VELOCIDAD Y DISPERSION DE LA CORRIENTE SUPERFICIAL DE LA RADA EL ALGARROBO

TESIS

Facultad de Ciencias del Mar
Universidad de Valparaíso

Para optar al Grado de Licenciado y al Título Profesional de Biólogo Marino

ESTEBAN ANDRES CABRERA REBOLLEDO

2000.

7v

Nº MARC 38545

M
C117v
2000

VELOCIDAD Y DISPERSIÓN DE LA CORRIENTE SUPERFICIAL DE LA RADA EL ALGARROBO

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA
BIBLIOTECA
T0060
Universidad de Valpso.

TESIS

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO

Para optar al Grado de Licenciado y al Título Profesional de Biólogo Marino

ESTEBAN ANDRES CABRERA REBOLLEDO

2000

Esta Tesis es parte de los requisitos para obtener el Grado de Licenciado en Biología Marina y el Título de Biólogo Marino

ESTEBAN ANDRES CABRERA REBOLLEDO

Aprobada por la Comisión de Tesis en junio de 2000

Profesor Bernardo Malet Retamales

Director de Tesis

Profesor Bernardita Campos Maia

Profesor Hellmuth Sievers Czischke

TABLA DE CONTENIDOS

Contenido	Página
PRESENTACIÓN	i
APROBACIÓN	ii
TABLA DE CONTENIDOS	iii
AGRADECIMIENTOS	v
LISTADO DE FIGURAS	viii
RESÚMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS DE TRABAJO	7
OBJETIVO GENERAL	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Método Langrangiano	14
Meteorología	16
Mareas	16
Velocidad de las corrientes	17
Dispersión	18

RESULTADOS 22

Características generales de las trayectorias 22

Campaña de otoño, (abril 1998) 22

Campaña de primavera, (octubre 1998) 23

Campaña de verano, (enero 1999) 23

Análisis estadístico de la dispersión 33

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 56

RECOMENDACIONES 61

LITERATURA CITADA 64

AGRADECIMIENTOS

Al realizar esta Tesis, aprendí el verdadero trabajo de campo que involucra una investigación, un trabajo que no está descrito en los libros, un trabajo que acerca al investigador al ambiente y que le permite recordar la motivación que algún día lo llevó a estudiar esta profesión.

Deseo agradecer al Profesor Sr. Bernardo Malet, por mostrarme el camino a recorrer en la finalización de mi estudio como Biólogo Marino. A los Profesores Sra. Bernardita Campos y Sr. Hellmuth Sievers, quienes al formar parte de la comisión de corrección de mi tesis, entregaron tiempo y consejos valiosos, que permitieron el desarrollo de este estudio y mi crecimiento profesional, consejos además que espero poder transmitir.

A través del desarrollo de la Tesis, fui ayudado, aconsejado y corregido por muchas personas, que teniendo o no parte en mi área profesional, con la mejor intención entregaron su experiencia en el mejoramiento de mi trabajo y de mi persona. Quiero destacar a algunos de ellos, sin cuya ayuda directa esta Tesis no hubiese podido ser realizada. Primero agradezco al Cura Párroco de la localidad de Algarrobo Sr. Pedro Nahuelcura, amigo personal y camarada de ideales, quien me proveyó alojamiento y alimentación durante todo el tiempo que debí permanecer en Algarrobo. Al Profesor Sr. Hernán Vergara, quien desinteresadamente y sólo impulsado por su espíritu de cooperación y amistad,

me acompañó durante las dos primeras campañas de mediciones, dejando de lado sus actividades personales y familia, permitiéndome conocerle desde otra perspectiva, y recibiendo de él además muchos consejos que de seguro me harán un mejor profesional. A mi muy buen amigo Luis Vega Arancibia, quien no sólo me acompañó y trabajó codo a codo en la tercera campaña de medición, sino que además siempre, desde el primer día de estudios en esta carrera ha estado presente en los momentos difíciles que esta vida nos entrega, sabiendo dar un consejo sabio o una compañía silenciosa y cálida. El Sindicato de Pescadores de la localidad de El Algarrobo me permitió utilizar sus botes para el lanzamiento de los derivadores, a ellos mis sinceros agradecimientos.

Nosotros venimos a este mundo, no elegimos donde nacer ni elegimos a nuestros padres. Dios es sabio en su grandeza, y agradezco la familia que me dio para llegar a este mundo, agradezco a Él por tener padres tan especiales, que aún cuando la vida no ha sido grata con ellos, han sabido mantenerse como ejemplos admirables y que me siento orgulloso de imitar. Dios me ha dado además una compañera que me ha enseñado la forma de descubrir el amor, entregándome sentimientos hermosos y cálidos que vuelven al hombre más humano, permitiéndome abstraerme de este mundo a veces tan inhumano.

Son muchas las personas a quienes podría agradecer, y aún cuando no aparezcan mencionadas en estas líneas, en mi mente siempre estarán, y si algún día un amigo o un discípulo pide mi ayuda, mi consejo o simplemente una espalda

en quien apoyarse, no dudaré en corresponderle. Que mi paso por la Universidad sólo sea la puerta hacia el descubrimiento de la Biología Marina. Esto es lo que he aprendido, esto es lo que quiero transmitir.

LISTADO DE FIGURAS

Figuras		Página
1.	Rada El Algarrobo. En el recuadro derecho destaca la zona donde se realizó el estudio de corriente.	10
2.	Vista desde los puntos de observación en la playa de la rada. A) Vista desde el extremo norte del área en estudio. B) Vista desde el extremo sur del área en estudio.	11
3.	Preparación de derivadores en la caleta antes de ser embarcados para su lanzamiento	12
4.	Diseño presentado en el anteproyecto considerando la literatura citada (izquierda), junto al diseño mejorado luego de las pruebas realizadas en el sector de playa y muelle recreacional, (derecha).	13
5.	Incremento de la varianza. A) En el tiempo, para un grupo de partículas liberadas desde una fuente instantánea. $t=0 < t_1 < t_2 < t_3$. Okubo (1980). B) En la distancia, para un grupo de partículas liberadas desde una fuente continua. Okubo (1980).	19
6.	Trayectoria seguida por los derivadores el 16 de abril de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:40 h y las 13:20 h durante la marea llenante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0632 - 0.56 m; 1259 – 1.53 m; 1936 – 0.56 m	25

Figuras **Página**

7. Trayectoria seguida por los derivadores el 17 de abril de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:10 h y las 13:30 h durante la marea llenante, en la medición de dispersión. Debido a la baja velocidad con que se desplazaron los derivadores, la individualización gráfica se dificulta, pudiendo sólo ser representado el movimiento del grupo. Los niveles de marea fueron: 0707 – 0.62 m; 1340 – 1.47 m; 2029 – 0.61 m 26

8. Trayectoria seguida por los derivadores el 1 de octubre de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:00 h y las 12:25 h durante la marea vaciante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0628 – 1.31 m; 1323 – 0.41 m; 1927 – 1.05 m 27

9. Trayectoria seguida por los derivadores el 2 de octubre de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:40 h y las 13:45 h durante la marea vaciante, en la medición de dispersión. Debido a la baja velocidad con que se desplazaron los derivadores, la individualización gráfica se dificulta, pudiendo sólo ser representado el movimiento del grupo. Los niveles de marea fueron: 0723 – 1.39 m; 1403 – 0.31 m; 2007 – 1.16 m 28

10. Trayectoria seguida por los derivadores el 20 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:10 h y las 13:40 h durante la marea llenante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0630 – 0.31 m; 1224 – 1.24 m; 1806 – 0.43m. 29

Figuras **Página**

11. Trayectoria seguida por los derivadores el 21 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 08:50 h y l as 10:55 h durante la marea llenante, en la medición de dispersión. Los niveles de marea fueron: 0710 – 0.32 m; 1308 – 1.26 m; 1942 – 0.51 m 30

12. Trayectoria seguida por los derivadores el 26 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:05 h y las 11:10 h durante la marea vaciante, en la medición de dispersión. Los niveles de marea fueron: 0508 – 1.21 m; 1127 – 0.48 m; 1812 – 1.44 m 31

13. Trayectoria seguida por los derivadores el 27 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:00 h y . las 11:00 h durante la marea vaciante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0628 – 1.18 m; 1229 – 0.47 m; 1914 – 1.55 m 32

14. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo. 36

15. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo. 37

Figuras **Página**

16. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. 38

17. Representación de la varianza del desplazamiento los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. 39

18. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo. 40

19. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo. 41

20. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. Se redujo la escala de eje Y para una mejor visualización de los datos. 42

21. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. Se redujo la escala de eje Y para una mejor visualización de los datos. 43

Figuras	Página
22. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.	44
23. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.	45
24. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	46
25. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	47
26. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.	48
27. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo. Presenta una escala mayor para los valores de K_y que el resto de las figuras, debido a que el período registró mayores ordenes de magnitud.	49

Figuras	Página
28. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	50
29. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	51
30. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.	52
31. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.	53
32. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	54
33. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.	55

RESUMEN

Con el propósito de estimar la circulación superficial de las aguas se realizó un estudio en la rada El Algarrobo en abril y octubre de 1998 y enero de 1999, tanto en período de marea vaciante como en llenante. Se utilizó metodología langrangiana con derivadores superficiales del tipo cortina los que fueron posicionados mediante triangulación con dos sextantes ubicados en la playa en los extremos norte y sur del área de medición. Se obtuvieron registros de las trayectorias de los derivadores que permitieron establecer la velocidad de la corriente superficial para el área señalada, así como la estimación de la dispersión superficial de la corriente mediante los índices estadísticos de varianza, coeficiente de difusión y desviación estándar.

En abril de 1998 en marea llenante se produjo un movimiento de la corriente superficial de baja magnitud, 4 $cm^{\cdot}s^{-1}$. La dispersión presentó predominio del desplazamiento norte-sur. En octubre de 1998 en marea vaciante se produjo un movimiento de magnitud 1,71 $cm^{\cdot}s^{-1}$. La dispersión fue uniforme en los desplazamientos norte-sur y este-oeste. Durante enero la corriente superficial mostró clara diferencia en las velocidades, en marea vaciante se registró una magnitud de la corriente de 10,5 $cm^{\cdot}s^{-1}$ en dirección S. En marea llenante presentó

una velocidad de 2 $cm \cdot s^{-1}$ en dirección NE. La dispersión fue baja en este período, con predominio de la componente este-oeste.

El principal agente externo que determina el comportamiento de la corriente superficial es la marea, ya que el viento, al presentar magnitudes como las registradas en el faro Punta Panul, no sería determinante en este movimiento. De acuerdo a lo señalado por Urrutia ***et al.*** (1993), Sánchez ***et al.*** (1994), entre otros, el material particulado en la columna de agua se distribuye de acuerdo a los desplazamientos del cuerpo de agua que los contiene. Lo anterior se aplica a los organismos que tiene algún o todo su desarrollo en el plancton, influyendo esta dispersión en su distribución geográfica a nivel local y a nivel oceánico, como lo señalan Hannan (1984), Okubo (1980, 1994), Scheltema (1975, 1986), Thorson (1961), entre otros. Así entonces, la determinación de la dispersión superficial de la corriente en la rada El Algarrobo, permite estimar el comportamiento de este material en la localidad.

INTRODUCCIÓN

Los mecanismos de transporte físico de un cuerpo de agua determinado, son responsables principalmente del movimiento de huevos y larvas de invertebrados, y parcialmente de la migración de juveniles de peces (Roughgarden ***et al.*** 1988, *fide* Okubo 1994).

La estrecha relación existente entre los procesos físicos de transporte de masas de aguas y la ecogeografía de los organismos marinos que tienen estados de crecimiento en fase planctónica, ha sido establecida a través de sus investigaciones por autores tales como Epifanio (1988), Okubo (1980, 1994), Scheltema (1975, 1986) y Thorson (1961). Estos procesos físicos influyen sobre el asentamiento larval, el intercambio genético entre distintas poblaciones de una especie dada, el abastecimiento de las áreas de reclutamiento, la dispersión de propágulos a una escala local y a una escala interoceánica.

Los estudios oceanográficos incluyen la evaluación de los procesos que permiten el movimiento de las partículas en suspensión en la columna de agua. Esta evaluación incluye la determinación de dispersión de la corriente del cuerpo de agua y la determinación de velocidad de la misma.

Según Pilgrim (1975), la corriente en un cuerpo de agua es el desplazamiento de su flujo durante un tiempo dado. Para poder estudiar estos desplazamientos, se

hace necesaria la medición directa del movimiento de la corriente, medición que puede ser realizada mediante dos métodos básicos: euleriano y langrangiano. La medición euleriana, como la describen Neshyba & Fonseca (1981), es realizada colocando un sensor referencial en un punto fijo en el espacio, que permite medir el flujo de agua sobre éste. El sensor utilizado con mayor frecuencia es el correntómetro fijo, consistente en un instrumento que se alinea en la dirección de la corriente y mide su velocidad, generando un registro de dirección y magnitud del flujo. El método langrangiano, en cambio, describe la trayectoria de un pequeño volumen de agua; lo que puede realizarse con algún mecanismo inducido a moverse con el fluido, cuya posición en el espacio es medida a intervalos de tiempo predeterminados (Neshyba & Fonseca 1981).

La dispersión de material en suspensión en el mar es su transporte ocasionado por el gradiente de concentración y por el sistema de corrientes de agua. Depende principalmente de los procesos físicos de difusión y advección. Se entiende por difusión el transporte de masa de agua debido a los gradientes ocasionados por diferencias de concentración, y advección como el transporte de masa de agua producido por el movimiento del fluido, sin considerar procesos de mezcla (Burgos 1988). A pesar de que los procesos de difusión y advección ocurren por separado, ellos son aditivos (Malet *com. pers.*).

Para el estudio de los procesos de difusión y advección en el océano se han desarrollado varios métodos experimentales; algunos de los métodos

langrangianos, por ejemplo, utilizan colorantes, fotografías aéreas, derivadores, (Sánchez ***et al.*** 1994), determinándose el alejamiento del elemento indicador respecto de su centroide (centro de masa), en un intervalo de tiempo (Alvarez-Sánchez ***et al.*** 1988). La teoría de varianza de la difusión amplia de un grupo de partículas está referida al estudio estadístico del desplazamiento de partículas en el agua. Como lo establece Okubo (1980), este tratamiento estadístico de la difusión toma a la desviación estándar de la distribución de partículas como la "difusión amplia". En el caso de tratarse de la difusión desde una fuente instantánea, se considera el tiempo de variación en que se desarrolla la propagación, y en el caso de venir desde una fuente continua, la variación de la propagación será función de la distancia. Desde un punto de vista teórico, el cuadrado de la desviación estándar, la varianza estadística, es mejor que la desviación estándar en sí misma.

Los primeros antecedentes de estudios de tipo langrangianos en Chile datan de principios de siglo, con motivo de la construcción del molo de abrigo del puerto de Valparaíso, cuando la Comisión Krauss realizó un estudio de corrientes en el área de punta Ángeles en 1902 (Hickmann 1978). Trabajos posteriores han sido realizados en los últimos años, la mayoría de ellos de carácter reservado, solicitados por las empresas, para cumplir con las normativas ambientales vigentes. Entre los estudios de carácter científico se puede citar los realizados por

Alvial & Moraga (1986), Pino & Cisternas (1990)[1], Malet (1990)[2], Montecinos ***et al.*** (1990)[3], Malet & Andrade (1991)[4], Moraga & Olivares (1991)[5], Urrutia ***et al.*** (1993), Malet (1995)[6] y Brito (1995)[7], todos ellos tendientes a generar información de circulación costera en bahías.

La rada El Algarrobo se ubica en la zona central del país, a 37 km al norte del puerto de San Antonio. Esta zona adquiere importancia por la presencia de un banco natural de almejas, que está siendo explotado regularmente desde hace seis años por la comunidad local de pescadores. Así mismo, la zona está registrando un explosivo aumento en la construcción urbana, con complejos que se están construyendo preferentemente en el borde costero. La rada se ha caracterizado también por la alta actividad deportiva náutica que se desarrolla durante todo el año. Andrade & Salazar (1995), en un estudio de las

---

[1] Pino, M & M Cisternas. 1990. Mecanismos de transporte de sedimentos psamíticos en los estuarios Valdivia y Tornagaleones y Bahía de Corral. Resumen X Jornadas de Ciencias del Mar.

[2] Malet, B. 1990. Campo de Circulación en la bahía de Quintero, Chile. Resumen X Jornadas de Ciencias del Mar.

[3] Montecinos, A, F Balbontin & F Alcázar. 1990. Análisis de circulación superficial en el área de Valparaíso mediante botellas de deriva. Resumen X Jornadas de Ciencias del Mar.

[4] Malet, B & H Andrade. 1991. Estudio del sistema de circulación en la bahía de Quintero (33° 45' S, 71° 30' W) utilizando derivadores langrangianos con sistema electromecánico. Resumen XI Jornadas de Ciencias del Mar.

[5] Moraga, J & J Olivares. 1991. Algunas características oceanográficas de la bahía de La Herradura. Resumen XI Jornadas de Ciencias del Mar.

[6] Malet, B. 1996. Contribución a los estudios de corrientes costeras: alternativa de posicionador langrangiano. Resumen XIII Jornadas de Ciencias del Mar.

[7] Brito, F. 1995. Estudio de circulación en la bahía de San Vicente, Chile. Resumen XIII Jornadas de Ciencias del Mar.

consideraciones ambientales en la administración del suelo realizado en la zona central, plantean el acuerdo de la comunidad científica nacional e internacional, de definir a la zona costera como un área con características propias, que esta sometida a procesos de interacción en las interfaces atmosférica, hidrosférica y geosférica, y que está siendo sometida a una intervención antrópica cada vez mayor. De lo anterior podemos decir entonces, que el desarrollo urbano en esta área traerá como consecuencias alteraciones al medio costero.

Estudios oceanográficos con fines propiamente de investigación de las aguas en la rada no han sido realizados, disponiéndose sólo de estimaciones de su movimiento que pueden ser estructuradas a partir de observaciones efectuadas en las bahías de Valparaíso y Quintero, y de trabajos de evaluación de impacto ambiental realizados por empresas del área (Fonseca *com. pers.*).

El área de estudio se encuentra afectada por el comportamiento estacional regido por el anticiclón del Pacífico Sur, típico de latitudes medias, que en la temporada de invierno experimenta un desplazamiento hacia el norte, dando paso a los frentes de bajas presiones, lo que se manifiesta en un cambio en el régimen de los vientos y del clima. Son entonces característicos de la zona dos tipos de tiempo atmosférico: uno con dominio anticiclónico, asociado al buen tiempo de primavera y de verano, y otro ciclónico, de mal tiempo e inestable, con avances depresionarios y frontales, que se concentra en invierno y otoño (Burgos 1988).

Este estudio se plantea a partir de la necesidad de obtener información sobre la circulación de las aguas de la rada El Algarrobo, su velocidad y procesos de dispersión. Esta información será de gran utilidad para estimar relaciones entre las corrientes costeras superficiales y los procesos biológicos que se producen en las aguas de la rada. Además resulta de interés conocer la posible distribución y efectos de material particulado externo al cuerpo de agua de la rada, al poder estimar con la información obtenida su desplazamiento superficial por la zona.

HIPOTESIS DE TRABAJO

La circulación superficial y los procesos de dispersión en la rada El Algarrobo estarían forzados principalmente por el viento y las mareas.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la circulación y dispersión superficial de las aguas en la rada El Algarrobo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer el patrón de circulación de las aguas superficiales de la rada El Algarrobo
- Determinar el proceso de dispersión de las aguas en el área de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la rada El Algarrobo (33º 20' 51" S; 71º 41' 30" W) (Fig. 1), durante los días 16 y 17 de abril de 1998 en período de otoño, los días 1 y 2 de octubre de 1998 en período de primavera y los días 20, 21, 26 y 27 de enero de 1999 en período de verano. Para posicionar los derivadores y presentar su trayectoria, se utilizó la Carta Nº 513 del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. El área de estudio se caracteriza por tener una profundidad de 20 a 15 m, con una zona de rompiente de aproximadamente 10 m de longitud, cubriendo un área aproximada a 0,24 km^2.

Para determinar la velocidad de las corrientes (campo de circulación) y la dispersión de las aguas, se realizaron mediciones durante un período diurno de mareas, en la etapa de marea llenante y en la etapa de marea vaciante, de acuerdo con la tabla de mareas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Se utilizaron 5 derivadores de tipo cortina. De cada derivador se midió su desplazamiento cada 15 minutos mediante triangulación realizada con sextantes operados por dos observadores, ubicados en la playa en los extremos norte y sur del área de muestreo (Figs. 2A y 2B). Los derivadores fueron construidos con una superficie de 1,5 m^2 de manga de polietileno de 0,5 mm de espesor, con listones de madera de 2,8 x 1,4 cm, de una longitud de 1,05 m, uniendo la estructura en sus bordes exteriores con hilo de nailon de 0,5 mm a fin de evitar un exceso de tensión en la cortina (Monahan ***et al.*** 1974)(Fig. 3). Para

verificar su estabilidad, se realizaron pruebas de diseño y estabilidad en el muelle recreacional que se ubica al costado norte del club de yates de Algarrobo, y en la playa en la zona de rompiente, determinándose a partir de esto un modelo modificado del presentado inicialmente en el Anteproyecto de Tesis, por ser éste inestable a la acción del oleaje y el viento (Fig. 4). Finalmente, los derivadores fueron dejados en el área de estudio por botes de la caleta de pescadores de El Algarrobo a la distancia seleccionada.

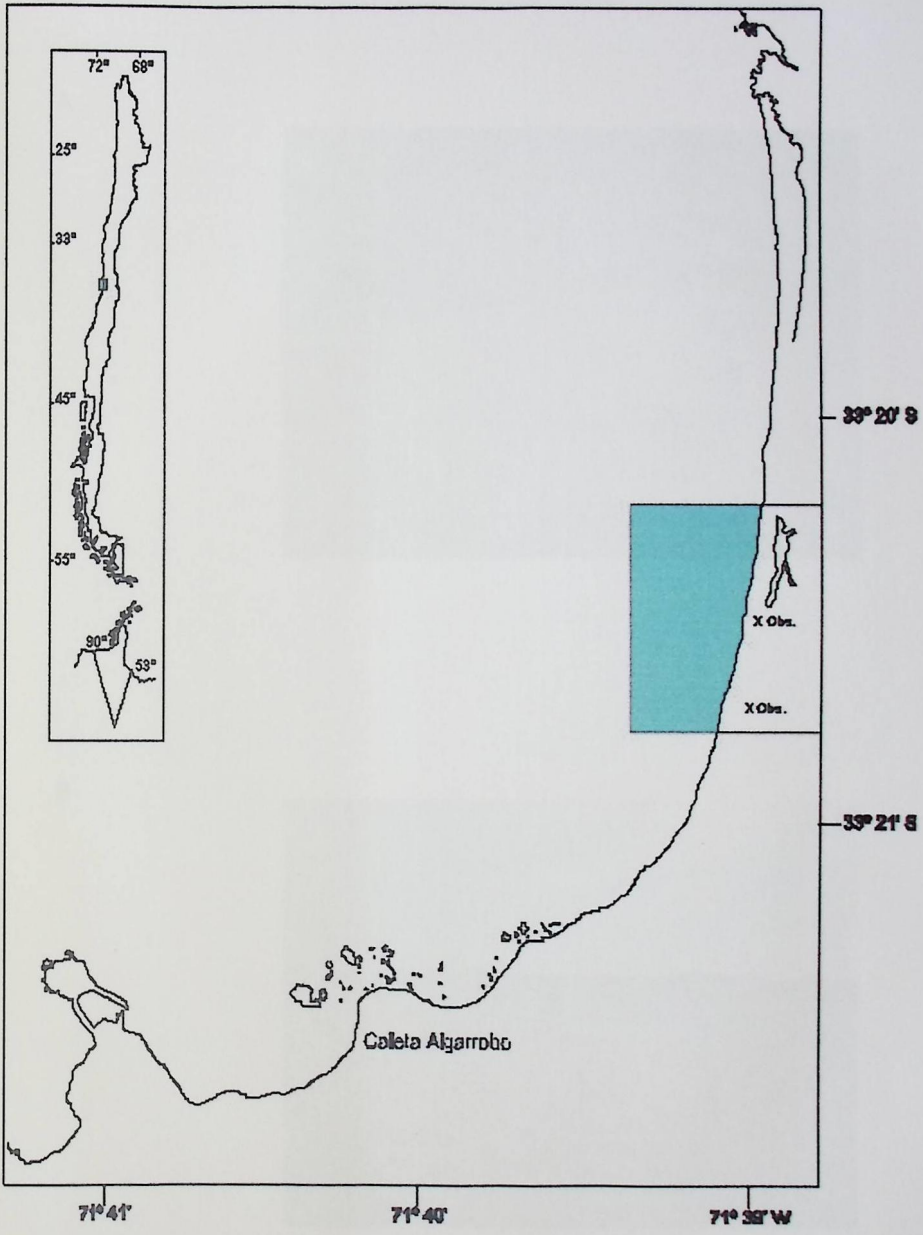


Figura 1. Rada El Algarrobo. En el recuadro derecho destaca la zona donde se realizó el estudio de corriente.

A



B



Figura 2. Vista desde los puntos de observación en la playa de la rada. A) Vista desde el extremo norte del área en estudio. B) vista desde el extremo sur del área en estudio.



Figura 3. Preparación de derivadores en la caleta antes de ser embarcados para su lanzamiento.

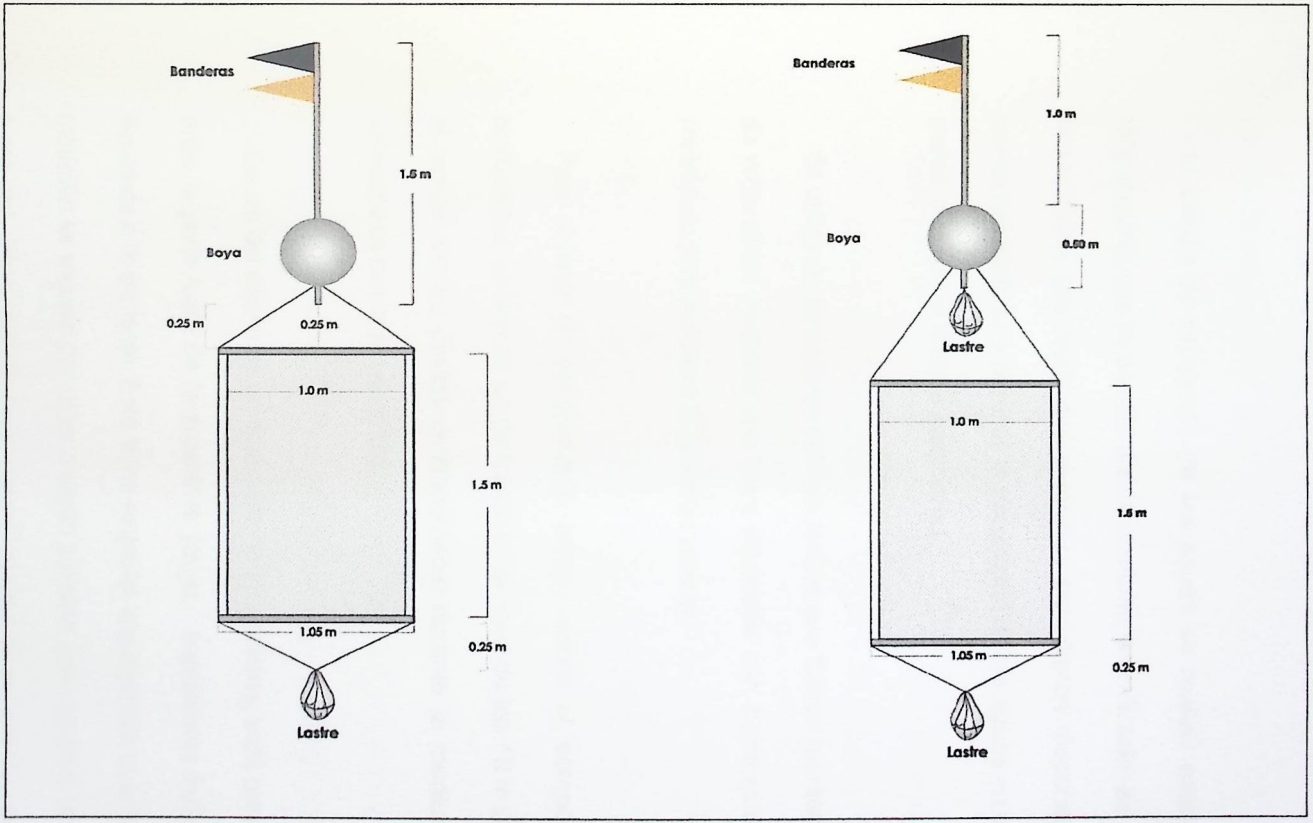


Figura 4. Diseño presentado en el anteproyecto considerando la literatura citada (izquierda), junto al diseño mejorado luego de las pruebas realizadas en el sector de playa y muelle recreacional, (derecha).

Método Langrangiano

El estudio de circulación de las aguas se realizó empleando metodología langrangiana, que es aquella donde el elemento indicador es inducido a moverse con el fluido. Los resultados obtenidos permitieron disponer de la información básica necesaria para describir la circulación de las aguas en un período diurno de marea, durante los días de mediciones.

Se utilizaron derivadores del tipo cortina que fueron mantenidos al nivel de 1 m de profundidad mediante una boya equipada con banderolas indicadoras y un contrapeso para mantener la posición vertical.

Para obtener un conocimiento básico sobre el comportamiento a mayor profundidad, se dispuso un derivador en el nivel de los 10 m de profundidad, para el registro de una posible contracorriente durante la medición de trayectoria y velocidad de corriente superficial.

Dentro del diseño de un derivador de tipo cortina, está considerada la relación entre la parte fuera de la superficie (boya, banderolas indicadoras) y la parte expuesta a la corriente. Esto tiene especial importancia cuando el mecanismo de medición es seguido por radar o algún sistema que requiere una porción expuesta fuera del agua, por lo cual estará sujeto a la acción forzante del viento, produciéndose una componente adicional de velocidad en los flotadores con el

resultado de que su movimiento aparente no es el de un trazador de corrientes puramente langrangiano.

Alvarez-Sánchez ***et al.*** (1982), consideran un estudio de Murray (1975) sobre corrientes superficiales en una región costera con intensidades de vientos de 5 $m^{\cdot}s^{-1}$ a 10 $m^{\cdot}s^{-1}$, en el cual se diseñaron derivadores con tres áreas sumergidas distintas de 0,09, 0,6 y 1,2 m^2. Las razones de área expuesta : área sumergida fueron 1:2, 1:8 y 1:32 respectivamente. Estudiando el comportamiento del flotador con razón 1:8, Murray calculó que el efecto del viento con intensidad de 5 $m^{\cdot}s^{-1}$ produjo una componente de velocidad de 3 $m^{\cdot}s^{-1}$ adicional en el movimiento del flotador.

En este estudio, el derivador presentó un área sumergida de 1,5 m^2, resultando una razón de área expuesta : área sumergida de 1:38, ya que se utilizaron boyas de poliestireno de alta densidad, lo que permitió que su tamaño fuera disminuído, y por lo tanto la superficie expuesta fuera del agua también. Las banderolas fueron atadas de forma que se orientaron al viento. Así entonces, y considerando que la velocidad del viento predominante en la zona durante el período de muestreo se midió entre 2 a 8 $m^{\cdot}s^{-1}$, se determinó que el diseño del derivador permitía despreciar el arrastre del viento.

Para un sistema langrangiano de medición, Dobson ***et al.*** (1982), citan a W. A. Vachon (1974), quien determinó dentro de una serie de diseños de derivadores de tipo langrangiano, diferentes coeficientes de arrastre medidos durante pruebas de modelos a escala. Se obtuvo como resultado que el mayor coeficiente de arrastre en los diseños utilizados en mediciones de esta categoría, que pueden ir desde crucetas hasta algunos con forma de paracaídas sumergidos, fue el correspondiente al derivador de tipo cortina sumergida.

Meteorología

Como información de vientos del área de interés, se consultaron las cartas sinópticas meteorológicas de gradientes de presión atmosférica, que permitieron evaluar el campo de viento de superficie que afecta el área. Estas cartas fueron obtenidas en el Servicio Meteorológico de la Armada, o a través de INTERNET. Se investigó, además, información registrada en la Capitanía de Puerto de San Antonio. Las mediciones *in situ* durante el período de mediciones, se hicieron utilizando un anemógrafo mecánico Wilh. Lambrecht, ubicado en el faro Punta Panul del puerto de San Antonio.

Mareas

Se utilizó la información entregada en las Tablas de Mareas de la costa de Chile, preparada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada

correspondiente a 1998 y 1999, para determinar las fechas y horas adecuadas para realizar las mediciones de trayectorias de los derivadores.

Para esto se consideraron como adecuados aquellos días con pleamar y bajamar entre las 08:00 h y las 14:00 h (marea vaciante), y con bajamar y pleamar entre las 08:00 h y 14:00 h (marea llenante). Se establecieron como horas de medición aquellas comprendidas entre las 09:00 h y las 14:00 h, debido a la hora de zarpe de los botes posterior a las 08:00 h, y a que la inclinación del sol sobre la superficie del mar durante la tarde dificulta la medición con los sextantes.

Velocidad de las corrientes

Para la determinación de la velocidad de las corrientes superficiales, se utilizó el método referencial sobre las trayectorias de cada derivador, a fin de medir los diferentes desplazamientos, a partir de observaciones realizadas desde tierra. Fueron considerados en todas las oportunidades los mismos puntos de referencia para los observadores y los derivadores.

Experimentalmente, los 5 derivadores fueron liberados sobre una línea de lanzamiento perpendicular a la playa a 500 m de la costa, con una separación de 15 a 20 m entre cada derivador, cuyos desplazamientos fueron posicionados mediante el uso de sextantes en intervalos de tiempo de 15 minutos.

Una vez obtenidos los registros a partir de los 2 sextantes, los datos fueron dibujados sobre un perfil la carta Nº 513 de la rada El Algarrobo, donde sólo aparecen la línea de costa y los puntos de referencia y de observación. Se midieron las distancias relativas entre un momento y otro de cada derivador, determinándose las trayectorias y desplazamientos seguidos por éstos.

Dispersión

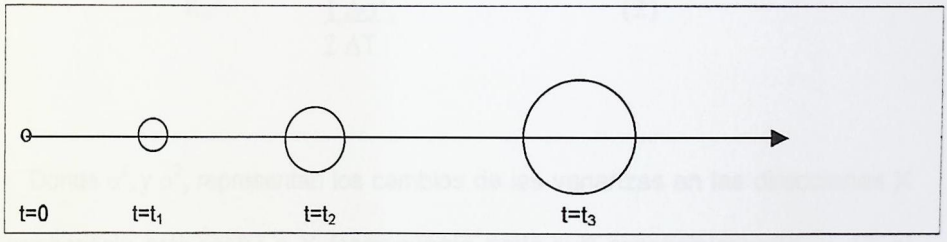
La dispersión de las aguas fue evaluada considerando las separaciones relativas de un grupo de cinco derivadores, partiendo con una separación de 1 m entre cada derivador al momento del lance. Para ello se determinó el alejamiento respecto del centroide (centro de masa) del grupo en intervalos de 15 minutos, dependiendo el tiempo de medición de factores como las corrientes, el viento, las horas de las mareas, etc.

La varianza de la posición de las partículas puede ser expresada en términos de la función de correlación o coeficiente de correlación de la velocidad de la partícula en dos tiempos diferentes (Taylor 1921). Esta función está determinada por la estructura de la turbulencia atmosférica u oceánica.

La difusión amplia depende de la estructura de la turbulencia (Okubo 1980). En los estados iniciales de difusión, cada partícula puede ser considerada como un dispersante superficial con velocidad inicial propia. La varianza se incrementa

linealmente con el segundo valor de tiempo o distancia. En estados posteriores de difusión, cuando la amplitud de un grupo de partículas parece mayor que el remolino más grande que efectivamente compone la turbulencia, la difusión subsecuente se asemeja a la difusión molecular. La varianza entonces se incrementa proporcionalmente al tiempo o distancia (Fig. 5). El coeficiente de proporcionalidad es la (constante) difusividad, pero esto es en magnitudes mucho mayores que la difusividad molecular. (Okubo 1980).

A



B

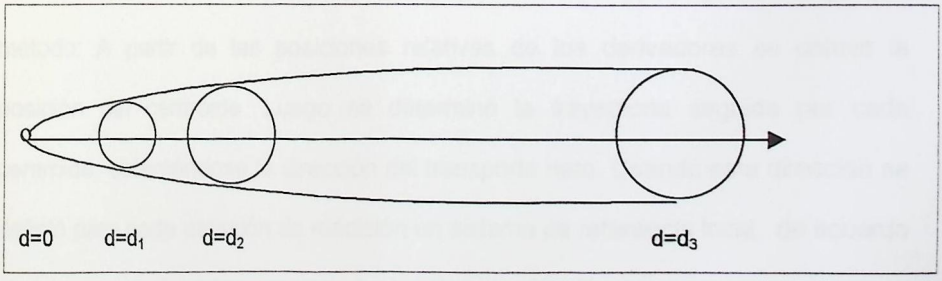


Figura 5. Incremento de la varianza. A) En el tiempo, para un grupo de partículas liberadas desde una fuente instantánea. $t=0 < t_1 < t_2 < t_3$. Okubo (1980). B) En la distancia, para un grupo de partículas liberadas desde una fuente continua. Okubo (1980).

De acuerdo con Okubo ***et al.*** (1982) *fide* Urrutia ***et al.*** (1993), la difusividad macroscópica en cada dirección puede ser asociada a las varianzas en la forma

$$K_x : \frac{1}{2}\frac{\Delta\sigma^2_x}{\Delta T} \quad (1)$$

$$K_y : \frac{1}{2}\frac{\Delta\sigma^2_y}{\Delta T} \quad (2)$$

Donde σ^2_x y σ^2_y representan los cambios de las varianzas en las direcciones X (componente este-oeste) e Y (componente norte-sur) respectivamente, y ΔT el tiempo transcurrido entre las determinaciones de las varianzas.

Para determinar las varianzas con respecto a X e Y, se utilizó el siguiente método: A partir de las posiciones relativas de los derivadores se obtuvo la posición del centroide. Luego se determinó la trayectoria seguida por cada centroide, obteniéndose la dirección del transporte neto. Usando esta dirección se definió para cada estación de medición un sistema de referencia local, de acuerdo al sistema coordenado correspondiente a los ejes X e Y.

Tanto la dependencia de la desviación estándar con la distancia recorrida por los centroides como la dependencia de la varianza con el tiempo, se obtuvo a partir de un ajuste numérico a los valores registrados.

Posteriormente, se calculó la variación de las varianzas con el tiempo, utilizando las expresiones (1) y (2) propuestas por Okubo ***et al.*** (1982) *fide* Urrutia ***et al.*** (1993), tanto para el eje X como para el eje Y, para material particulado en suspensión y derivadores.

RESULTADOS

Características generales de las trayectorias

La estructura de las trayectorias mostró características dinámicas de la corriente superficial en el área de estudio. Los cambios registrados en cada medición representan cambios en el corto plazo. Sin embargo, a través del estudio realizado en el plazo de 9 meses, se observa una tendencia similar en el comportamiento de estas corrientes. De acuerdo con un reconocimiento preliminar de las causas de esta variación, no sobresale el efecto del viento local cuyos cambios estacionales y diurnos se han definido por estudios previos, y por los registros tomados en la estación del faro punta Panul, donde se registraron vientos de moderada intensidad. Sin embargo, la relación entre las variaciones de marea y las trayectorias de la corriente superficial, es apreciable fácilmente.

Campaña de otoño, (abril 1998)

Las trayectorias descritas para este período mostraron una corriente con velocidad promedio de 4 $cm^{*}s^{-1}$ en una dirección ESE (Fig. 6).

Además se pudo apreciar una dispersión amplia de los derivadores a través de la zona de rompiente, orientados hacia el NE, con índices de varianza y coeficiente de difusión claramente mayores en la componente Y del sistema coordenado referencial, lo que significa un predominio del movimiento norte-sur (Fig. 7).

Campaña de primavera, (octubre 1998)

En este período, las trayectorias mostraron una corriente con velocidad promedio de 1,71 $cm^{*}s^{-1}$, con dirección predominante al E (Fig. 8).

Los índices que describen la dispersión de la corriente a partir de los desplazamientos de los derivadores, señalaron una variación uniforme en la separación de éstos relativa a los ejes coordenados X e Y, orientada hacia el NE (Fig. 9).

Campaña de verano, (enero 1999)

Las trayectorias seguidas por los derivadores durante la medición de velocidad superficial, mostraron una velocidad de 2 $cm^{*}s^{-1}$ en marea llenante, y de 10,5

$cm's^{-1}$ en marea vaciante, con dirección NE para la primera y S para la segunda (Figs. 10 y 13).

Los índices de varianza y coeficiente de dispersión mostraron una mayor magnitud en la componente X del desplazamiento de los derivadores, con poca variación en la componente Y, lo que representa una baja dispersión de la corriente para este período del año, con mayor dispersión en la marea vaciante. El 21 de enero se orientó hacia el NNE y el 26 de enero hacia el S (Figs. 11 y 12).

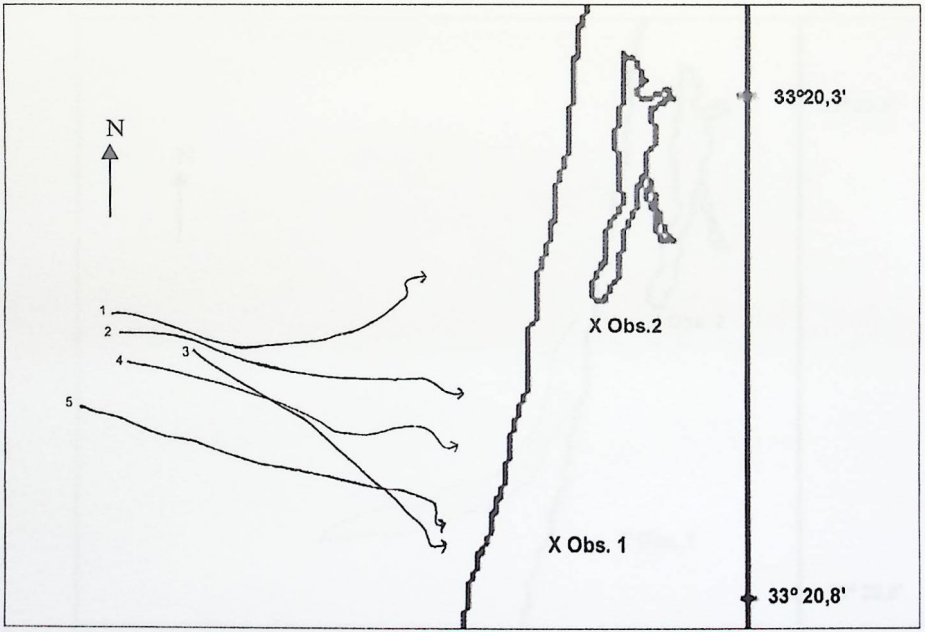


Figura 6. Trayectoria seguida por los derivadores el 16 de abril de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:40 h y las 13:20 h durante la marea llenante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0632 - 0.56 m; 1259 – 1.53 m; 1936 – 0.56 m

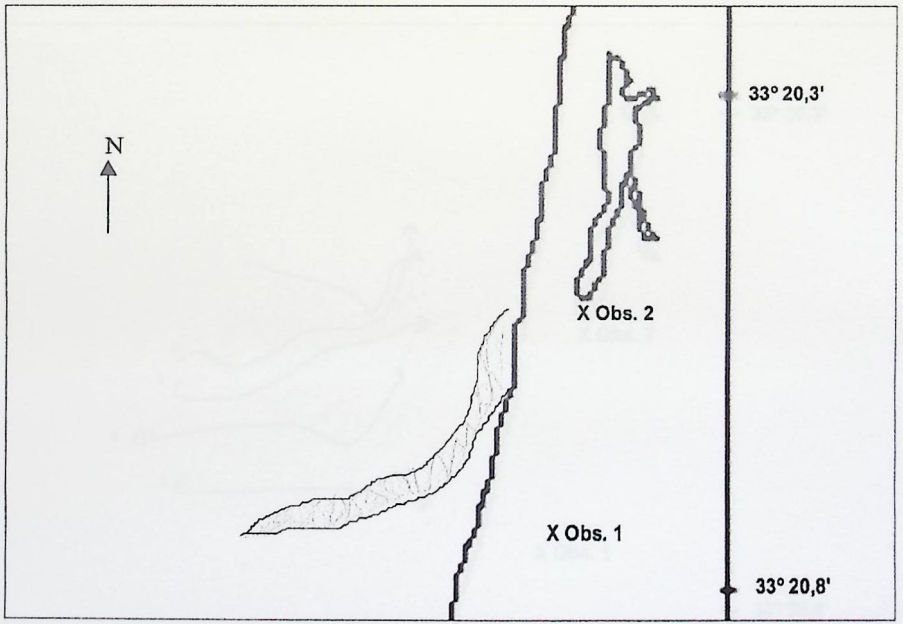


Figura 7. Trayectoria seguida por los derivadores el 17 de abril de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:10 h y las 13:30 h durante la marea llenante, en la medición de dispersión. Debido a la baja velocidad con que se desplazaron los derivadores, la individualización gráfica se dificulta, pudiendo sólo ser representado el movimiento del grupo. Los niveles de marea fueron: 0707 – 0.62 m; 1340 – 1.47 m; 2029 – 0.61 m

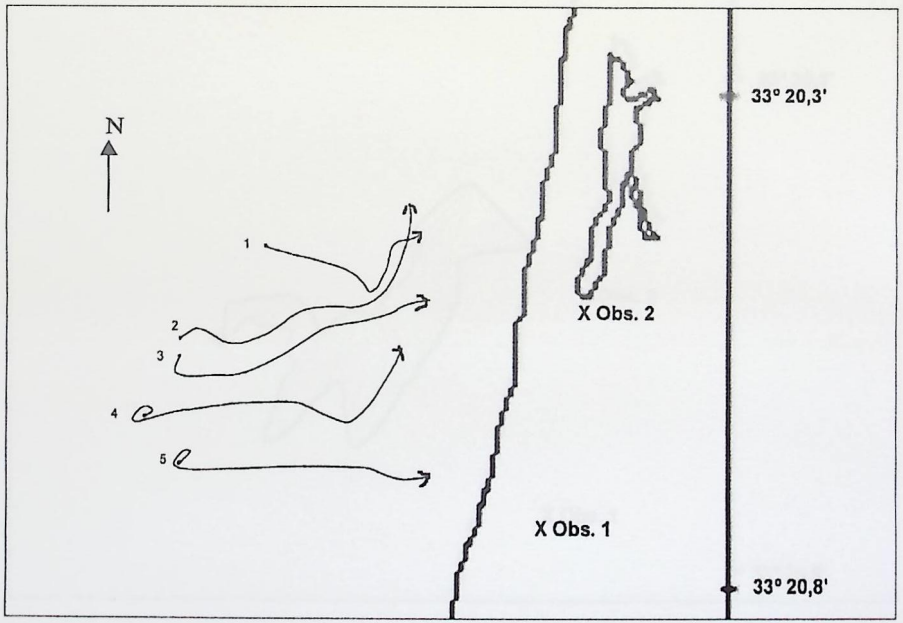


Figura 8. Trayectoria seguida por los derivadores el 1 de octubre de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:00 h y las 12:25 h durante la marea vaciante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0628 – 1.31 m; 1323 – 0.41 m; 1927 – 1.05 m

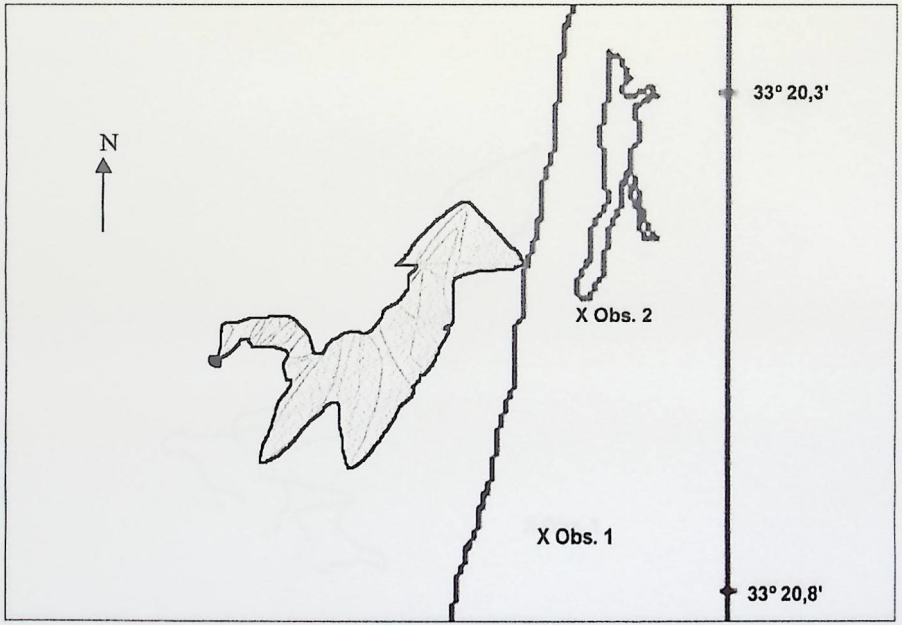


Figura 9. Trayectoria seguida por los derivadores el 2 de octubre de 1998, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 10:40 h y las 13:45 h durante la marea vaciante, en la medición de dispersión. Debido a la baja velocidad con que se desplazaron los derivadores, la individualización gráfica se dificulta, pudiendo sólo ser representado el movimiento del grupo. Los niveles de marea fueron: 0723 – 1.39 m; 1403 – 0.31 m; 2007 – 1.16 m

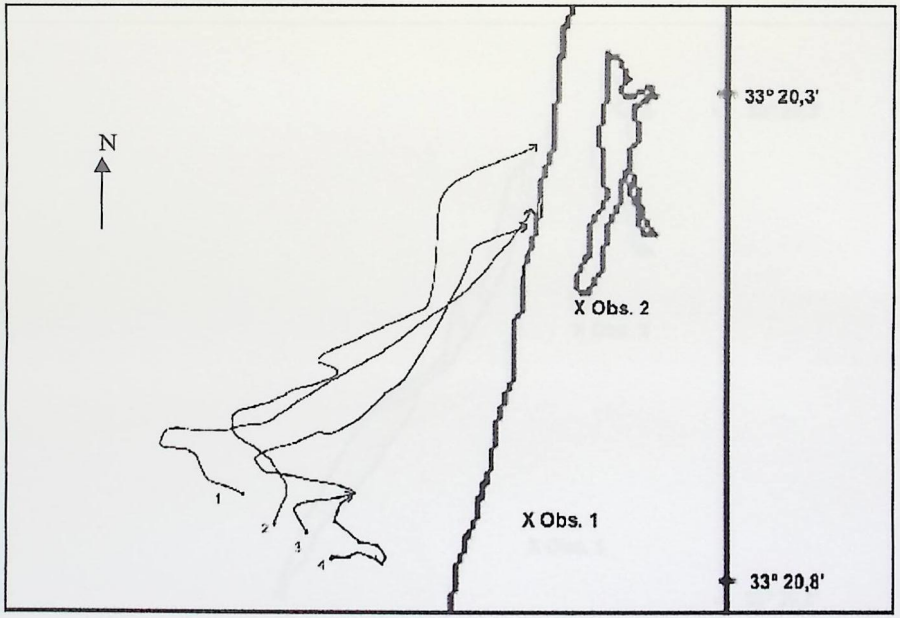


Figura 10. Trayectoria seguida por los derivadores el 20 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:10 h y las 13:40 h durante la marea llenante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0630 – 0.31 m; 1224 – 1.24 m; 1806 – 0.43m.

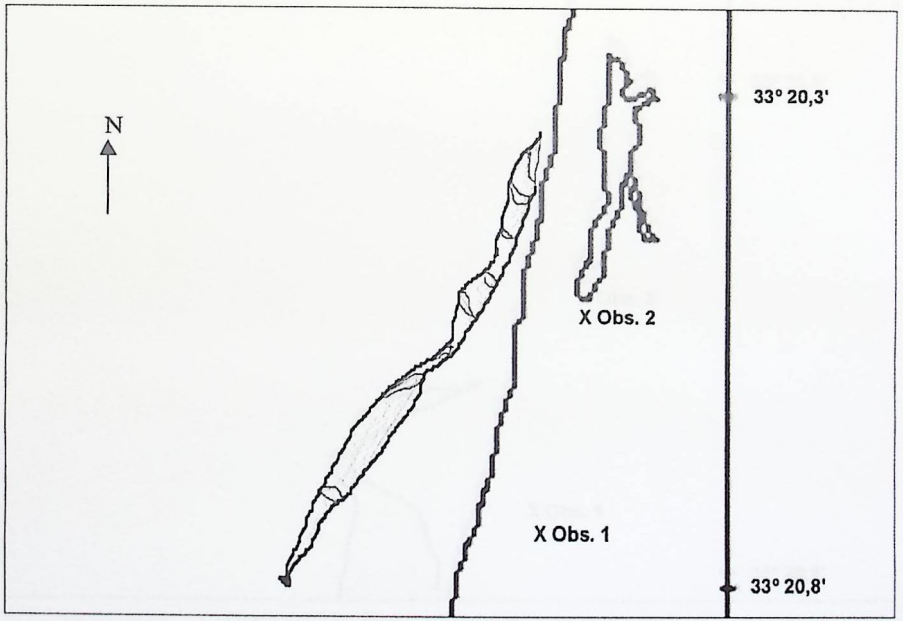


Figura 11. Trayectoria seguida por los derivadores el 21 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 08:50 h y las 10:55 h durante la marea llenante, en la medición de dispersión. Los niveles de marea fueron: 0710 – 0.32 m; 1308 – 1.26 m; 1942 – 0.51 m

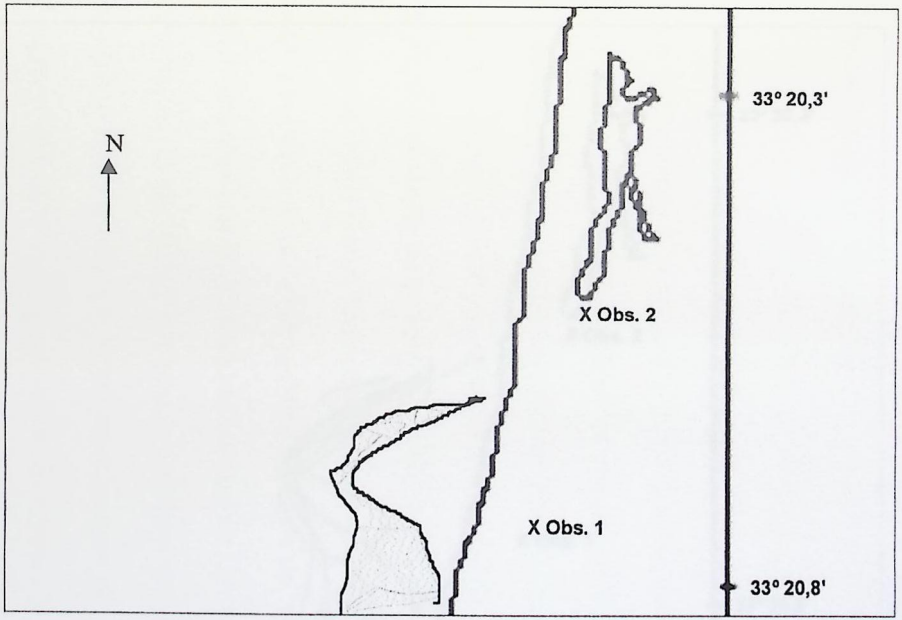


Figura 12. Trayectoria seguida por los derivadores el 26 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:05 h y las 11:10 h durante la marea vaciante, en la medición de dispersión. Los niveles de marea fueron: 0508 – 1.21 m; 1127 – 0.48 m; 1812 – 1.44 m

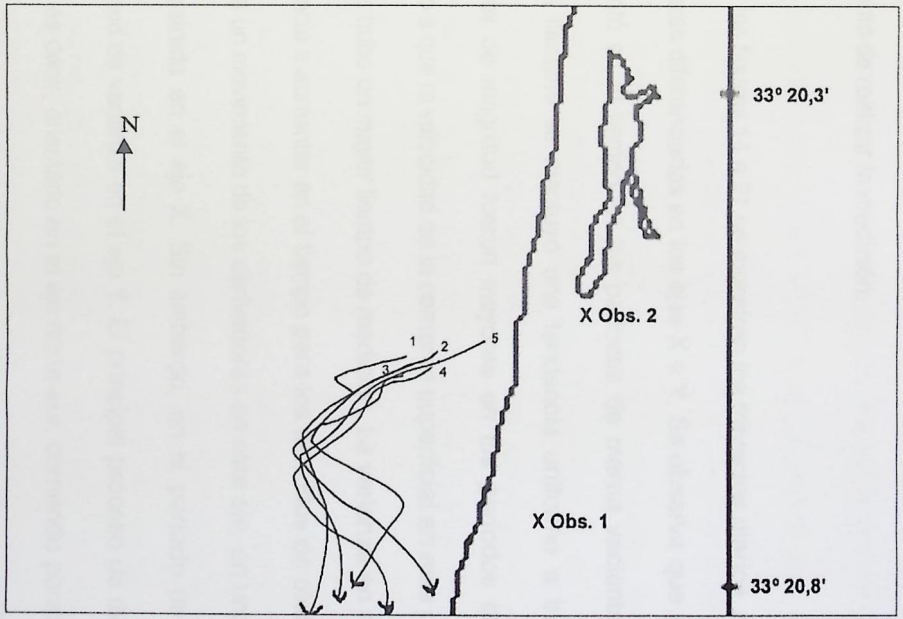


Figura 13. Trayectoria seguida por los derivadores el 27 de enero de 1999, en la zona estudiada de la rada El Algarrobo, entre las 09:00 h y las 11:00 h durante la marea vaciante, en la medición de velocidad. Los niveles de marea fueron: 0628 – 1.18 m; 1229 – 0.47 m; 1914 – 1.55 m

Análisis estadístico de la dispersión

La evolución temporal de los derivadores permitió determinar las varianzas representativas de su separación con respecto al centroide del grupo en el momento de realizar la medición.

En las figuras 14 a 21 se muestran los trayectos diarios, correspondientes a las varianzas diferenciadas en los ejes X e Y. Se observa que la varianza en el eje X aumentó en el tiempo en los períodos de marea vaciante, mientras que en la marea llenante se mantuvo una tendencia uniforme a través del tiempo. Los órdenes de magnitud fueron mayores en los períodos de otoño y primavera, debido a que la velocidad de la corriente superficial en este período fue menor, por lo cual hubo un mayor tiempo de medición. La varianza en el eje Y , presentó una tendencia a aumentar en el tiempo para los períodos de otoño y primavera, lo que denota un movimiento de los derivadores en este eje, en una mayor magnitud que la registrada en el eje X. Sin embargo, en el período de verano disminuye la magnitud de varianza en el eje Y. El principal proceso de dispersión ocurrió en el eje Y, es decir, orientado en el eje norte-sur, corriendo paralelo a la línea costera, lo cual tiene mucho sentido si se considera que la medición fue realizada en la zona costera a una distancia máxima de 750 m de la costa. Para poder realizar una adecuada apreciación de los valores registrados, en las figuras 20 y 21 se disminuyeron sus escalas en el eje Y.

En las figuras 22 a 29 para coeficientes de difusión se observa que el coeficiente K_x, que representa el cambio entre las varianzas de los derivadores en el eje X correspondiente al desplazamiento este-oeste, registró diferente comportamiento para las mediciones de marea vaciante y marea llenante. Mientras que para la marea llenante los valores fueron cercanos a 0 ó negativos, con magnitudes inferiores a 1 $m^2 \cdot s^{-1}$, en el período de marea vaciante presentaron magnitudes que alcanzaron a los 2 $m^2 \cdot s^{-1}$, manteniéndose en el verano esta relación a pesar de registrar menores magnitudes. Esto da cuenta de lo manifestado anteriormente con relación a que entre algunos intervalos de muestreo durante la marea llenante, los derivadores tendieron a agruparse levemente, lo cual se verificó en las figuras de trayectorias para los diferentes casos.

El coeficiente K_y, que representa el cambio entre las varianzas de los derivadores en el eje Y correspondiente al desplazamiento norte-sur, registró tanto valores positivos como negativos, con órdenes de magnitudes muy distintos entre las mediciones de otoño-primavera y las de verano. Sin embargo, se observó que a diferencia de los valores para K_x, tanto en marea vaciante como en llenante, los derivadores sufrieron modificaciones en sus posiciones, con tendencia a distanciarse en el tiempo. La diferencia principal en este eje está en la escala de magnitud, ya que mientras en el primer período las magnitudes alcanzaron a 5 $m^2 \cdot s^{-1}$, en el período de verano estas no sobrepasaron los 0,1 $m^2 \cdot s^{-1}$.

Las figuras 30 a 33, correspondientes a la desviación estándar, mostraron una tendencia lineal aumentando las distancias relativas entre cada derivador al transcurrir el tiempo; los órdenes de magnitudes nuevamente indicaron que el proceso se ve forzado por la velocidad de la corriente superficial.

Las velocidades de los distintos períodos de medición variaron de acuerdo con el período del año y el régimen de marea. Así, en el período de verano (enero), se registraron las mayores velocidades de la corriente superficial, lo cual no es coincidente con las mayores velocidades en el viento, que fueron registradas en abril, correspondiendo al período de otoño.

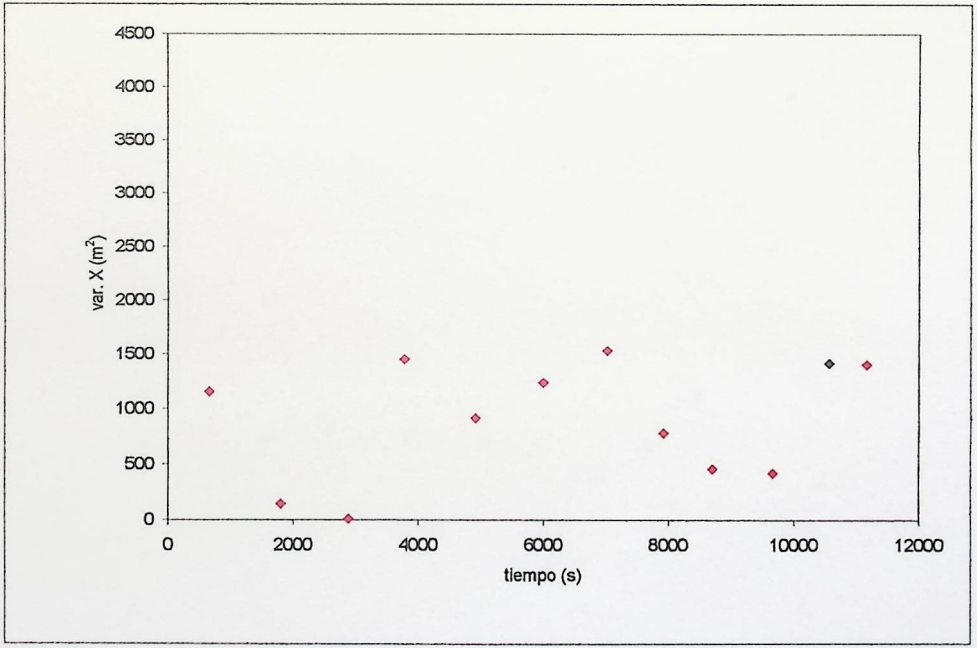


Figura 14. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.

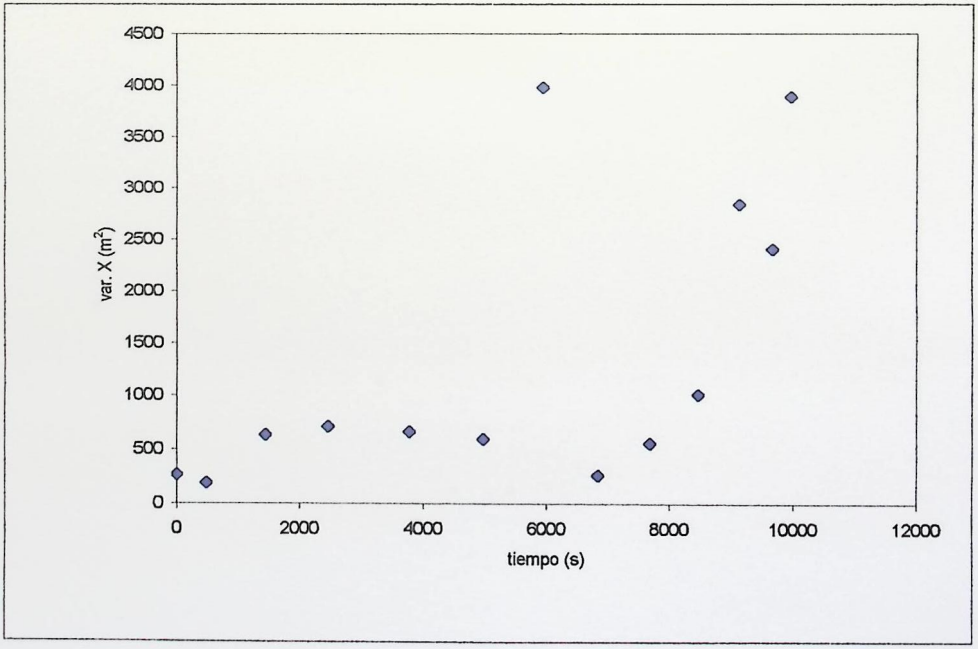


Figura 15. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.

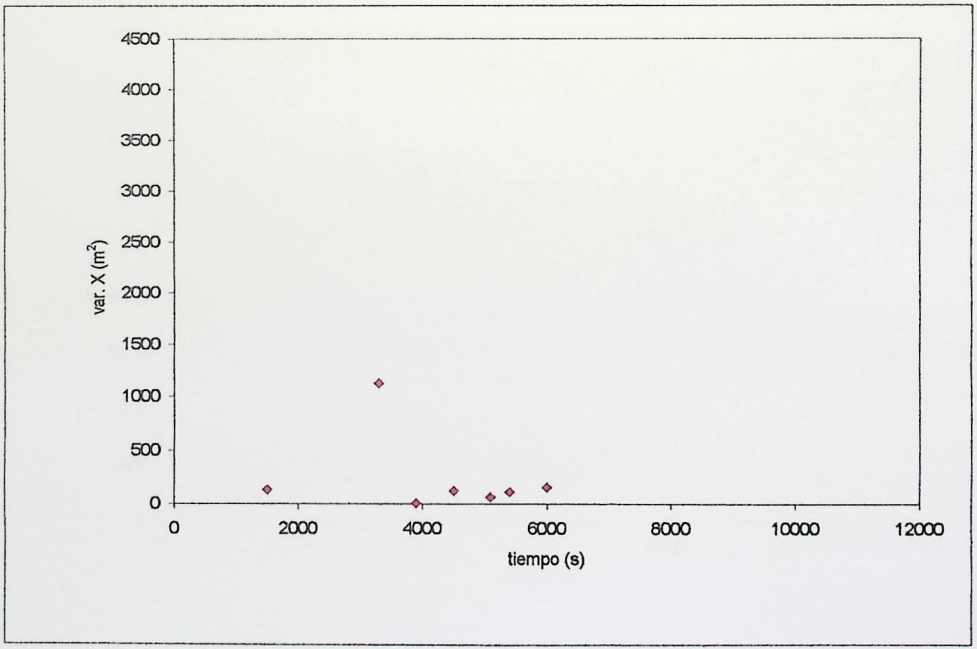


Figura 16. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

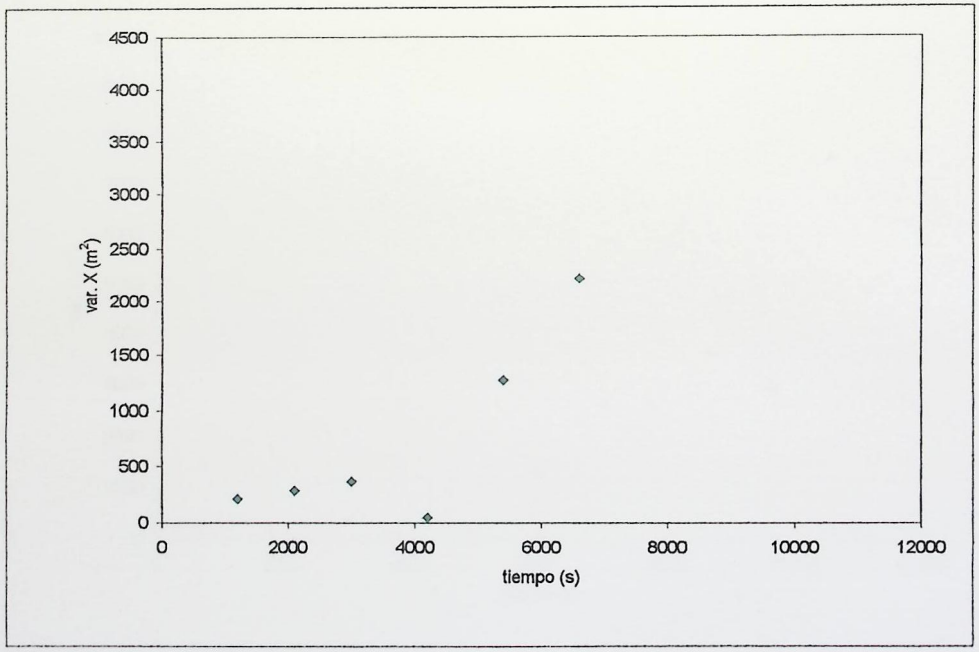


Figura 17. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

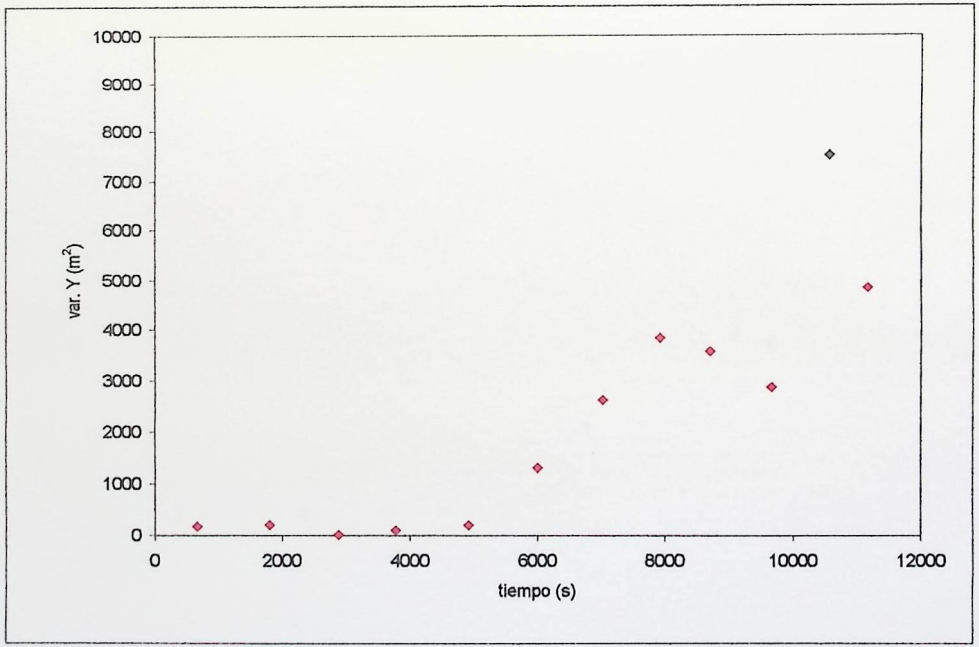


Figura 18. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.

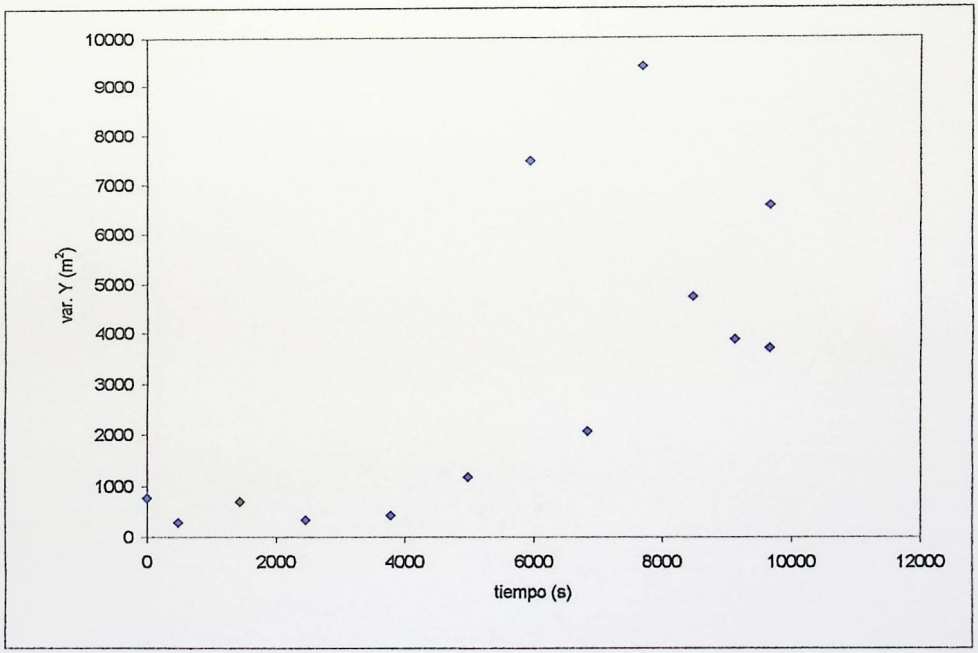


Figura 19. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.

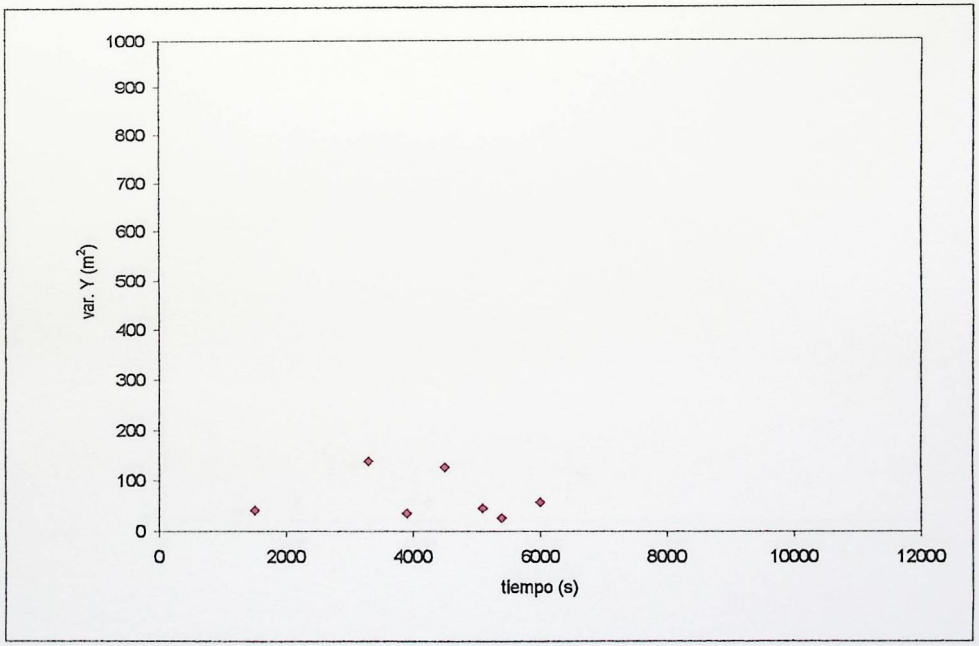


Figura 20. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. Se redujo la escala de eje Y para una mejor visualización de los datos.

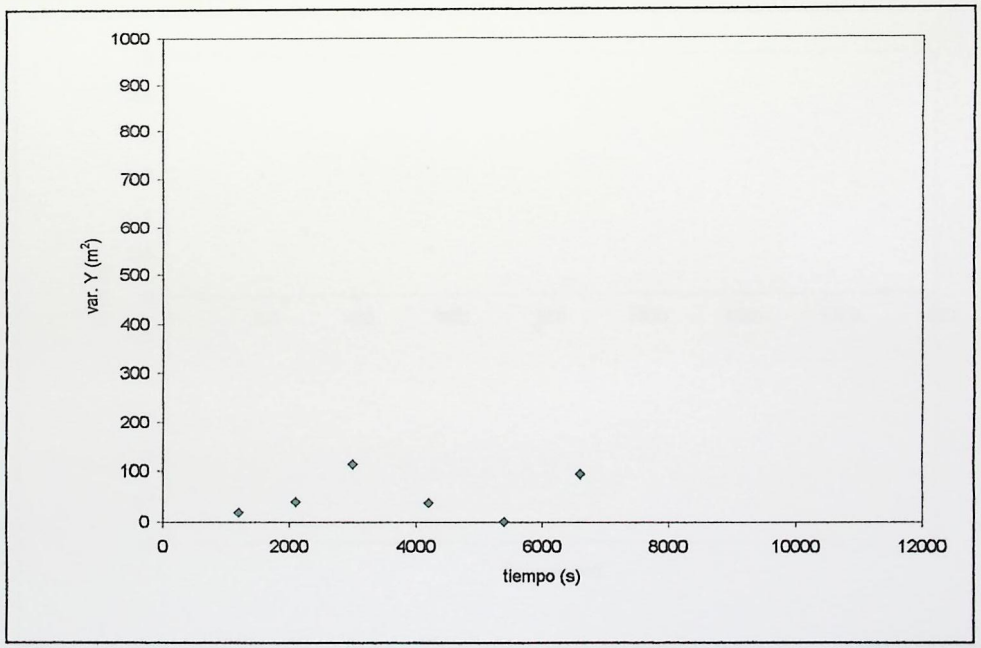


Figura 21. Representación de la varianza del desplazamiento de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo. Se redujo la escala de eje Y para una mejor visualización de los datos.

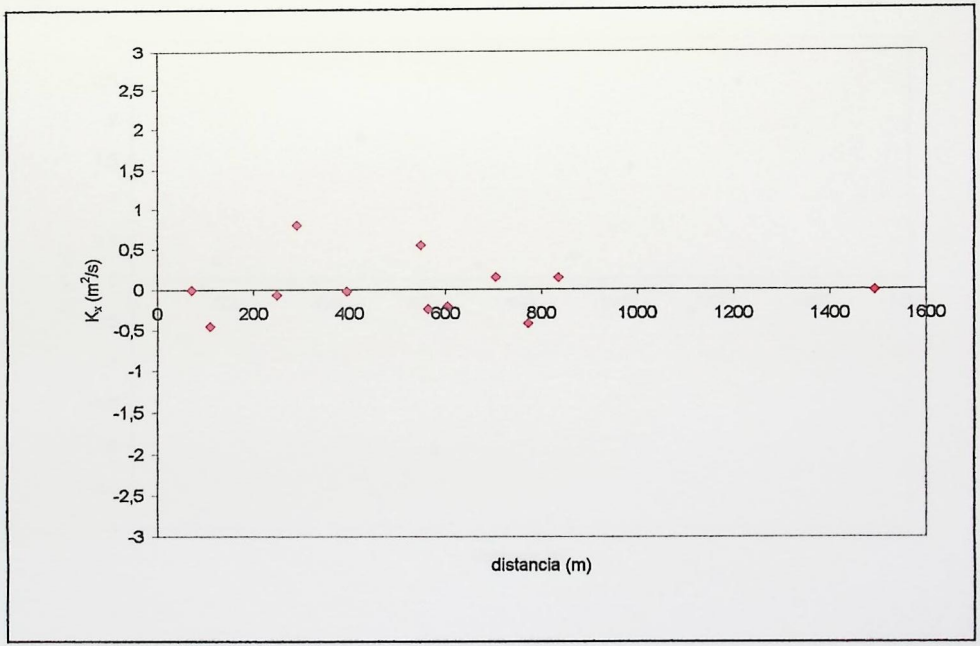


Figura 22. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.

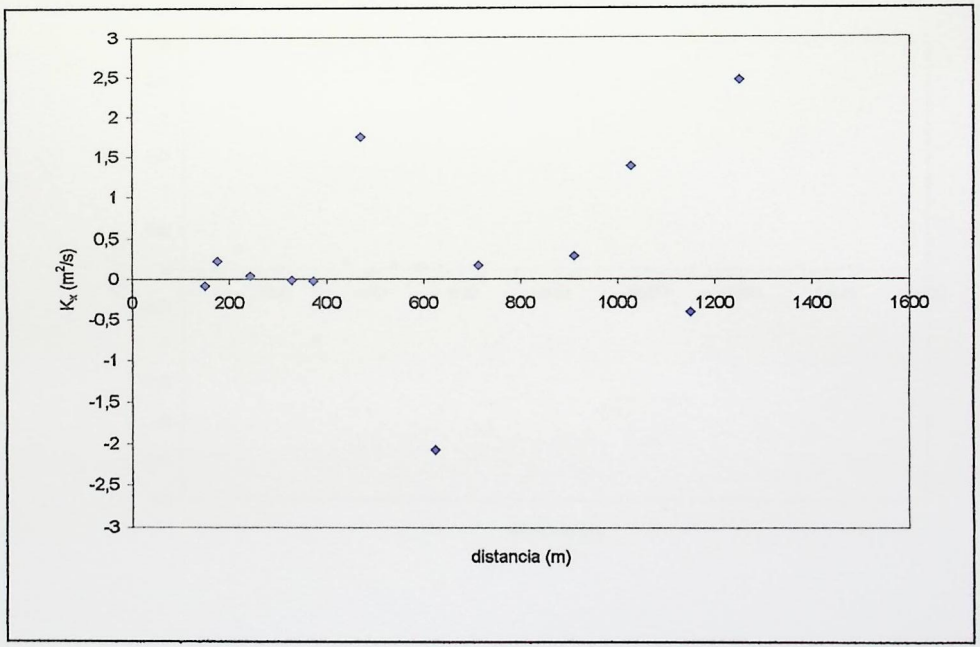


Figura 23. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.

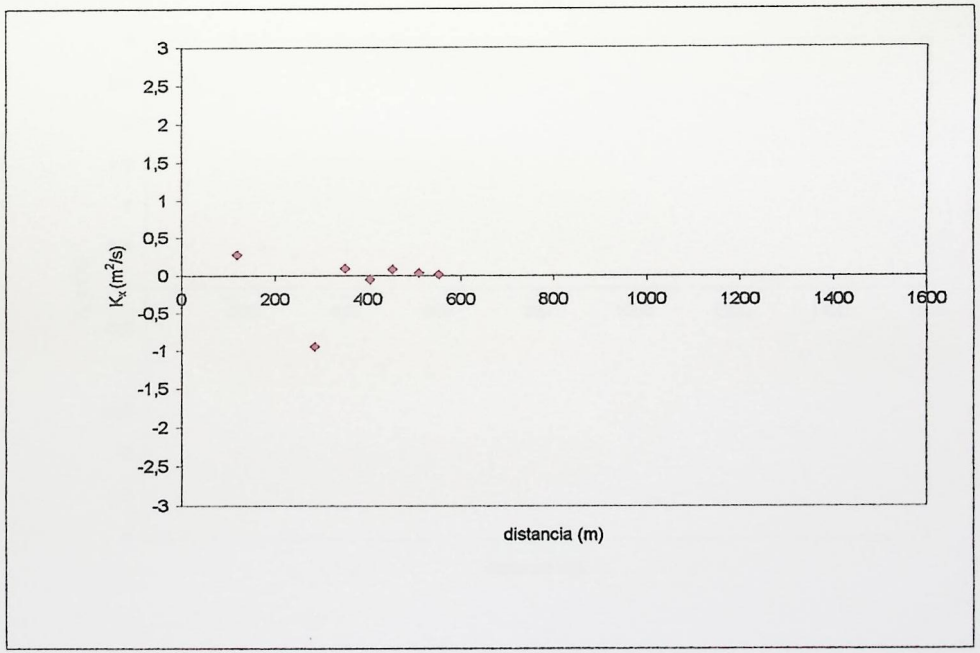


Figura 24. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

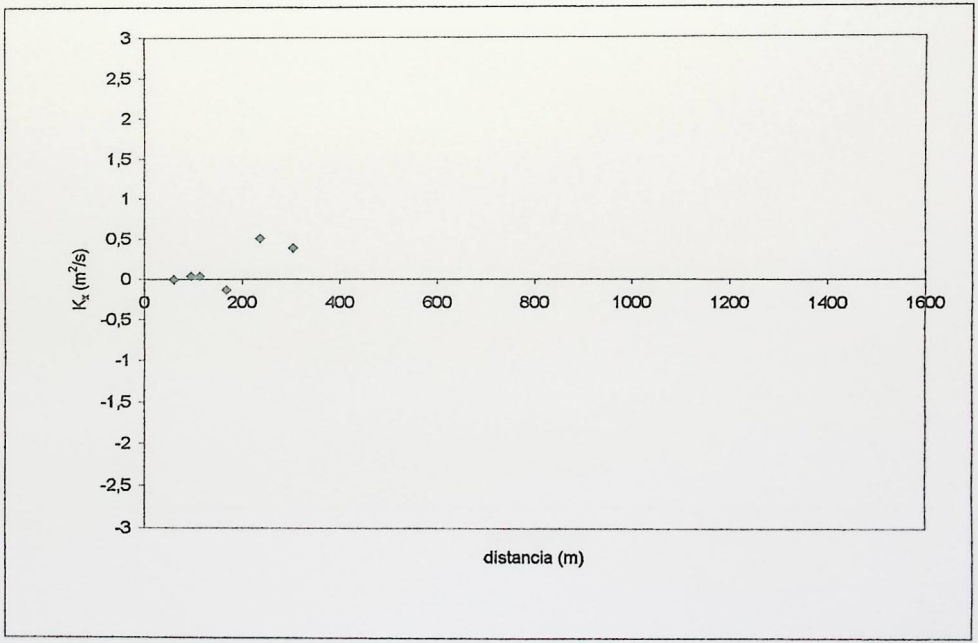


Figura 25. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje X, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

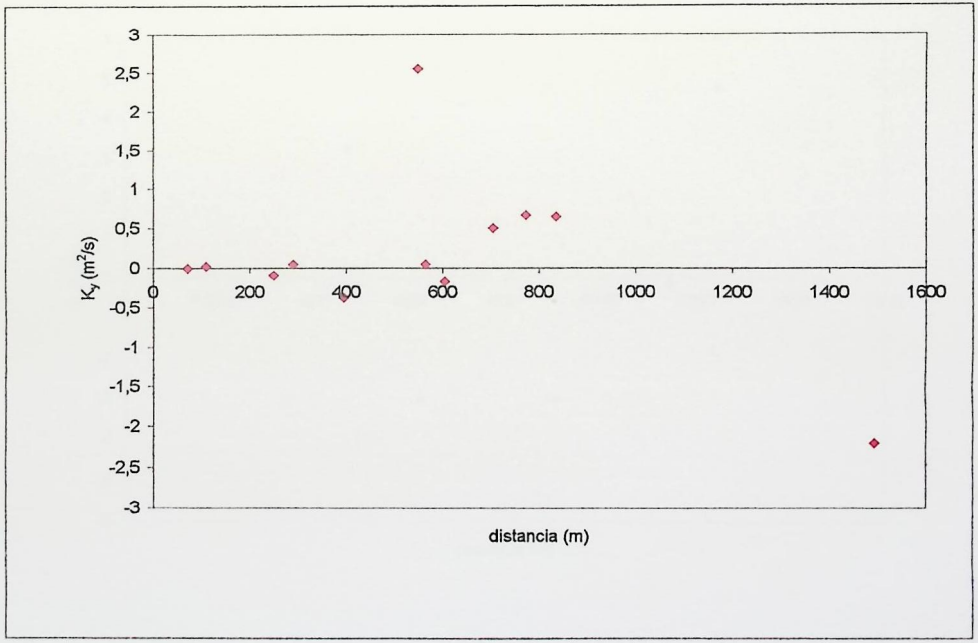


Figura 26. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.

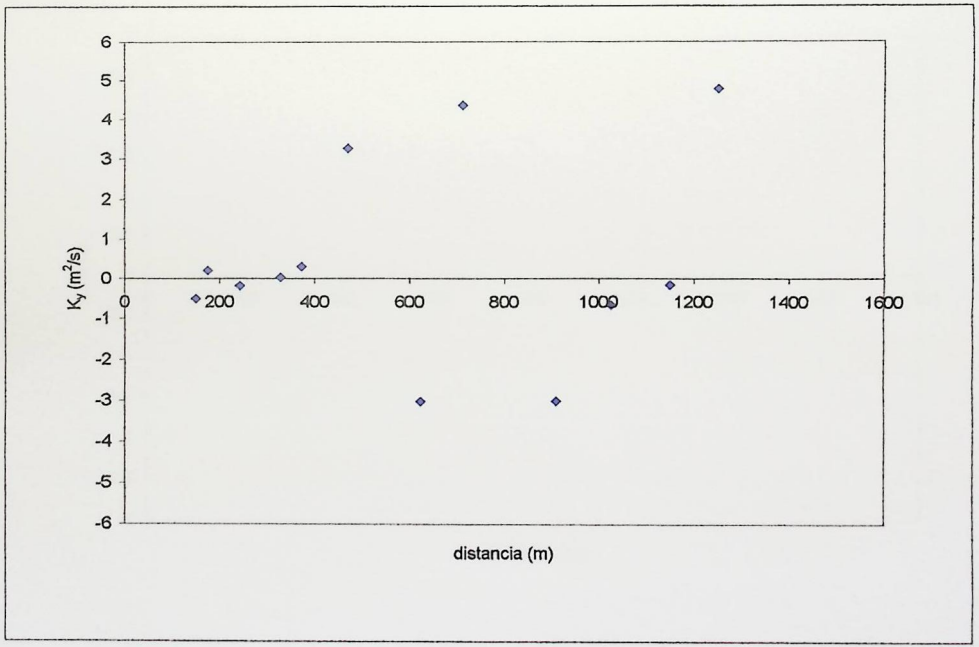


Figura 27. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo. Presenta una escala mayor para los valores de K_y que el resto de las figuras, debido a que el período registró mayores ordenes de magnitud.

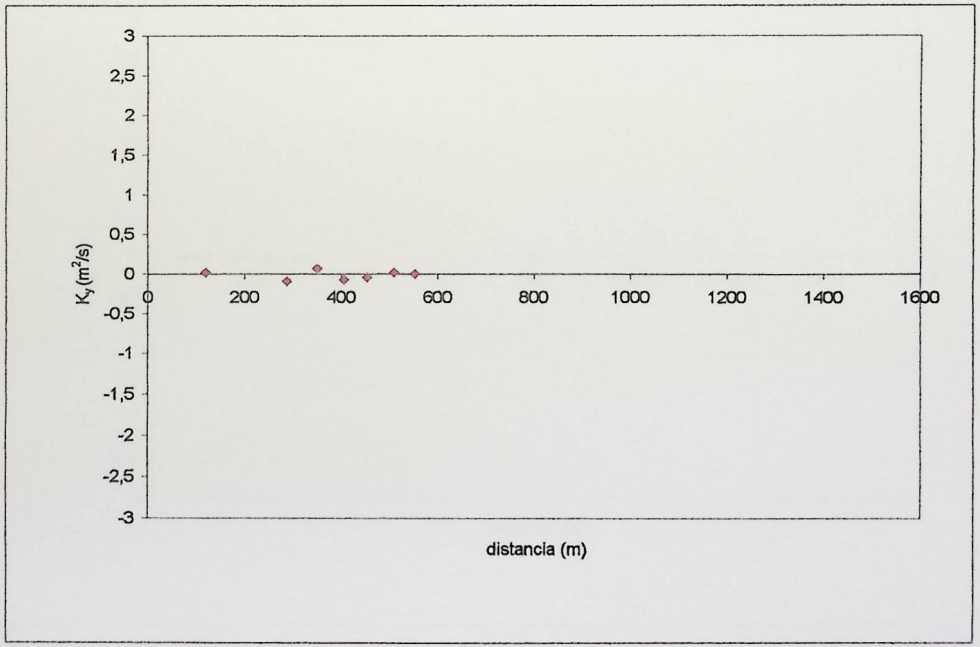


Figura 28. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

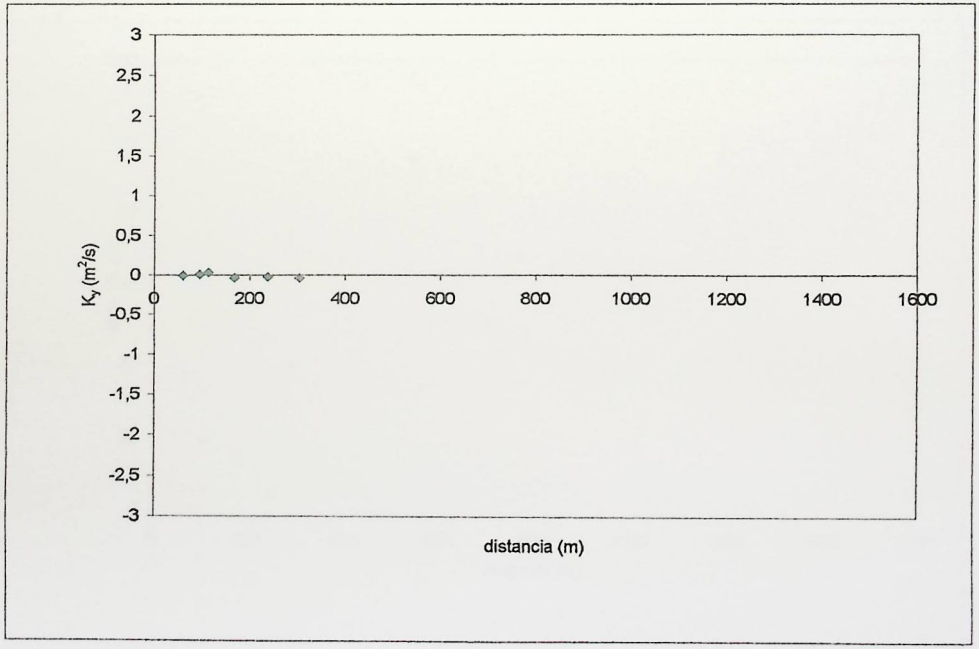


Figura 29. Representación del coeficiente de difusión de los derivadores en el eje Y, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

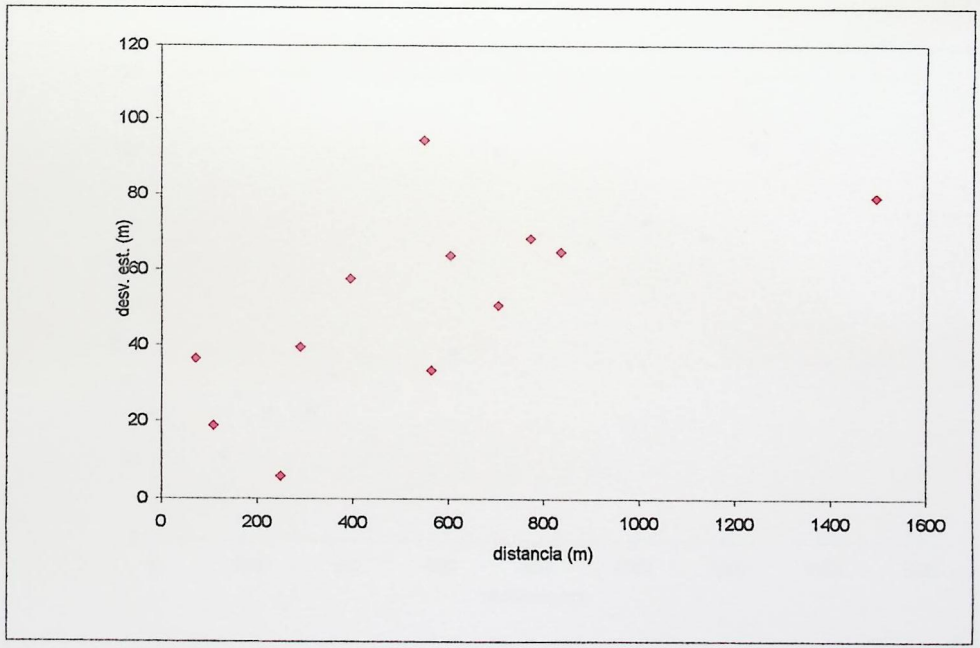


Figura 30. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea llenante, el 17 de abril de 1998 en la rada El Algarrobo.

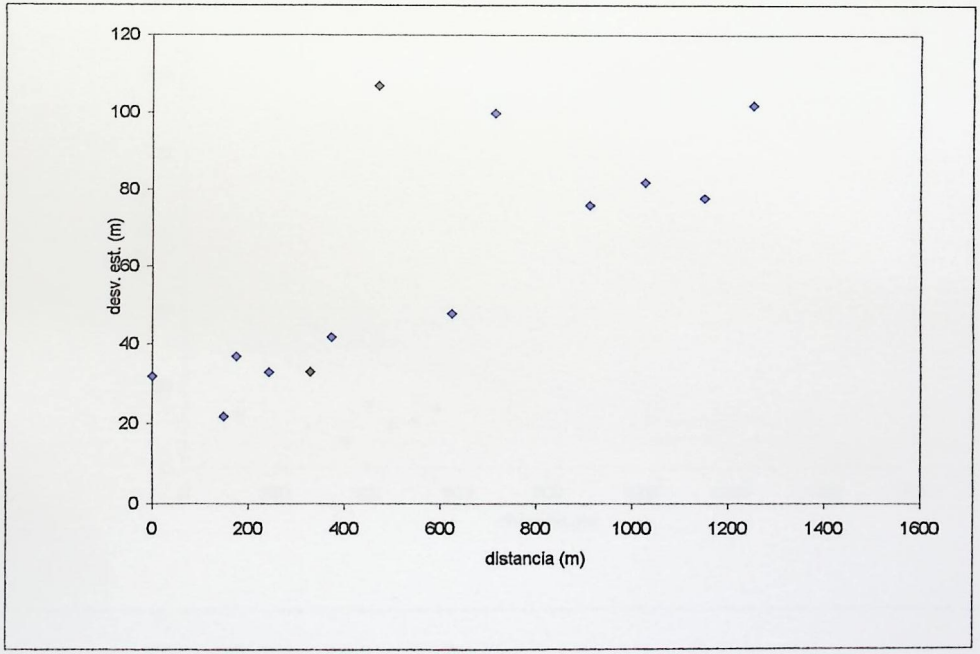


Figura 31. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea vaciante, el 2 de octubre de 1998 en la rada El Algarrobo.

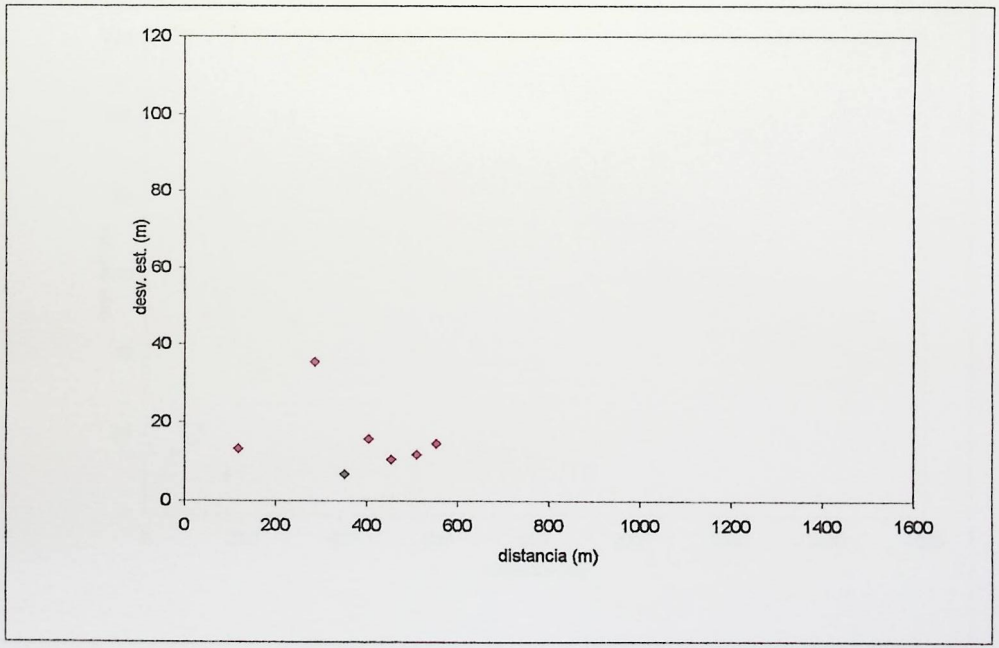


Figura 32. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea llenante, el 21 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

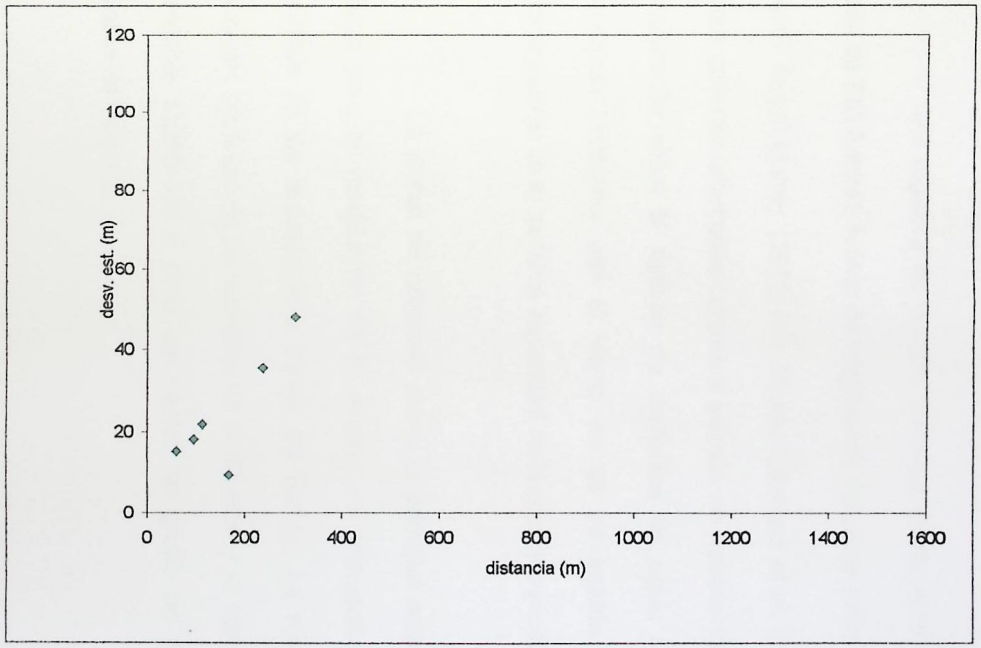


Figura 33. Representación de la desviación estándar del grupo de derivadores, durante el régimen de marea vaciante, el 26 de enero de 1999 en la rada El Algarrobo.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los registros de vientos, tomados desde el faro punta Panul, en el puerto de San Antonio, fueron de magnitudes variables entre los 4 $m^{*}s^{-1}$ a 0 $m^{*}s^{-1}$ (calmo). Según Murray (1975) *fide* Alvarez-Sánchez ***et al.*** (1982), magnitudes de vientos como las registradas durante el estudio, no representan acción forzante de consideración sobre el sistema de corrientes de agua superficial estudiado, permitiendo establecer que el viento no es un agente determinante en el comportamiento de la corriente superficial en la zona y período de observación.

La marea se presentó como el principal agente que proporciona energía para la modificación de la difusión, el transporte y el agrupamiento superficial de los derivadores a través del tiempo. La marea actuó en forma diferencial, produciendo un aumento de la difusión y el transporte en el sistema referencial establecido a partir del centro del grupo de derivadores en cada estación de medición.

Además, como se mencionó, se utilizó un derivador a 10 m de profundidad durante la medición para estimar la velocidad de la corriente subsuperficial. Sin embargo, debido a la topografía de la zona, este derivador sólo avanzó inicialmente quedando retenido antes de llegar a la zona de rompiente. Los pescadores de la caleta local, señalaron al investigador que en la zona

estudiada se registran corrientes subsuperficiales de dirección este-oeste, que avanzan por una topografía con zanjas de igual orientación, lo cual ratificó lo ocurrido al derivador a 10 m en cuanto a quedar anclado, y no coinciden plenamente con los registros superficiales obtenidos que mostraron un predominio del desplazamiento en la dirección norte-sur. Además, los buzos de la caleta indicaron la presencia de un banco de arena hacia el norte de la zona estudiada, en un sector que va desde las isobatas de 10 a 30 m, donde se realiza actividad extractiva del recurso almeja.

Los antecedentes entregados por Okubo ***et al.*** (1982) *fide* Urrutia ***et al.*** (1993), a partir de trabajos en los cuales se realizaron mediciones simultáneas con derivadores y material particulado en suspensión, señalaron que las partículas, ya sean derivadores langrangianos o material particulado disuelto en un agente marcador, obedecen a los procesos de dispersión y difusión. En rigor, las partículas en suspensión obedecerían a una difusión "tridimensional", es decir sobre los planos vertical y horizontal. Los derivadores en cambio, están sometidos a una difusión estrictamente sobre el plano horizontal. Por lo tanto, la tasa de sedimentación influirá en los valores calculados para los coeficientes de difusividad. Esto sugiere la necesidad de considerar este efecto en un estudio de los procesos que actúan sobre el material particulado en la rada El Algarrobo, a partir de este trabajo.

Como se mencionó en la introducción, los científicos que trabajan en el área marina, han reconocido ampliamente que las corrientes y turbulencias en el mar producen transporte y dispersión de huevos, larvas planctónicas y juveniles sobre distancias que son muy importantes desde el punto de vista de la ecología regional. Gardnier (1904), *fide* Thorson (1961), ya a principios de este siglo, discutía la relación entre la distribución de larvas y el transporte de éstas por las corrientes marinas. Posteriormente Epifanio (1988), Hannan (1984) , Okubo (1980, 1994), Palmer ***et al.*** (1996), Scheltema (1975, 1986), Thorson (1961), entre otros, realizaron trabajos en los cuales consideraban de importancia la relación de los procesos hidrodinámicos sobre la distribución de las especies susceptibles de ser transportados libremente por las masas de agua.

Al establecer que las larvas planctónicas obedecen a un patrón de sedimentación de material particulado en gran escala, como hace mención Hannan (1984), se puede decir, que en una escala temporal mayor los efectos hidrodinámicos afectarán el asentamiento inicial o el sitio inicial de depositación de las larvas, mientras que en una escala temporal menor, corresponderá la selección final de sitio de asentamiento por otros factores ajenos al hidrodinámico. De ahí que el estudio local de las corrientes superficiales permita estimar este patrón de asentamiento inicial de las larvas, explicando en gran medida la distribución que puedan presentar en el período de primavera y verano.

De este estudio, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La marea es el principal agente forzante en el sistema de corriente superficial en la rada El Algarrobo, existiendo una estrecha relación de ésta y el proceso de dispersión de las aguas.

- El viento no es un agente de forzamiento importante en el sistema de circulación del área estudiada en la rada. Sin embargo debemos considerar al respecto el corto período horario de estudio, y el hecho de requerirse baja magnitud en el viento local, a fin de que los botes pudiesen operar sobre el área de estudio, y liberar los derivadores.

- La circulación superficial en la rada El Algarrobo varía según la estación del año, siendo durante el verano cuando presenta la mayor velocidad de circulación, y la primavera cuando presenta la mayor dispersión.

- La dispersión en la corriente superficial de la rada, presenta un predominio del movimiento paralelo a la costa, es decir, orientado en el eje coordenado norte-sur.

Desde esta perspectiva, el conocimiento entregado en este estudio, permitirá una estimación inicial del recorrido que siguen los organismos en

estados planctónicos de desarrollo, si bien el área de estudio fue limitada al no cubrir la totalidad de la rada.

RECOMENDACIONES

Si bien anteriormente se mencionó que de acuerdo a la bibliografía consultada, el diseño de un derivador de tipo cortina entregaba el mejor coeficiente de arrastre para la deriva, el diseño propuesto debió ser mejorado para que pudiese sostenerse cerca de la zona de rompiente. En la zona de medición, no se presenta sólo una corriente unidireccional, sino que es una zona característica por su turbulencia, la cual de una u otra forma afectó el desplazamiento del sensor. En virtud de esto, se propone realizar los estudios posteriores en esta zona con un tipo de derivador que pueda ser sometido a la acción multidireccional de la corriente en la zona costera.

Este diseño deberá tener entonces el máximo de superficie de contacto con la corriente, y como ya se señaló, inevitablemente estará sometido a una acción bidimensional en el plano horizontal de la corriente. Debido a esto, el diseño se simplifica, resultando simplemente uno con cuatro caras de igual área de exposición, de dimensiones variables al tipo de zona a estudiar.

Debido a que el diseño experimental no permitía considerar mediciones sobre las isóbatas de 30 m y mayores, se recomienda completar esta etapa del estudio con mediciones de derivadores subsuperficiales liberados a estas profundidades, a fin de lograr obtener el registro más representativo del movimiento de la columna de agua.

La instrumentación utilizada para registrar los desplazamientos, 2 sextantes operados por observadores en extremos norte y sur de la zona de estudio, es de bajo costo operativo y simple aplicación, debiendo sólo coordinar las observaciones. Sin embargo, la medición se vio afectada por la capacidad de observación de cada operador de sextante, existiendo además una diferencia entre los equipos debido a la antigüedad de uno de ellos, que se manifestó en un menor alcance de observación.

Durante el período de pruebas, desarrollado en abril de 1998, se determinó una distancia máxima de observación para el derivador de 750 m aproximadamente a partir de la playa, hacia mar adentro, en condiciones óptimas del estado del mar (calma), sin neblina matinal y nubosidad parcial. Además, la capacidad de observación de cada operador de equipo dependió en gran medida de los colores utilizados para las banderolas, las que fueron diseñadas siguiendo la forma y color entregado por los pescadores de la caleta, quienes tienen boyas marcadoras en zonas distantes 1 milla de la costa, que deben ser vistas en condiciones de mar muy distintas a las de la costa y casi sin puntos referenciales. Así se llegó a determinar que los colores que mejor se divisan a grandes distancias son el negro y el naranja.

Para eliminar este tipo de efectos del diseño instrumental, se recomienda la utilización de otros sistemas de monitoreo de los desplazamientos de los

derivadores langrangianos, tal como la utilización del GPS (Global Positional System). El costo operacional del GPS es muy superior al del instrumento utilizado en este estudio. Los actuales métodos de estudios con GPS, implican la utilización de una embarcación que sigue a los sensores en sus desplazamientos, registrando sus posiciones en intervalos de tiempo. Cuando se presentan estudios en zonas costeras demasiado cercanas a una rompiente como la encontrada en la rada El Algarrobo, la operación del bote pondrá en peligro la vida de los tripulantes de la embarcación. Como una alternativa para resolver este riesgo sobre los investigadores, se sugiere aquella donde se instala un GPS a la boya de cada derivador de medición de corriente en la zona de rompiente (instrumento correctamente aislado), programado para registrar durante el tiempo que se estime tarde en llegar a la playa donde es recuperado.

Considerando lo anteriormente expuesto, se recomienda la utilización de una metodología langrangiana, con registro mediante triangulación de los desplazamientos de los sensores de deriva a lo menos por dos sextantes, como adecuada para un estudio preliminar, de bajo costo operacional, en un área no investigada anteriormente con orientación netamente científica, hasta que estén al alcance del investigador los recursos necesarios para realizar un estudio de corriente, sea esta superficial o subsuperficial.

LITERATURA CITADA

Alvarez-Sánchez, L G, R Hernández-Walls, & R Durazo-Arvizu. 1988. Patrones de deriva de trazadores langrangianos en la Bahía de Todos los Santos. Ciencias Marinas 14 (4): 135 -162.

Alvarez-Sánchez, L, M Uyeji & R Durazo. 1982. Observaciones de corrientes costeras superficiales mediante trazadores langrangianos: I. Bahía Todos los Santos, B. C. Informe Técnico OC - 82 - 03. Ensenada B. C.: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Departamento de Oceanografía. México. 64 p.

Alvial, A & J Moraga. 1986. Estudio de la circulación en la bahía de Iquique (20° 12' S, 70° 10' W) usando derivadores. Investigaciones Marinas, Valparaíso, 14: 17-33.

Andrade, B & A Salazar. 1995. La inserción del sistema natural en la administración territorial de la zona costera: El Balneario de Algarrobo. Revista de Geografía Norte Grande, 22: 15–19.

Burgos, M. 1988. Estudio de la dispersión de contaminantes en la zona costera. Tesis para optar al grado de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso. 56 p.

Dobson, F, L Hasse & R Davis.1982. Air–Sea interaction. Plenum Press. 801 p.

Epifanio, Ch. 1988. Transport of invertebrate larvae between estuaries and the continental shelf. American Fisheries Society Symposium. 3: 104 – 114.

Thorson, G. 1961. Length of pelagic larval life in marine bottom invertebrates as related to larval transport by ocean currents. En: M. Sears (ed.). Oceanography. American Association of Advances in Sciences Publication 67: 455 – 474.

Hannan, Ch. 1984. Planktonic Larvae may act like passive particles in turbulent near-bottom flows. Limnology and Oceanography. 29 (5): 1108 – 1116.

Hickmann, V. 1978. Corrientes Superficiales de la bahía de Valparaíso y zona adyacente, determinadas por el sistema de Botellas de Deriva. Tesis de Oceanógrafo. Escuela de Pesquerías y Alimentos, Departamento de Oceanografía, Universidad Católica de Valparaíso. 126 p.

Monahan, E, P Hawkins & E Monahan. 1974. Surface current drifters: Evolution and Application. Michigan Sea Grant Program. MICHU-SG-74-603. 46 p.

Neshyba, S & T Fonseca. 1981. Corrientes costeras, manual de mediciones y análisis. Investigaciones Marinas, Valparaíso, supl. 7 : 132 p.

Okubo, A. 1980. Diffussion and Ecological Problems: Mathematical Models. Marine Sciences Research Center, State University of New York, Stony Book, New York. 256 p.

Okubo, A. 1994. The rol of diffusion and related physical processes in dispersal and recruitment of marine populations. En: P W Sammarco and M L Heron (eds). The Bio-Physics of Marine Larval Dispersion. Coastal and Estuarine Studies 45 (2): 5-32. American Geophysical Union, Washington, DC.

Palmer, M, Allan J & Ch Butman. 1996. Dispersal as a regional process affecting the local dynamics of marine and stream benthic invertebrates. Trends in Ecology & Evolution 1 (8): 322 – 326.

Pilgrim, P. 1975. Computer Simulation in the Analysis of Surface Current Drifter Data. Logic of Computer Group Technical Report Nº 189. Michigan University. 289 p.

Pond, S & L Pickard. 1981. Introductory Dynamic Oceanography. University of British Columbia. 39 – 54.

Sánchez, V, A Urrutia & D Figueroa. 1994. Un experimento de difusión de material particulado en suspensión y de derivadores en la pluma del río BioBio. Ciencia y Tecnología del Mar 17: 33-41.

Scheltema, R. 1975. Relationship of larval dispersal, gene flow, and natural selection to geographic variation of benthic invertebrates in estuaries and along coastal regions. En: L. E. Cronin (ed.). Estuarine Research 1(4): 372–391. Academic Press Inc, New York.

Scheltema, R. 1986. On dispersal and planktonic larvae of benthic invertebrates: an eclectic overview and summary of problems. Bulletin of Marine Science, 39 (2): 290 – 322.

Tabla de Marea de la Costa de Chile. 1998. Servicio Hidrográfico y Oceanografico de la Armada de Chile. 228 p.

Taylor, G. 1921. Difussion by continuous movements. Process London Mathemathics Society 20: 196 – 211.

Urrutia, A, D Figueroa & L Soto. 1993. Difusividades en la pluma del río Biobio para un período de alta descarga. Ciencia y Tecnología del Mar.16: 21–32.