of surface water along the north and south coastlines of the Bay, which continues almost as an alongshore flow and suggests a convergence region near the mouth of the Estero de Punta Banda. This mean flow has a marked variability that results in standard deviations similar to the velocity means.

The flow changes observed within a diurnal cycle were qualitatively related to changes in the wind velocity only in regions distant from the coast.

The high persistence, high current velocity and low diffusivity were observed during relatively strong wind conditions ($> 2 \text{ m s}^{-1}$) suggesting that this was a dominant factor for the dispersion processes of the surface waters of the Bay.

ACKNOWLEDGEMENTS

The radar unit was supplied by Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California. The observations in October, 1985 and November, 1986 were made by instructors and students of the School of Marine Science as part of the training in Physical Oceanography. The logistic support of the marine operations group of CICESE is sincerely appreciated. The authors want to acknowledge the assistance of Sergio A. Ramos Rodríguez and José María Domínguez.

tar el tiempo de difusión, a tal grado que la componente s_2^2 fue varias veces mayor que la componente s_1^2 , en los experimentos de más de 5 horas de duración.

El cálculo de los coeficientes de difusividad aparente K_r se hizo tomando en cuenta la evolución del grupo de flotadores durante las primeras 5 horas de cada experimento. En el presente estudio la difusividad aparente K_r se calculó a partir de la pendiente de la recta de varianza total vs. tiempo, ajustada mediante cuadrados mínimos, con datos cada 15 minutos. Los coeficientes representan la etapa inicial de la difusión porque su cálculo se basa únicamente en las primeras 5 horas de cada experimento. Esta limitación se impuso en virtud de que las series son de duración distinta y de que la razón de cambio de la varianza se incrementa notablemente después de 4 ó 5 horas de iniciada la medición. La Figura 8 muestra la mínima y máxima razón de cambio de la varianza observadas en los experimentos del 29 de junio y del 21 de octubre, respectivamente. La Tabla II resume los resultados y condiciones de los cinco experimentos.

guez in doing the figures and the typing work of Maricela González de Villaseñor.

English translation by the author.

Los dos primeros experimentos de la Tabla II indican una disminución de la varianza. La regresión lineal produjo una pendiente negativa y en consecuencia, un coeficiente de difusividad K_r negativo, aunque pequeño (-0.4 y $-0.6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). Esta difusividad negativa se debió posiblemente a un efecto dominante de convergencia que superó a la difusión turbulenta de escala menor que la dimensión del grupo de flotadores. Los tres restantes experimentos produjeron coeficientes de difusividad positivos, cercanos a $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$, excepto el último, del 21 de octubre en el cual el coeficiente resultó más de cuatro veces mayor (Fig. 8). En este último caso se produjo una separación de dos subgrupos de flotadores después de las primeras 4 ó 5 horas de medición, dando como resultado un coeficiente alto que coincidió, además, con corriente lenta y persistencia baja.

Tabla II. Condiciones y resultados de cinco experimentos con grupos de flotadores superficiales en la región sur de la Bahía de Todos Santos, en 1980. La dirección de la corriente se indica hacia donde va. La dirección del viento indica de donde proviene.

Table II. Conditions and results of five experiments with surface drogue groups released in the southern region of Todos Santos Bay, in 1980. Current direction is "towards"; wind direction is "from".

Fecha 1980	Flotadores	Cambio de varianza* 10^4 m^2	Difusividad K_r $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$	Advección media cm s^{-1} (dir)	Persistencia P	Viento m s^{-1} (dir)
Jun 29	6	-15.2 ± 7.0	-0.4	14 (SE)	0.82	2 (W)
Jul 2	5	-19.5 ± 16.7	-0.6	7 (SE)	0.82	3 (W)
Jul 29	6	42.1 ± 11.0	1.2	7 (NW)	0.82	1 (NNW)
Oct 20	7	50.4 ± 13.4	1.4	11 (NW)	0.83	1 var
Oct 21	6	194.4 ± 18.8	5.4	4 var**	0.62	1 var

* En las primeras 5 horas.

** Dirección variable.

CONCLUSIONES

El método de observación con radar resultó adecuado para medir la corriente superficial mediante trayectorias de cuerpos de deriva localizados cada 15 minutos, a distancias menores de 10km.

Entre marzo y agosto las corrientes fueron más intensas, con promedio cercano a 15cm s^{-1} , el cual es aproximadamente dos veces mayor que el calculado con observaciones hechas entre septiembre y enero. Además de las corrientes más lentas, en este último período predominaron valores más bajos de persistencia (<0.65), que indican trayectorias irregulares comparadas con las observadas entre marzo y agosto.

El promedio temporal de todas las observaciones muestra como rasgo dominante el ingreso de agua frente a las costas norte y sur de la Bahía, que continúa como una corriente paralela a la costa y sugiere una región de convergencia adyacente a la boca del Estero de Punta Banda. Este flujo promedio tiene una variabilidad muy marcada que da como resultado desviaciones estándar similares a las medias de la velocidad.

Los cambios de velocidad de la corriente se relacionaron cualitativamente con cambios de la velocidad del viento únicamente en regiones alejadas de la costa.

Los altos valores de persistencia y rapidez de la corriente y bajos valores de difusividad coincidieron con viento relativamente fuerte ($>2\text{ m s}^{-1}$), lo que sugiere que éste fue un factor dominante en los procesos de dispersión del agua superficial de la Bahía.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de radar fue proporcionado por el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California. Las observaciones de octubre, 1985 y noviembre, 1986, fueron realizadas por maestros y estudiantes de la Facultad de Ciencias Marinas como parte de los cursos de Oceanografía Física.

Los autores agradecen el apoyo efectivo de la sección de Cruceros Oceanográficos del CICESE. Asimismo, agradecen a Sergio A. Ramos Rodríguez y a José María Domínguez por la elaboración de las figuras y a Maricela González de Villaseñor, por su labor secreta-rial.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Sánchez, L.G. (1971) Medición de corrientes superficiales en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis Profesional. UABC. 54 pp.

Alvarez-Sánchez, L.G. (1977) Vientos en la Bahía de Todos Santos, B.C. Ciencias Marinas, 4:81-89.

Alvarez-Sánchez, L.G., Uyeji, M. y Durazo, R. (1982) Observaciones de corrientes costeras superficiales mediante trazadores lagrangianos. I. Bahía de Todos Santos (1980-1981) Reporte Técnico OC-82-03. CICESE. 64 pp.

Argote-Espinoza, M.L., Amador, A. y Morales, C. (1975) Distribución de los parámetros salinidad y temperatura y tendencias de circulación en la Bahía de Todos Santos, B.C. Memorias de la Primera Reunión del CIBCA-SIO, p. 3-30.

Csanady, G.T. (1963) Turbulent Diffusion in Lake Huron. *J. Fluid Mech.*, 17 p. 360-384.

Durazo-Arvizu, R. y Alvarez, L.G. (1987) Cinemática de la región sur de la Bahía Todos Santos, B.C. (En preparación).

Hernández-Walls, R. (1986) Circulación inducida por el viento en la zona costera. Tesis profesional. UABC, 73 pp.

Murray, S.P. (1975) Trajectories and Speed of Wind-driven Current near the Coast. *J. Phys. Oceanogr.* 5, 2 p. 347-360

Ocampo-Torres, F. (1983). Circulación en la Bahía Todos Santos. Reporte de Datos 83-01. UABC, 43 pp.

Okubo, A. (1968) Oceanic Diffusion Diagrams. *Deep Sea Research*, 18, 789-802.

Panofsky, H. A. y Brier, G.W. (1968) *Some Applications of Statistics to Meteorology*. The Pennsylvania State University Press, 224 pp.

Pavía-López, E. y Reyes, S. (1983) *Variaciones espaciales y estacionales del viento superficial sobre la Bahía de Todos Santos*. *Ciencias Marinas* 9:151-167.

Pérez-Higuera, R. y Chec-Barragán, A. (1984) *Transporte de Sedimentos en la Bahía de Todos Santos, B.C.* *Ciencias Marinas*, 10:31-52.