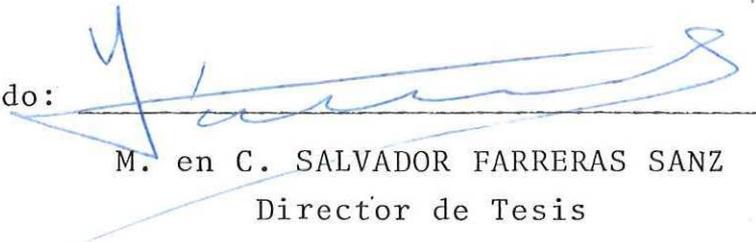


RESUMEN de la tesis de MARIA ADELA MONREAL GOMEZ, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en OCEANOGRAFIA FISICA. Ensenada, Baja California, México. Febrero de 1980.

APLICACIONES DE UN MODELO DE DISPERSION EN BAHIA SAN QUINTIN

BAJA CALIFORNIA, MEXICO

Resumen aprobado:



M. en C. SALVADOR FARRERAS SANZ

Director de Tesis

Por medio de mediciones de altura de marea en cinco estaciones mareográficas y usando un modelo de descargas, se obtienen las velocidades debidas a efectos astronómicos y meteorológicos; con las mediciones y promedios ponderados de salinidad se obtienen velocidades debidas a gradientes de densidad, en diferentes puntos, con lo cual se evalúa la importancia relativa de las tres corrientes a lo largo de toda la bahía.

Usando un trazador (rodamina wt) con el cual se mide el decaimiento en diferentes zonas respecto al tiempo, es posible decir cual es la zona de mayor o menor poder dispersivo. El resultado del análisis de dispersión puede aplicarse tanto en contaminación, en el estudio de transporte de ciertos sedimentos en suspensión como en maricultura. Un caso específico es la a-

plicación de este modelo de dispersión en el cultivo de ostión,
mediante el cual se hace una analogía entre la tinta y las lar
vas.

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

Departamento de Oceanografía

APLICACIONES DE UN MODELO DE DISPERSION EN BAHIA SAN QUINTIN,
BAJA CALIFORNIA, MEXICO

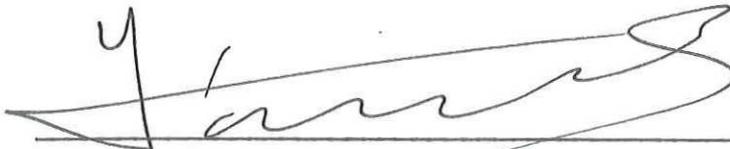
TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para ob
tener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta

MARIA ADELA MONREAL GOMEZ

Ensenada, B. C., Marzo de 1980.

TESIS APROBADA PARA SU DEFENSA POR:



M. C. Salvador Farreras Sanz, Director del Comité



DR. Saúl Alvarez Borrego, Miembro del Comité



Dr. Enrique Carrillo Barrios-Gómez, Miembro del Comité



M. C. Roberto Machorro Mejía, Miembro del Comité

Ing. Marco Antonio Uribe Rojo, Jefe del Departamento
de Oceanografía



Dr. Enrique Carrillo Barrios-Gómez, Coordinador
Académico

Tesis presentada en marzo 20, 1980.

DEDICATORIA

Con cariño...

A MI HIJO

y

A MI MADRE

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer muy especialmente al Ph. D. DONALD W. PRITCHARD, su sugerencia y orientación sobre el tema.

A mi asesor y director de tesis M. en C. SALVADOR FARRERAS SANZ por su apoyo en la realización de este trabajo.

Al personal de la Sección de Lagunas Costeras, por su colaboración en la obtención de datos.

Agradezco la valiosa ayuda, en particular sus sugerencias en el aspecto biológico al Ph. D. ENRIQUE CARRILLO BARRIOS-GOMEZ.

En forma especial al Ocean. RENE DE LA PAZ VELA, por sus sugerencias en el tratado de datos.

A los miembros de mi Comité de Tesis M. en C. ROBERTO MACHORRO MEJIA, DR. ENRIQUE CARRILLO BARRIOS-GOMEZ, DR. SAUL ALVAREZ BORREGO; por las sugerencias y revisión de este trabajo.

A la Sra. SARA GONZALEZ DE URIBE y a la Srta. LUZ AURORA CARBALLO BASTIDAS, por mecanografiar este trabajo.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA y al CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. METODOS Y MATERIALES | 5 |
| A. Area de estudio | 5 |
| B. Datos de mareas | 7 |
| C. Datos de velocidad | 16 |
| 1. Modelo de descargas y velocidades instantáneas | 17 |
| D. Datos de salinidad y temperatura | 21 |
| E. Cálculo de coeficientes de difusión y velocidades por gradiente de densidad | 28 |
| F. Datos de tinta fluorescente | 30 |
| 1. Modelo de dispersión | 32 |
| III. RESULTADOS | 37 |
| A. Mareas | 37 |
| B. Salinidad y temperatura | 37 |
| C. Decaimiento de trazadores y analogía con larvas de ostión | 55 |
| D. Velocidad de las corrientes | 62 |
| IV. DISCUSION | 75 |
| A. Retardo de la marea | 75 |

| | |
|---|----|
| B. Alturas y corrientes de marea astronómica y no-astronómica | 75 |
| C. Salinidad, temperatura y corrientes por gradiente de densidad | 76 |
| D. Concentración de rodamina wt | 79 |
| V. CONCLUSIONES | 81 |
| VI. LITERATURA CITADA | 84 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|--------|
| 1. Bahía San Quintín. Segmentación y localización de los instrumentos. | 6 |
| 2. Alturas de marea (simultáneas) para las cinco estaciones mareográficas, referidas al nivel de baja mar media inferior. | 12 |
| 3. Localización de las estaciones, en las cuales se midió salinidad y temperatura cada dos metros de profundidad. | 22 |
| 4. Correlogramas cruzados de series de altura de marea total. a) entre estaciones "boca" y "pedregal". b) entre estación "pedregal" y "molino viejo". | 38 |
| 5. Correlogramas cruzados de series de altura de marea total. a) entre estaciones "molino viejo" y "cabeza". b) entre estaciones "boca" y "mina vieja". | 39 |
| 6. Correlograma cruzado de series de altura de marea total entre estaciones "boca" y "molino viejo". | 40 |

7. Alturas de marea total predichas y medidas en estación "pedregal" del 6 al 25 de julio de 1977. 42
8. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 12, del 11 al 16 de julio de 1977. 43
9. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 13, del 11 al 16 de julio de 1977. 44
10. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 14, del 11 al 16 de julio de 1977. 45
11. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 15, del 11 al 16 de julio de 1977. 46
12. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica del 11 al 16 de julio de 1977, cerca de la boca (segmento 2). 47
13. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómi

- ca del 11 al 16 de julio de 1977, cerca de la boca
(segmento 3). 48
14. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómi
ca del 11 al 16 de julio de 1977, en Bahía Falsa
(segmento 6). 49
15. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómi
ca del 11 al 16 de julio de 1977, en Bahía Falsa
(segmento 7). 50
16. Promedios ponderados seccionales de salinidad en
Bahía San Quintín y Bahía Falsa, para el 16 de ju-
lio de 1977. 52
17. Promedios ponderados seccionales de temperatura en
Bahía San Quintín y Bahía Falsa, para el 16 de ju-
lio de 1977. 53
18. Concentración de rodamina wt en el segmento 2 de
, Bahía Falsa. 56
19. Concentración de rodamina wt en el segmento 3 de
Bahía Falsa. 57

20. Concentración de rodamina wt en el segmento 4 de Bahía Falsa. 58
21. Concentración de rodamina wt en el segmento 5 de Bahía Falsa. 59
22. Concentración de rodamina wt en el segmento 6 de Bahía Falsa. 60
23. Concentración de rodamina wt en el segmento 7 de Bahía Falsa. 61
24. Velocidades de la corriente del 17 al 20 de julio de 1977. a) registradas en el correntímetro en la boca. b) obtenidas por el modelo de descargas en la boca. 65
25. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía Falsa. 67
26. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea no-astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía Falsa. 68

| Figura | Página |
|---|--------|
| 27. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía San Quintín. | 69 |
| 28. Velocidades de corrientes por gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía Falsa. | 70 |
| 29a. Velocidades de corrientes por gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía San Quintín. | 71 |
| 29b. Velocidades de corrientes por gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía San Quintín. | 72 |
| 30. Sectores de la Bahía según importancia relativa de las velocidades de las corrientes. | 73 |

LISTA DE TABLAS

| Tabla | Página |
|---|--------|
| I. Número de estaciones, excursiones y posiciones de las estaciones en marea alta y baja en el día 2 de julio de 1977. | 25 |
| II. Número de estaciones, excursiones y posiciones de las estaciones en marea alta y baja, durante el crucero del 6 de julio de 1977. | 26 |
| III. Retardo de la onda de marea entre pares de estaciones mareográficas. | 41 |
| IV. Promedios ponderados seccionales de salinidad y temperatura en boca y cabeza en Bahía San Quintín y Bahía Falsa. | 53 |
| V. Número inicial de larvas a colocar en Bahía Falsa. | 62 |
| VI. Volumen (m^3) de ostras ovígeras en diferentes segmentos en Bahía Falsa. | 63 |

APLICACIONES DE UN MODELO DE DISPERSION EN BAHIA SAN QUINTIN, BAJA CALIFORNIA, MEXICO

I. INTRODUCCION

La zona costera es una de las regiones más importantes desde el punto de vista económico y ecológico en el medio ambiente marino. Hedgpeth (1957) la define como aquella región localizada entre las zonas litoral y sublitoral, en su mayor parte definida por la zona nerítica.

La zona costera abarca aproximadamente diez por ciento de la superficie del océano. Sin embargo, proporciona más del ochenta por ciento de los recursos renovables de importancia comercial obtenidos del mar (Ryther, 1969).

Dentro de esta zona se encuentran localizados los estuarios y lagunas costeras. Estas regiones son consideradas como unas de las más productivas a nivel mundial (Odum, 1971)... "son también importantes como áreas de reproducción, desove, crecimiento y alimentación de algunas de las especies marinas de mayor importancia comercial. Para otras especies, son áreas de comunicación obligatoria entre el océano y cuerpos de agua terrestres, necesarias para completar ciclos de reproducción y desarrollo. La importancia ecológica de estos cuerpos de agua, su alta productividad, su potencial para el desarrollo de mari-

cultura, su atractivo como sede de asentamientos humanos y su vulnerabilidad hacia contaminantes, los hacen especialmente importantes en el desarrollo logístico de investigación actual y potencial a nivel mundial" (Carrillo Barrios-Gómez, 1980). Lankford (1976) identifica más de cien cuerpos de agua con estas características en los litorales mexicanos.

En los últimos años una de las prioridades nacionales en investigación marina se han centrado en el desarrollo de acuicultura y optimización de recursos renovables de importancia comercial en estas regiones. Durante la década pasada varias instituciones oceanográficas localizadas en la Península de Baja California han dedicado esfuerzos considerables para el desarrollo de la acuicultura en los litorales de esta región. El Departamento de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), ha desarrollado toda una línea de investigación para el estudio de procesos hidrográficos, químicos y biológicos que caracterizan a los estuarios y lagunas costeras de Baja California. Los primeros resultados de estas investigaciones han proporcionado una serie de conocimientos necesarios y esenciales que pueden ser utilizados como infraestructura para un desarrollo objetivo de actividades de acuicultura en estos cuerpos de agua.

Una de las líneas de investigación más prometedoras en esta área consiste en el estudio de dispersión de partículas en suspensión. Las aplicaciones posibles del conocimiento derivado

de esta investigación son variadas. Por un lado su aplicación en la acuacultura es obvia, particularmente por la relación espacio-temporal de los estadíos larvales de los organismos bajo condiciones de cultivo. Es igualmente importante en la distribución espacio-temporal de otros organismos, particularmente planctónicos que caracterizan a estos cuerpos de agua. La aplicación de esta información puede ser también extendida a distribuciones espacio-temporales de varios contaminantes, así como al transporte de sedimentos.

El objetivo de este estudio consiste en la aplicación del modelo de dispersión de Carter (1967) en la Bahía de San Quintín, Baja California, México. Este modelo puede aplicarse a cualquier especie de organismo planctónico que tolere los rangos de salinidad y temperatura existentes en la Bahía. Las características de este modelo lo hacen también aplicable a otras regiones estuarinas y de lagunas costeras.

En el caso del cultivo potencial de ostiones, nos permite determinar el número necesario de larvas y su ubicación, facilitando la optimización de fijaciones de éstas. La utilización en este modelo de un trazador (rodamina wt) permite determinar las mejores áreas para colocar ostras para desove, así como los sitios óptimos para la ubicación de colectores.

Se escogió el área de San Quintín en base a su importancia económica potencial, su relativa estabilidad ecológica por la

ausencia actual de factores externos originados en particular por el influjo de asentamientos humanos, y por el esfuerzo institucional por parte del CICESE en los últimos cinco años, que ha dado como resultado una amplia información sobre los procesos que caracterizan a esta Bahía. Por ejemplo, Chávez de Nishikawa y Alvarez-Borrego (1974) y Alvarez-Borrego et al. (1976; 1977), describieron la hidrología característica de esta región. Las variables físico-químicas de Bahía San Quintín han sido estudiadas por Alvarez-Borrego et al. (1975), Alvarez-Borrego y Chee Barragán (1976) y Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978). Por último desde el punto de vista biológico, Lara-Lara y Alvarez-Borrego (1975), Alvarez-Borrego et al. (1977) y Lara-Lara (1979) concentraron sus estudios en la productividad primaria en esta Bahía. Islas Olivares (1975) e Islas Olivares, et al. (1978) discutieron varios aspectos del cultivo de especies endémicas de ostiones en Bahía San Quintín, así como la introducción y cultivo del ostión japonés, Crassostrea gigas en esta región.

II. METODOS Y MATERIALES

A. Area de estudio

El área de estudio se encuentra aproximadamente a 200 km. al sur de Ensenada, B. C. Está localizada entre los paralelos $30^{\circ}24'$ y $30^{\circ}30'$ N. y entre los meridianos $115^{\circ}57'$ y $116^{\circ}01'$ W. (Fig. 1). La Bahía consta de dos brazos, denominados Bahía Falsa y Bahía San Quintín (conocida también como Bahía San Simón), situados al oeste y al este respectivamente y orientados en dirección NW. Bahía Falsa es una zona muy somera; su canal principal tiene una profundidad promedio de 4 m., mientras que en Bahía San Quintín, el canal tiene 8 m. de profundidad promedio, siendo éste más profundo cerca de la boca. Existe una conexión al mar abierto a través de un canal estrecho de aproximadamente 1,200 m. de ancho en la superficie.

Los datos obtenidos, las técnicas de trabajo de campo y expediciones para medirlos, que se describen en este trabajo, corresponden a varios cruceros efectuados en el mes de julio de 1977 por la Sección de Lagunas Costeras del Departamento de Oceanografía del CICESE.

Los procedimientos de inyección de rodamina wt en el área de estudio, así como su variación espacio-temporal se describen más adelante.

En el área de estudio, se obtuvieron por medición, cálculo

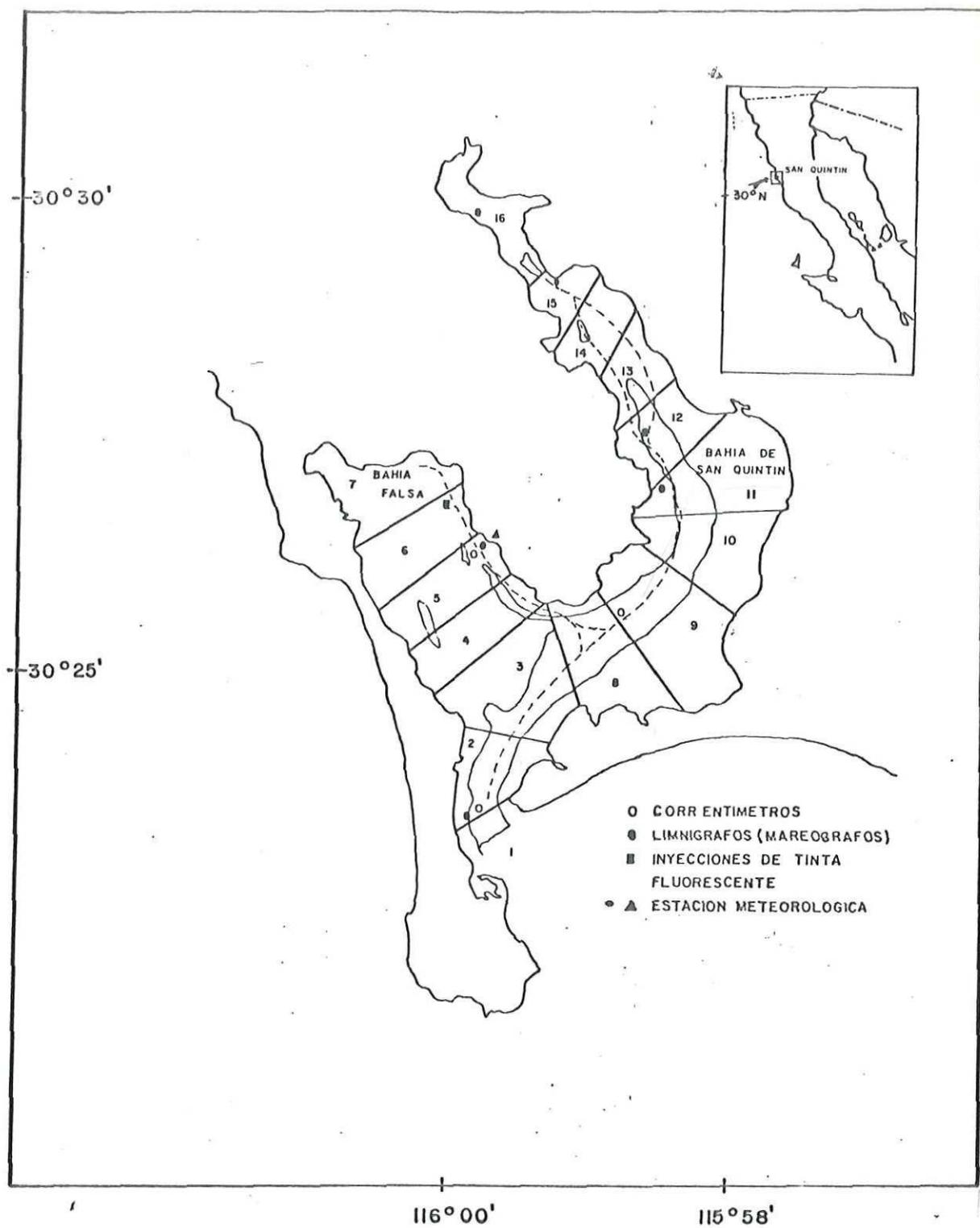


Figura 1. Bahía San Quintín. Segmentación y localización de los instrumentos.

o análisis, tres de las clases de corrientes de mayor importancia:

- a). corrientes de marea astronómica.
- b). corrientes inducidas por el viento.
- c). corrientes por gradiente horizontal de densidad.

Los causales astronómicos y meteorológicos fueron calculados utilizando metodología convencional consistente en el filtrado de series de altura de marea para separar unas de otras. Este procedimiento facilita la observación de cambios de volumen respecto al tiempo en diferentes áreas de la Bahía. El área transversal de los segmentos, necesaria para el cálculo de velocidades, fue estimada a través de mapas batimétricos. La estimación de corrientes por gradiente horizontal de densidad fue hecha utilizando la distribución horizontal de salinidad.

Se seccionó la Bahía en zonas, de acuerdo a la importancia relativa de las corrientes mencionadas en párrafos anteriores y su influencia en la distribución del trazador en cada segmento y análogamente de las partículas en suspensión.

B. Datos de mareas

Se seccionó la Bahía en 16 segmentos (Fig. 1). Se instalaron además, cinco estaciones mareográficas distinguiéndose de la siguiente manera:

1. estación boca.

2. estación pedregal.
3. estación molino viejo.
4. estación cabeza.
5. estación mina vieja.

La estación "boca" es común para ambas bahías. Las estaciones "pedregal", "molino viejo" y "cabeza" fueron localizadas en Bahía San Quintín y la estación "mina vieja" en Bahía Falsa.

Los mareógrafos de registro continuo tienen un rango de precisión de ± 1.0 cm.; las alturas de marea así medidas, están referidas al nivel de baja mar media inferior solamente en aquellas estaciones en que se disponía de banco de nivel cercano.

Las alturas de marea, se digitalizaron en intervalos de tiempo de una hora, para las cinco estaciones, en todo el mes de julio, aún cuando hubo algunos intervalos de interrupción de funcionamiento de los instrumentos. Este procesamiento se efectuó con el uso de la transformada Z en la siguiente forma: se tomaron dos series de alturas de marea simultáneas y después se les aplicó la transformada Z (Gabel y Roberts, 1973) como sigue:

$$X(z) = X_m z^m + X_{m+1} z^{m+1} + \dots + X_{n-1} z^{n-1} + X_n z^n \quad (1)$$

o bien:
$$X(z) = \sum_{i=m}^n X_i z^i$$

donde:

X: es la serie de alturas de marea con intervalos de tiempo de una hora.

m: hora en que se inició la serie de tiempo.

n: hora en que se terminó la serie de tiempo.

Z: es un operador de retraso unitario.

En su forma más conocida:

$$F(z)*G(z) = H(z) \quad (2)$$

Esto es, debe construirse un polinomio con cada una de las series, de modo que:

$$F(z)*G(z) = H(z)$$

En que:

F(z): transformada de los datos de altura de marea en la primera estación.

H(z): transformada de datos de altura de marea en la segunda estación.

G(z): función de transferencias que es desconocida y se calcula de la relación (2).

Si ésto se escribe en notación matricial se tiene:

$$\begin{bmatrix} f_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ f_1 & f_0 & 0 & 0 & 0 \\ f_2 & f_1 & f_0 & 0 & 0 \\ f_3 & f_2 & f_1 & f_0 & 0 \\ f_4 & f_3 & f_2 & f_1 & f_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \end{bmatrix}$$

Con esta multiplicación matricial y convolucionando se encontraron los coeficientes de la función de transferencia; suponiendo que la dependencia entre estas dos series se conserva, se tomó una serie de longitud mayor y con los mismos coeficientes obtenidos para dicha función de transferencia, se predijo una serie más larga para la segunda estación.

El mínimo error para las alturas así predichas se obtuvo usando 35 coeficientes en la función de transferencia (el error resultante fue de $\pm .034m.$). Tomando pares de series se obtienen alturas de marea para las cinco estaciones, cada hora y para todo el mes de julio; la serie que sirvió como base para estas predicciones es la serie de tiempo de la estación "molino viejo" que fue una de las series más largas y en la cual no hubo interrupción durante el mes de julio. Así, el polinomio $H(z)$ será la transformada de los datos de "boca", luego de los datos de "pedregal", después la transformada de los datos de "cabeza" y al final de los datos de "mina vieja"; mientras que $F(z)$ siempre será la transformada de los datos de la esta-

ción "molino viejo". Tomando registros simultáneos con una duración de 3 días, del día 17 de julio a las 8 horas hasta el 20 de julio a las 7 horas y graficándolos (Fig. 2), puede observarse si existe amortiguamiento importante en la onda de marea al propagarse. Como la diferencia en alturas fue muy pequeña entre una estación y otra se asume que hay solamente un retardo (y no varios) en la onda de marea.

Usando la función de correlación cruzada se obtuvieron las magnitudes de los retardos entre estaciones adyacentes, en la siguiente forma:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (3)$$

La cual nos dá el retardo directamente (Bendat y Piersol, 1971),

donde:

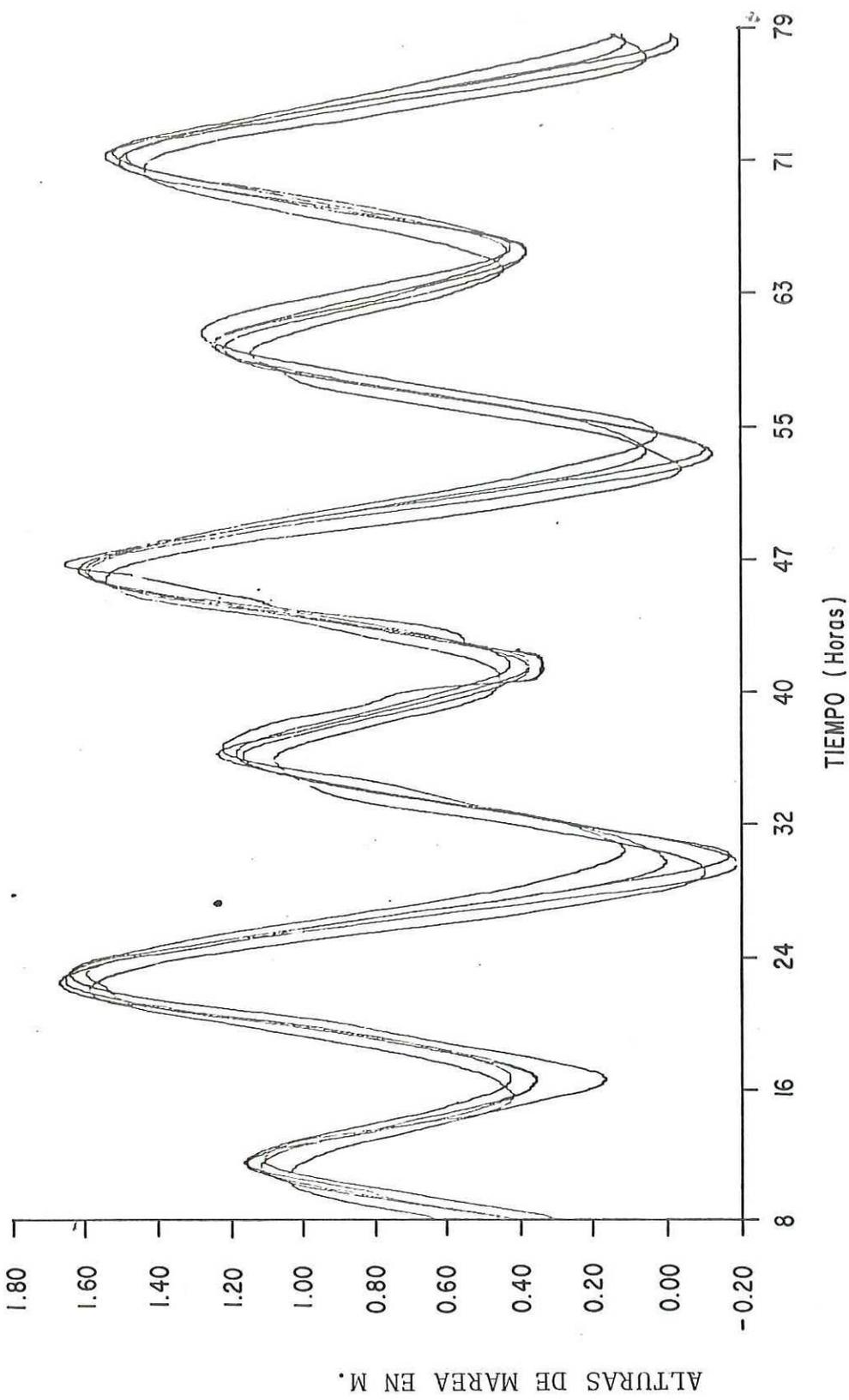
$x(t)$: es la serie de alturas de marea total en la primera estación.

$y(t+\tau)$: es la serie de la otra estación con un retraso .

Se calculó la función de correlación cruzada con un número de intervalos de:

$$-170 \leq r \leq 170 \quad (4)$$

$$\tau = (r \ t) \quad (5)$$



TIEMPO EN HRS. DEL 17 AL 20 DE JULIO

Figura 2. Alturas de marea (simultáneas) para las cinco estaciones mareográficas, referidas al nivel de baja mar media inferior.

donde:

t: tiempo en horas del intervalo.

τ : retardo en horas.

r: número de intervalos.

Se calculó la función $R_{xy}(\tau)$ para distintos pares de series, en la cual el orden de magnitud de los retardos en la onda de marea es de minutos.

Podemos suponer que la onda de marea viaja con velocidad constante a lo largo de cada segmento y que además es una onda que se propaga en agua somera; ésto último basándose en que la condición para que una onda sea de este tipo (Kinsman, 1965).

$$kh < 1 \quad (6)$$

donde:

k: es el número de onda.

h: es la profundidad promedio del segmento.

Y como las ondas de marea tienen una longitud del orden de 10^2 Km.

Y sí:

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (7)$$

aquí L es muy grande, por lo tanto k es muy pequeña y finalmente

te como la profundidad promedio de la bahía es del orden de 10^{-2} Km.

$$kh < 1$$

Además la bahía tiene una longitud de 14 Km. aproximadamente, por lo que ni la cuarta parte de la onda queda dentro de ella. Ya que la onda se propaga en agua somera la velocidad de propagación está dada por:

$$C_i = (gh_i)^{1/2} \quad (8)$$

donde:

C_i : velocidad de la onda en el segmento i .

g : aceleración debida a la gravedad.

h_i : profundidad promedio en el i -ésimo segmento.

Para este tipo de onda, la profundidad de la zona en que viaja es determinante en el valor de la velocidad de propagación. Es decir, dicha onda viajará más lentamente en zonas más someras y por lo tanto el retardo será mayor y viajará más rápidamente (retardo menor) en zonas más profundas. El tiempo que tarda la onda de marea en ir del i -ésimo al siguiente segmento es:

$$t_{i-(i+1)} = \frac{X_{i+1} - X_i}{C_i} \quad (9)$$

donde:

X_i : es la distancia de la boca al final del i -ésimo seg-

mento.

Se consideró que el origen del eje X se encuentra en la boca de la bahía. La serie de altura de marea de la estación próxima anterior a cada segmento se retarda según el tiempo $(t_{i-(i+1)})$ que se ha obtenido para cada segmento, con esto se tienen series de altura de marea para cada segmento y cada hora durante todo el mes de julio.

Los datos de altura de marea mencionados son alturas de marea total (astronómica + meteorológica + local + otras); es tas series contienen componentes de varias frecuencias.

La serie de altura de marea es una suma de armónicos y no armónicos; los constituyentes armónicos se expresan en forma de cosenos.

$$R \cos (nt - k) \quad (10)$$

donde:

R: es la amplitud.

$(nt - k)$: es la fase.

n: es la rapidéz o incremento del ángulo por unidad de tiempo.

t: tiempo.

k: es el desplazamiento.

Se aplicó el filtro de Doodson et al. (1941), que permite

separar de las alturas horarias las componentes armónicas de tipo diurno, semidiurno y los armónicos resultantes de la distorsión por propagación en aguas superficiales. El filtro de Doodson et al. (1941), consiste en efectuar promedio ponderado secuencial de alturas horarias, donde los coeficientes de ponderación son multiplicados por los cosenos de las series de Fourier de las distintas componentes armónicas de manera tal de lograr su anulación por la repetición periódica de sus elongaciones con un signo contrario (De la Paz Vela, 1978). Efectuando promedios cada 39 horas por un lapso de 7 días a un mes nos permite separar unos armónicos de otros con una precisión del \pm 0.3%. De la aplicación de este filtro se obtuvieron las variaciones de marea no-astronómica que contienen las variaciones por densidad y meteorológicas. Para determinar cuáles son las frecuencias que se deben separar, se tomó en cuenta la frecuencia predominante del viento, que corresponde a un período de 6 horas, para así obtener las series de marea astronómica y no-astronómica, en cada segmento, cada hora y para todo el mes de julio. Se puede escribir la siguiente relación:

$$\text{ALTURA DE MAREA TOTAL} = \text{ALTURA DE MAREA ASTRONOMICA} + \text{ALTURA DE MAREA NO-ASTRONOMICA}.$$

C. Datos de velocidad

Se instalaron los siguientes correntímetros en los luga-

res que se indican a continuación:

1. En la boca de la bahía (entre los segmentos 1 y 2), un correntímetro Braicon 1381, cerca de la superficie.
2. En Bahía Falsa (5° segmento) un correntímetro Hydropro ducts 9505, cerca de la superficie.
3. En Bahía San Quintín (9° segmento), un correntímetro En deco 105, cerca del fondo.

Se obtuvieron datos cada 30 minutos. En este trabajo no se hizo el análisis de datos de velocidades registradas por los instrumentos. Solamente se usaron éstas para efectuar una comparación y calibración con los valores que se obtienen mediante el modelo teórico de descargas y velocidades instantáneas que se explica en otra sección.

1. Modelo de descargas y velocidades instantáneas

Considerando un flujo no estacionario, ésto es:

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0 \quad (11)$$

donde:

, y: es la altura del agua en un punto X.

La ecuación de continuidad se escribe (Henderson, 1966) como:

$$\frac{\partial}{\partial x} (uy) + \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (12)$$

donde:

u: es la velocidad media seccional del agua en un segmento.

x: distancia longitudinal a lo largo del canal.

t: tiempo.

Suponemos que el nivel del agua sube instantáneamente en todo el segmento o sea "y" independiente de x. Esto es:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{dy}{dt} \quad (13)$$

para cada segmento. Y como la descarga por unidad de ancho es:

$$q = \frac{Q}{B} = uy \quad (14)$$

donde:

Q: es la descarga a través de la sección en $m^3 s^{-1}$.

u: velocidad media seccional en ms^{-1} .

B: ancho superficial del nivel del agua en metros.

y: altura de la superficie libre del agua en metros.

La ecuación de continuidad (2) queda:

$$\frac{\partial \left(\frac{Q}{B}\right)}{\partial x} + \frac{dy}{dt} = 0 \quad (15)$$

Asumimos que el ancho superficial B es el mismo a lo largo del segmento (B independiente de x), por lo tanto:

$$\frac{1}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{dy}{dt} = 0 \quad (16)$$

o bien:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{dy}{dt} = 0 \quad (17)$$

Integrando desde x_0 a x_1 (límites de un segmento)

se tiene:

$$\int_{x_0}^{x_1} \frac{\partial Q}{\partial x} dx = -B \int_{x_0}^{x_1} \frac{dy}{dt} dx \quad (18)$$

Pero hemos dicho que el nivel del agua sube simultáneamente a lo largo de cada segmento, entonces tenemos:

$$\int_{x_0}^{x_1} \frac{\partial Q}{\partial x} dx = -B \frac{dy}{dt} \int_{x_0}^{x_1} dx \quad (19)$$

o:

$$\Delta Q = -B \frac{dy}{dt} \Delta x \quad (20)$$

donde:

$\frac{dy}{dt}$: es el cambio en la altura de marea.
 $B \Delta x$: es el área superficial.

Como:

$$\Delta Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (21)$$

es el cambio de volumen por unidad de tiempo, entonces conociendo la variación de la altura de la marea con el tiempo (dy/dt), y el área superficial del segmento ($B \Delta x$), se encuentra el cambio ($\frac{\Delta V}{\Delta t}$) del volumen con el tiempo en cada segmento, mediante las ecuaciones (20) y (21); y por lo tanto la descarga. Conociendo la geometría de la bahía, se encontró el área transversal en cada sección, cada hora, mediante interpolaciones.

Además, finalmente

$$Q = uA \quad (22)$$

En que:

u : es la velocidad media seccional debida a la marea.

A : área de la sección transversal.

De donde podemos encontrar la velocidad debida a marea para cada segmento:

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (23)$$

Usando alturas de marea total se encontraron las velocidades debidas a marea total, por medio de descargas de marea total. Además con este modelo, sí se usan alturas de marea astronómica o descargas de dicha marea, se obtienen velocidades debidas a la marea astronómica.

D. Datos de salinidad y temperatura

Para medir salinidad y temperatura se usó un conductímetro termómetro ICTI (Inductivity Conductivity Temperature Indicator) del Chesapeake Bay Institute, que mide conductividad y temperatura con un rango de medición de 0° a 32°C y una precisión de $\pm 0.02^\circ\text{C}$ en temperatura y para conductividad un rango de 0 a 60 mmohs y una precisión de ± 0.03 mmohs (De la Paz Vela, 1978).

Se efectuaron un total de 18 estaciones (Fig. 3), a lo largo de los canales de ambas bahías durante los días 1, 2, 6, 7, 8, 9 y del 11 al 20 de julio, midiéndose en cada estación tanto temperatura como conductividad cada 2 metros de profundidad. Con estos datos se obtuvo la clorinidad mediante la siguiente ecuación (Anon., 1968).

$$Cl^\circ/\infty = \alpha \cdot K \quad (24)$$

donde:

$$\alpha = 0.36996 / (\sigma^{-1.07} - .746 \times 10^{-3}) \quad (25)$$

En que:

, σ : es conductividad en mmohs.

y:

$$K = \sum_{k=0}^6 b_k \theta^k \quad (26)$$

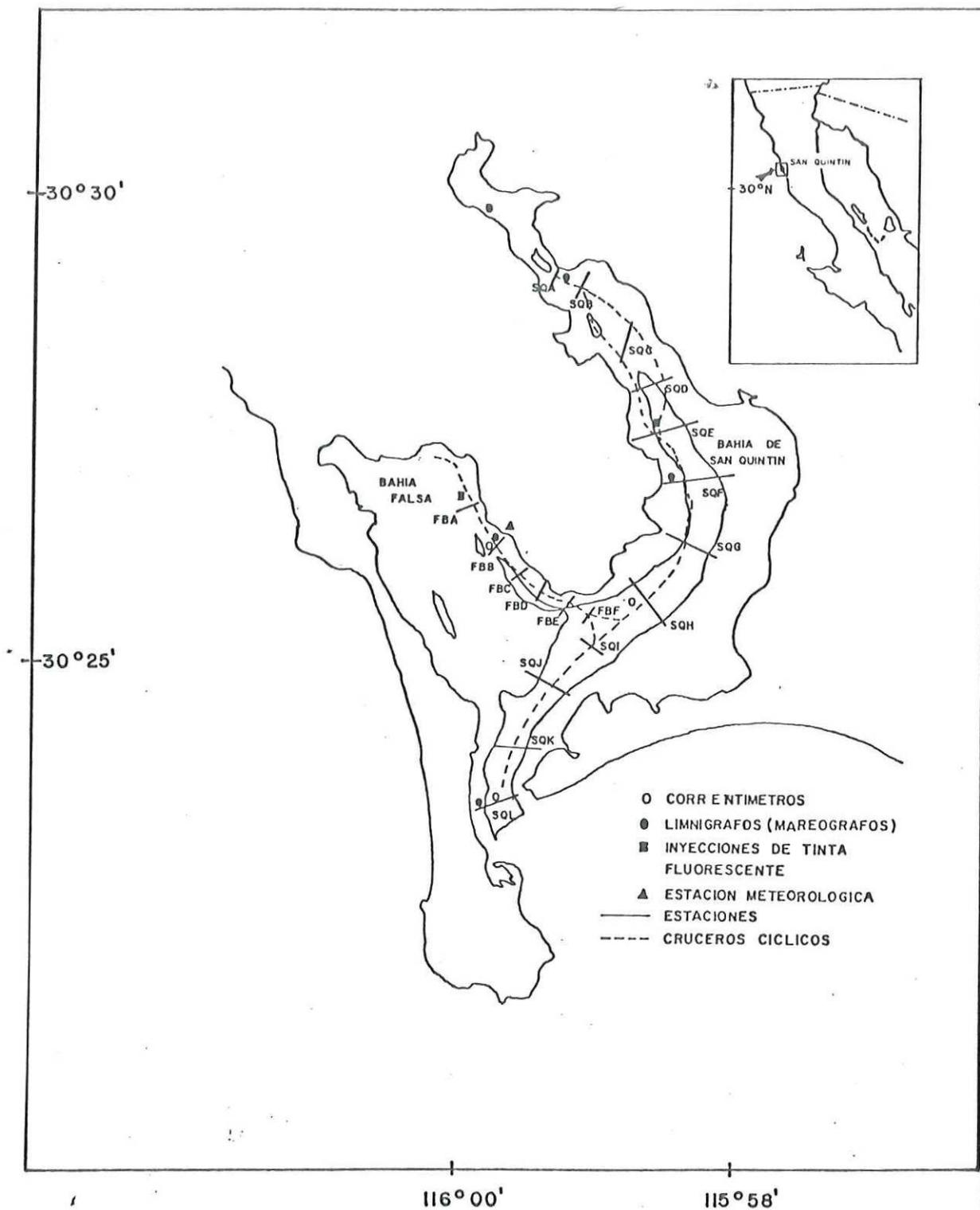


Figura 3. Localización de las estaciones, en las cuales se midió salinidad y temperatura cada dos metros de profundidad.

En que los coeficientes b's tienen los siguientes valores:

$$b_0 = 1.3855$$

$$b_1 = -0.046485668$$

$$b_2 = 0.14887785 \times 10^{-2}$$

$$b_3 = -0.63083433 \times 10^{-4}$$

$$b_4 = 0.25141517 \times 10^{-5}$$

$$b_5 = -0.59600245 \times 10^{-7}$$

$$b_6 = 0.57778085 \times 10^{-9}$$

$$\theta \equiv \text{temperatura}$$

Una vez obtenida la clorinidad se usó la expresión para la salinidad (Drakw, et al. 1978).

$$S = 1.80655 \times C1 \quad (27)$$

Para obtener gráficas longitudinales de salinidad y temperatura, se corrigieron las estaciones por efecto del movimiento del agua debido a la marea: mientras la lancha va de una estación a otra el agua también se ha movido y fue necesario por lo tanto, hacer correcciones de las posiciones de las estaciones para saber donde se encontraba el agua que se está midiendo en una hora simultánea (generalmente marea alta o baja) para todas las estaciones. Entonces surge la necesidad de calcular las excursiones. Sabiendo que la excursión es la distancia que recorre una partícula o una masa de agua durante un ciclo de marea (Mofjel, 1976).

Esto es:

$$d = \int_{t_1}^{t_2} u dt + d_0 \quad (28)$$

donde:

u : velocidad por efectos de marea (obtenida mediante el modelo de descargas explicado anteriormente).

d : distancia recorrida en un ciclo de marea.

t_1 y t_2 : son los tiempos de marea baja a marea alta o inversamente.

d_0 : es la posición de la masa de agua en el tiempo inicial.

Las tablas I y II, muestran el tiempo de marea alta y marea baja, el tiempo de muestreo y la posición a que se encuentra en ese tiempo el agua que se muestrea. Esta posición está referida a la boca de la bahía, para cada estación muestreada.

Se tomaron promedios ponderados seccionales de salinidad y temperatura para tener valores representativos de estos parámetros en cada sección y luego se interpolaron para el centro de cada segmento.

$$S_i = \frac{\sum_{m=1}^N S_m A_m}{\sum_{m=1}^N A_m} \quad (29)$$

JUL 2 1977

NOMBRE DE LA ESTACION F0H

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 1 SATIME(1) = 16.116
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 8676.12 EST LDER = 4598.46 EST ORIGINAL = 4620.00PT1= 2

NOMBRE DE LA ESTACION F0B

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 2 SATIME(2) = 14.866
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 9828.69 EST LDER = 8213.98 EST ORIGINAL = 9000.00PT1= 3

NOMBRE DE LA ESTACION F0C

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 3 SATIME(3) = 15.133
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 9611.93 EST LDER = 7427.68 EST ORIGINAL = 8000.00PT1= 3

NOMBRE DE LA ESTACION F0D

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 4 SATIME(4) = 15.450
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 9325.37 EST LDER = 7828.94 EST ORIGINAL = 7310.00PT1= 3

NOMBRE DE LA ESTACION F0E

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 5 SATIME(5) = 15.628
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 8842.35 EST LDER = 6877.89 EST ORIGINAL = 6350.00PT1= 3

NOMBRE DE LA ESTACION F0F

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 6 SATIME(6) = 15.888
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 8616.93 EST LDER = 5721.81 EST ORIGINAL = 5850.00PT1= 3

NOMBRE DE LA ESTACION F0G

♦ DE ESTACIONES = 7 ESTAC ♦ 7 SATIME(7) = 15.933
LIZO = 11 LDER = 16

EST LIZO= 8679.56 EST LDER = 4666.89 EST ORIGINAL = 4700.00PT1= 2

TABLA I. Número de estaciones, excursiones y posiciones de las estaciones en marea alta y baja en el día 2 de julio.

```

      NOMBRE DE LA ESTACION   SOL
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   1 SATIME( 1 ) = 12.183
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -209.06 EST LDER =      2093.32 EST ORIGINAL =      0.00PT1= 2
EST LIZO=      -209.06 EST LDER =      2093.32 EST ORIGINAL =      0.00PT1= 3

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   SDK
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   2 SATIME( 2 ) = 12.733
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -82.17 EST LDER =      2953.37 EST ORIGINAL =     1470.00PT1= 2
EST LIZO=      -82.17 EST LDER =      2953.37 EST ORIGINAL =     1470.00PT1= 3

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   SOJ
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   3 SATIME( 3 ) = 12.966
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -76.53 EST LDER =      3722.84 EST ORIGINAL =     2770.00PT1= 2
EST LIZO=      -76.53 EST LDER =      3722.84 EST ORIGINAL =     2770.00PT1= 3

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   SOI
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   4 SATIME( 4 ) = 13.200
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -150.27 EST LDER =      4594.94 EST ORIGINAL =     3940.00PT1= 2

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   FBH
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   5 SATIME( 5 ) = 13.350
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -150.82 EST LDER =      5097.65 EST ORIGINAL =     4620.00PT1= 2

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   FBF
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   6 SATIME( 6 ) = 13.533
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      -79.90 EST LDER =      5985.96 EST ORIGINAL =     5050.00PT1= 3

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   FBD
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   7 SATIME( 7 ) = 13.750
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      2712.99 EST LDER =      7362.78 EST ORIGINAL =     7310.00PT1= 3

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

      NOMBRE DE LA ESTACION   FBB
    * DE ESTACIONES =      8 ESTAC *   8 SATIME( 8 ) = 14.016
      LIZO =      8      LDER =     14

EST LIZO=      5077.21 EST LDER =      9009.36 EST ORIGINAL =     9000.00PT1= 3

```

1
 TABLA II. Número de estaciones, excursiones y posiciones de las estaciones en marea alta y baja, durante el cruce del 6 de julio de 1977.

$$T_i = \frac{\sum_{m=1}^N T_m A_m}{\sum_{m=1}^N A_m} \quad (30)$$

donde:

N : es el número de niveles a que se muestreó.

S_i : promedio de salinidad representativa del centro de la i -ésima sección transversal, donde existe una estación.

S_m : salinidad a una profundidad intermedia dada en la i -ésima sección.

A_m : área entre la profundidad de una subsección y la siguiente.

T_m : temperatura a una profundidad intermedia dada en la i -ésima sección.

T_i : promedio de temperatura representativa del centro de la i -ésima sección transversal, donde existe una estación.

Con estos promedios se hicieron gráficas longitudinales de salinidad y temperatura y por medio de interpolación se obtuvieron valores de dichos parámetros en el centro de cada segmento, para cada día de crucero. También se obtuvieron los gradientes de salinidad en cada segmento $(\frac{\partial \bar{S}}{\partial x})$.

E. Cálculo de coeficientes de difusión y velocidades por gradiente de densidad

El coeficiente de difusión (Ippen, 1966) está dado por:

$$D_x^* = 14.2hu \left(\frac{2g}{Cc}\right)^{1/2} \quad (31)$$

donde:

h: es la profundidad promedio en cada segmento.

u: velocidad debida a la marea.

g: aceleración debida a la gravedad.

Cc: coeficiente de Chezy.

De la ecuación de Manning (Ippen, 1966)

$$Cc = \frac{1.49}{n} R^{1/6} \quad (32)$$

donde:

n: coeficiente de Manning.

R: razón hidráulica (coeficiente del área transversal sobre el perímetro mojado).

Conociendo la razón hidráulica para cada hora y la velocidad debida a la marea, se calculó el coeficiente de difusión instantáneo para cada hora, en cada segmento y para todo el mes de julio. Los coeficientes de Manning fueron tomados del trabajo de Del Valle Lucero (1979). Una vez obtenidos los coeficientes de difusión es posible calcular el valor de la velocidad

de la corriente debido a gradientes de densidad, mediante el siguiente procedimiento (Ippen, 1966).

La ecuación de difusión de sal unidimensional se escribe como:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial S}{\partial x}) \quad (33)$$

donde:

u: velocidad de fluido.

S: salinidad.

D_x : coeficiente de difusión.

La velocidad del fluido en cualquier punto es dada por la velocidad debida a marea total (marea astronómica + meteorológica más la velocidad debida a cambios de la densidad) por lo tanto, si asumimos que la razón de difusión en un período de marea es compensada por el cambio de la salinidad (Ippen, 1966) tenemos que:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u(x,t) \frac{\partial S}{\partial x} - U \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial S}{\partial x}) \quad (34)$$

Sin embargo, la concentración de sal varía periódicamente debido a la marea. Promediando sobre un ciclo de marea la ecuación se simplifica considerablemente reduciéndose a la ecuación de conservación unidimensional de un estado cuasi-estacionario como sigue:

$$-U_d \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}) \quad (35)$$

donde:

$\frac{\partial \bar{S}}{\partial x}$: gradiente longitudinal del promedio de la salinidad con el tiempo.

Por lo tanto:

$$-U_d = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial \bar{S}}{\partial x}) / \frac{\partial \bar{S}}{\partial x} \quad (36)$$

Con ésto, se obtuvieron las velocidades debidas a cambios en la densidad en cada segmento, cada hora y para todo el mes de julio; conociendo los gradientes longitudinales de densidad, obtenidos según se explicó en la sección anterior.

Teniendo las velocidades debidas a marea total, a marea astronómica y a cambios de densidad, se seccionó la Bahía de acuerdo a la importancia relativa de cada una de ellas.

F. Datos de tinta fluorescente

Se inyectó rodamina wt, tanto en Bahía Falsa como en Bahía San Quintín en diferentes días, de manera que ambos experimentos fueran diferentes. En la primera se colocó una masa de 17.4 kg. en una solución al 20% (peso seco 3.48 kg.) el día 5 de julio de 1977 a las 10:34 A. M. En Bahía San Quintín, se

colocó una masa de 17.35 kg. al 20% (peso seco 3.47 kg.) el día 12 de julio a las 13:47 horas. Por medio de un fluorómetro Turner modelo 111 que tiene una precisión de ± 0.05 p.p.b., se midió la distribución del trazador como una función del espacio y del tiempo. Se midió la concentración de tinta a lo largo de toda la Bahía Falsa para los días del 6 al 13 de dicho mes. En Bahía San Quintín, solo se tomaron datos durante dos días después de la inyección de tinta, debido a su rápido decaimiento. Se consideró la concentración en el centro de cada segmento, corrigiendo su posición por el desplazamiento debido a la marea, como se explicó anteriormente.

Asumimos que la tinta se distribuye uniformemente con la profundidad como se observó en algunos muestreos verticales que se efectuaron. La aplicación del modelo para obtener alguna cantidad apreciable de ostras en C. virginica, requiere conocer la concentración de tinta después de 14 días de inyectarse (Carter, 1967). Para conocer ésta en el caso de la Bahía Falsa se extrapoló la información mediante el método de residuales (McNiel, 1977), que permite ajustar una curva exponencial a los datos experimentales y predecir alguna información adicional. Dicho método consiste en obtener residuales de los datos, sin ninguna tendencia, es decir, los residuales serán al azar. También se requiere que los residuales sean pequeños comparados con los datos. En el caso de Bahía San Quintín no fue posible usar este método ya que sólo se tienen dos valores. Se trató de ajustar la curva (exponencial) de otra manera, pero

los valores predichos son muy pequeños y no son confiables; se puede decir que Bahía San Quintín tiene una gran capacidad de dispersión.

1. Modelo de dispersión

La dispersión del trazador se usó para determinar la distribución probable de larvas de ostión.

Asumiendo que el comportamiento de ambos es similar y tomando además en cuenta la mortalidad de las larvas (Carter, 1967).

$$\frac{C_d \cdot D_d}{M_d} = \frac{C_1 \cdot D_1}{N_1(0) \cdot \exp(-kt)} \quad (37)$$

donde:

C_d : es la concentración de tinta en un tiempo $t=t_0$ después de inyectada la tinta.

D_d : extensión vertical del trazador (profundidad).

M_d : masa inicial de la tinta.

C_1 : concentración de larvas en un tiempo $t=t_0$ después de desove.

$N_1(0)$: número inicial de larvas desovadas.

k : razón de mortalidad de las larvas.

D_1 : extensión vertical de las larvas.

Además, las larvas decaen según:

$$\frac{d N_1 (t)}{dt} = -k N_1 (t) \quad (38)$$

Esta relación supone que la razón de cambio de la cantidad de larvas debido a predación y a otras causas, es proporcional al número de larvas.

También puede ser escrito como:

$$N_1 (t) = N_1 (0) \exp (-kt) \quad (39)$$

despejando de la ecuación (37) el número inicial de larvas, se tiene que:

$$N_1 (0) = \frac{C_1 \cdot D_1}{C_d \cdot D_d} M_d \cdot \exp(kt) \quad (40)$$

Con esta relación, es posible obtener el número inicial de larvas para cada segmento en función de la mortalidad y los demás factores.

Las unidades para cada uno de los parámetros usados son:

C_d - - - - - ppb

D_d - - - - - m.

M_d - - - - - ppb.m³

C_1 - - - - - larvas/m³

D_1 - - - - - m.

Se considera para nuestra aplicación un conjunto numeroso, de 27,800 ostras jóvenes/m³ de colector, suponiendo que existen $.044 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$ de colector (Carter, 1967). Desafortunadamente no se conoce la precisión de estos datos ya que se hacen mediciones de punto.

Entonces de acuerdo a Carter (op. cit.)

$$C_1 \cdot D_1 = (27,800) (.044) = 1,225 \frac{\text{ostras jóvenes}}{\text{m}^2 \text{ de fondo}}$$

El cual es un número que podemos considerar hipotético para nuestros fines. Además, se asume que las larvas nadan libremente 14 días antes de fijarse a la concha, (Carter, 1967) razón por la cual se necesita la concentración de tinta después de 14 días de inyectada.

Suponiendo diferentes razones de mortalidad o tasas de mortalidad, se calcularon los números iniciales de larvas en función de estas tasas de mortalidad. Tomando:

$$k = .33; k = .493; k = .656 \text{ y } k = .831 \text{ días}^{-1}$$

que son valores reales razonables. Como el valor de M_d debe estar en ppb.m³.

$$1 \text{ ppb} = \frac{\mu\text{g}}{\text{lítro}}$$

entonces:

$$1 \text{ kg} = 10^6 \text{ ppb} \cdot \text{m}^3$$

luego:

$$M_d = 3.48 \text{ kg} = 3.48 \times 10^6 \text{ ppb} \cdot \text{m}^3$$

y tomando:

C_d : concentración de tinta en ppb en cada segmento.

$t = 14$ días.

D_d : profundidad media en cada segmento.

Para conocer el número de ostras a colocar, para que produzcan ese número inicial de larvas, se elaboró una tabla de volumen de ostras ovígeras requeridas. (tabla VI). Tomando en cuenta:

- i) el número de ostras ovígeras por unidad de volumen posibles de ubicar.
- ii) el número de larvas que produce una ostra por estación.

donde se considera que:

En promedio cada ostra (C. virginica) produce 42×10^6 larvas por estación (Galtsoff, 1964). Si el tamaño promedio de la ostra es de aproximadamente 10 cm.

Entonces:

VOLUMEN INICIAL DE OSTRAS DESOVANTES REQUERIDO = NUMERO INI-

CIAL DE LARVAS/ (NUMERO DE OSTRAS POSIBLES DE UBICAR POR m^3)
(NUMERO DE LARVAS POR OSTRA).

Los datos biológicos utilizados en la aplicación del modelo de dispersión de Carter fueron obtenidos del ostión americano (C. virginica). La aplicación de este modelo a otras especies requiere sólomente de las modificaciones pertinentes a la especie utilizada.

III. RESULTADOS

A. Mareas

Existe un retardo entre las series de tiempo de altura de marea simultáneas en las cinco estaciones mareográficas (Fig. 3). Las correlaciones cruzadas dan información acerca de la magnitud de este retardo de la onda de marea entre pares de estaciones (Figs. 4 a 6). La función R_{xy} está normalizada, por lo que su máximo valor es uno, la tabla III muestra los retardos entre las diferentes estaciones en forma digitalizada, que son del orden de minutos.

La serie de altura de marea predicha por medio de la transformada Z, conserva la forma de la envolvente de la serie registrada (Fig. 7). Al filtrar la altura de marea total para obtener la altura de marea astronómica y la altura de marea no-astronómica, se encuentra que los efectos no-astronómicos (efectos de viento en su mayoría) son más importantes cerca de la cabeza de Bahía San Quintín, principalmente en los segmentos 12, 13, 14 y 15 (Figs. 8 a 11). En regiones cerca de la boca y en Bahía Falsa las fluctuaciones de altura de marea no-astronómica son menos importantes (Figs. 12 a 15), que en las regiones antes mencionadas. La marea astronómica es muy significativa a lo largo de toda la laguna.

B. Salinidad y temperatura

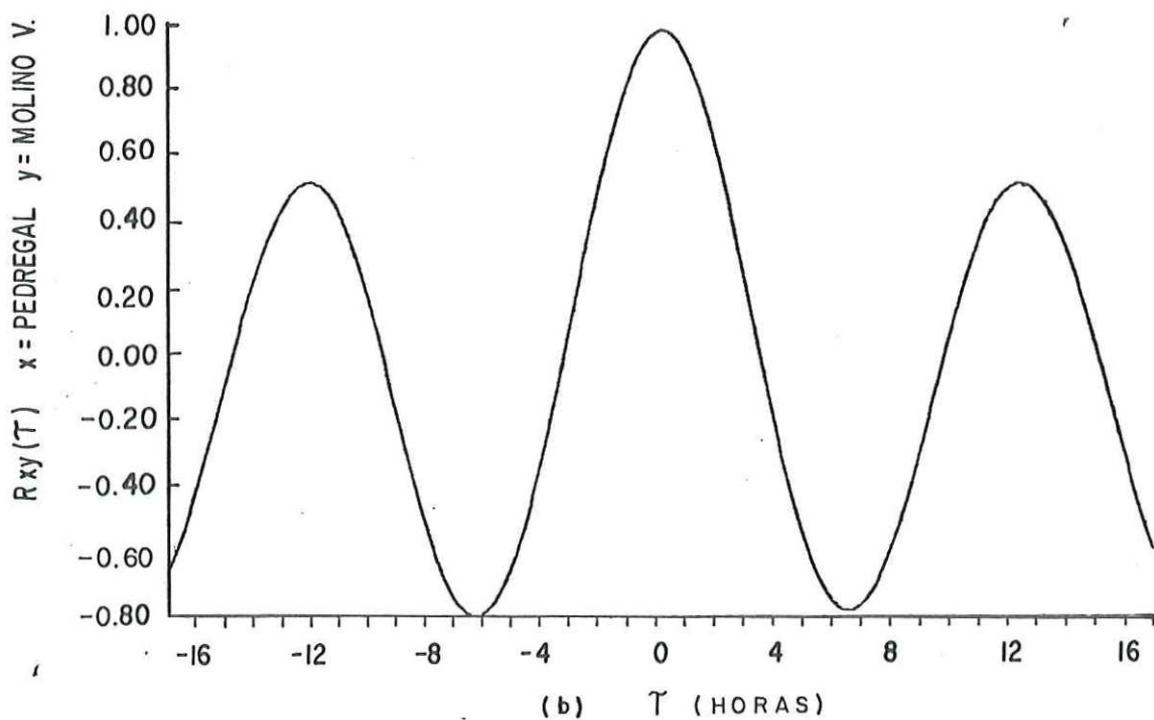
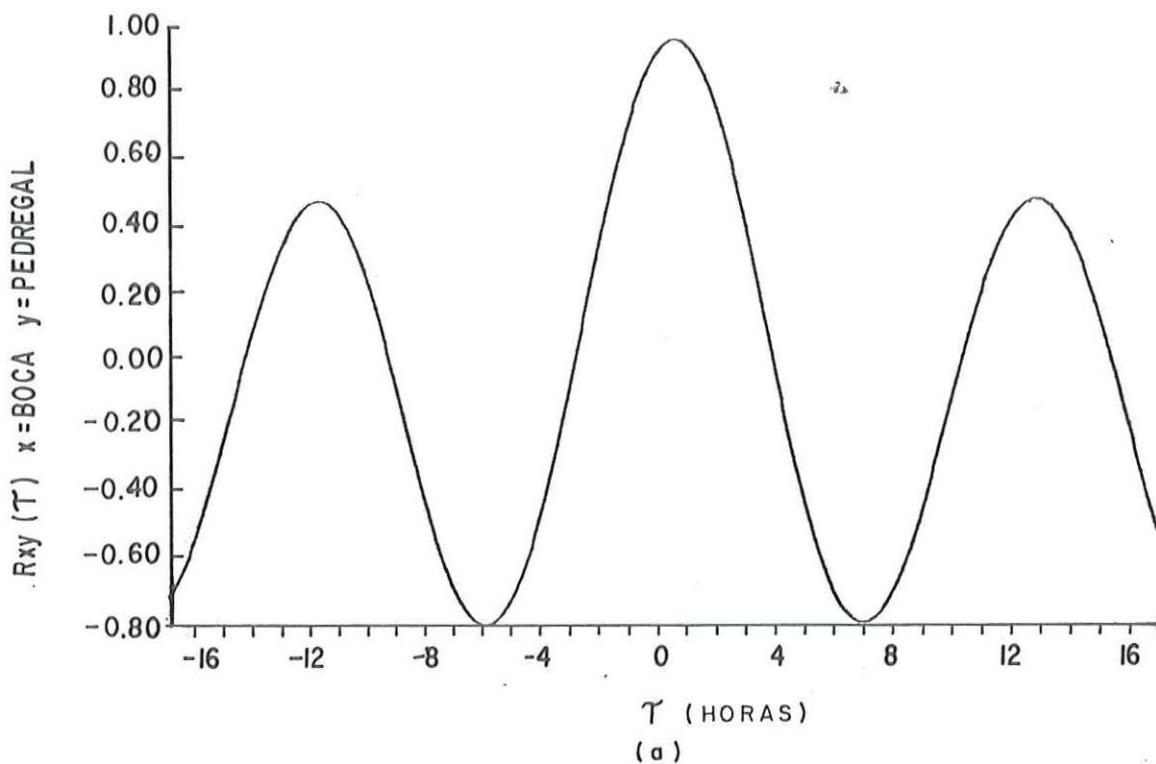


Figura 4. Correlogramas cruzados de series de altura de marea total. a) entre estaciones "boca" y "pedregal". b) entre estación "pedregal" y "molino viejo".

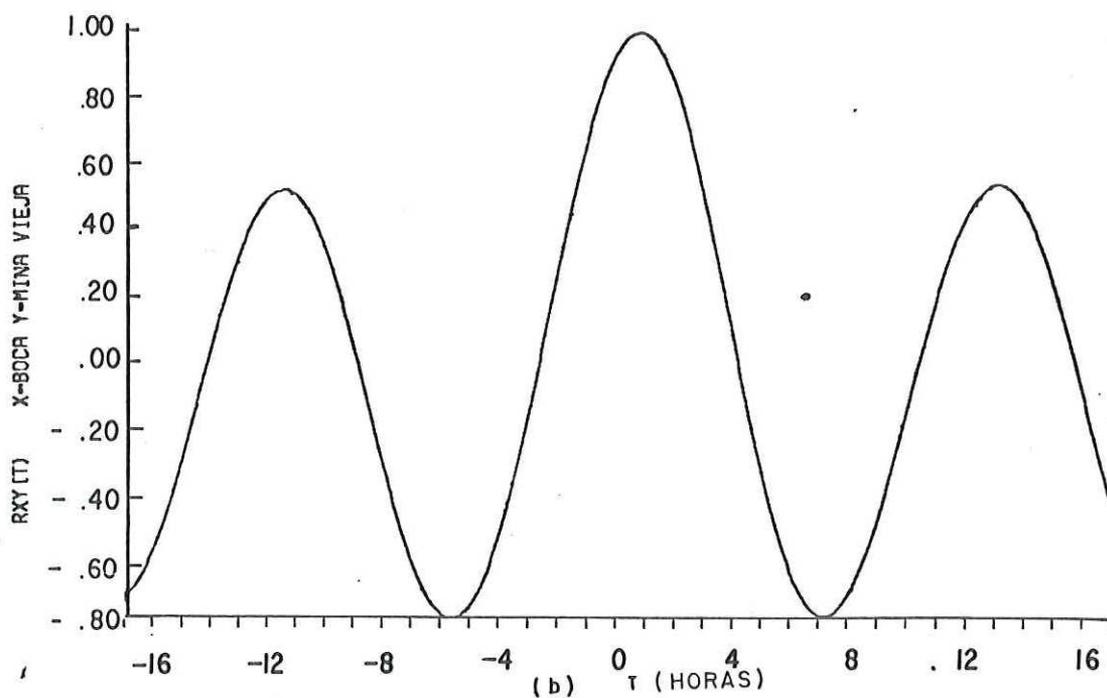
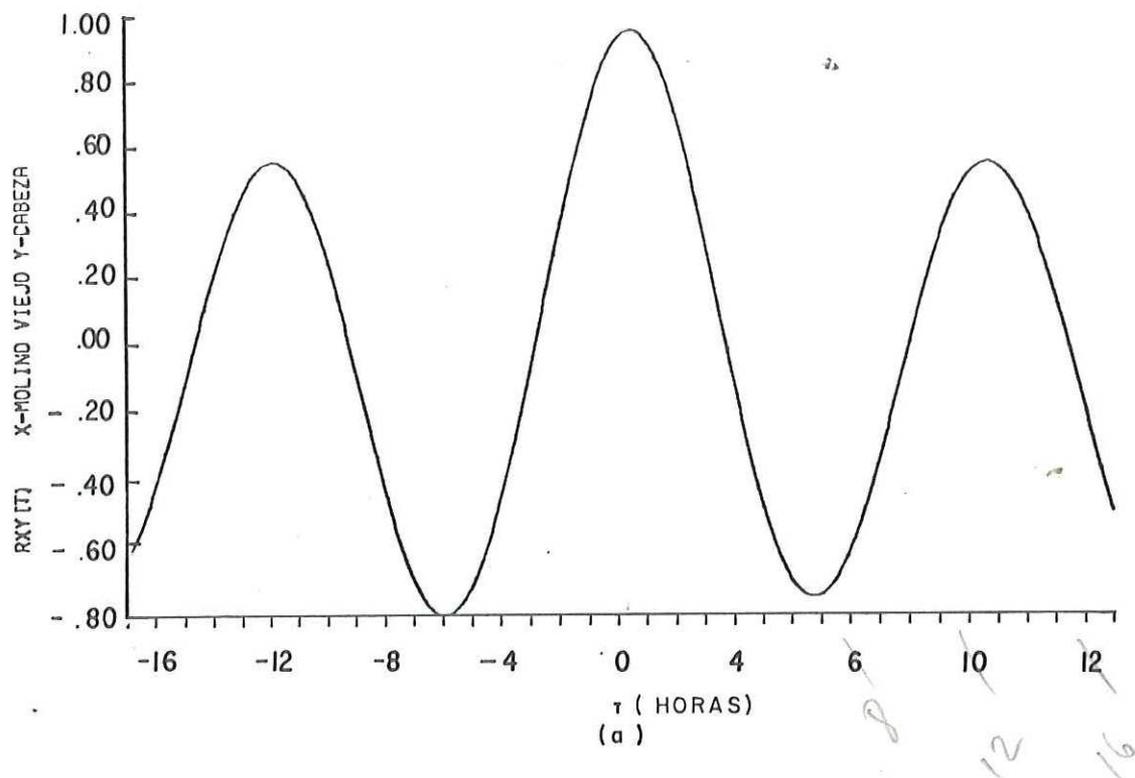


Figura 5. Correlogramas cruzados de series de altura de marea total. a) entre estaciones "molino viejo" y "cabeza". b) entre estaciones "boca" y "mina vieja".

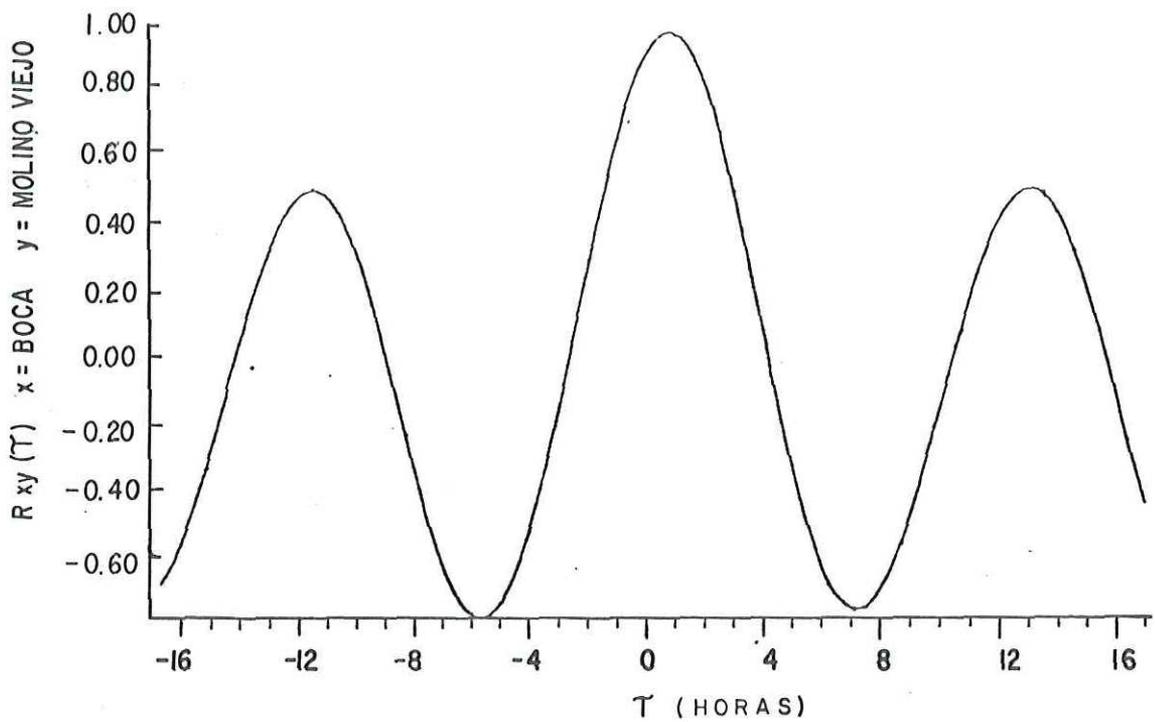
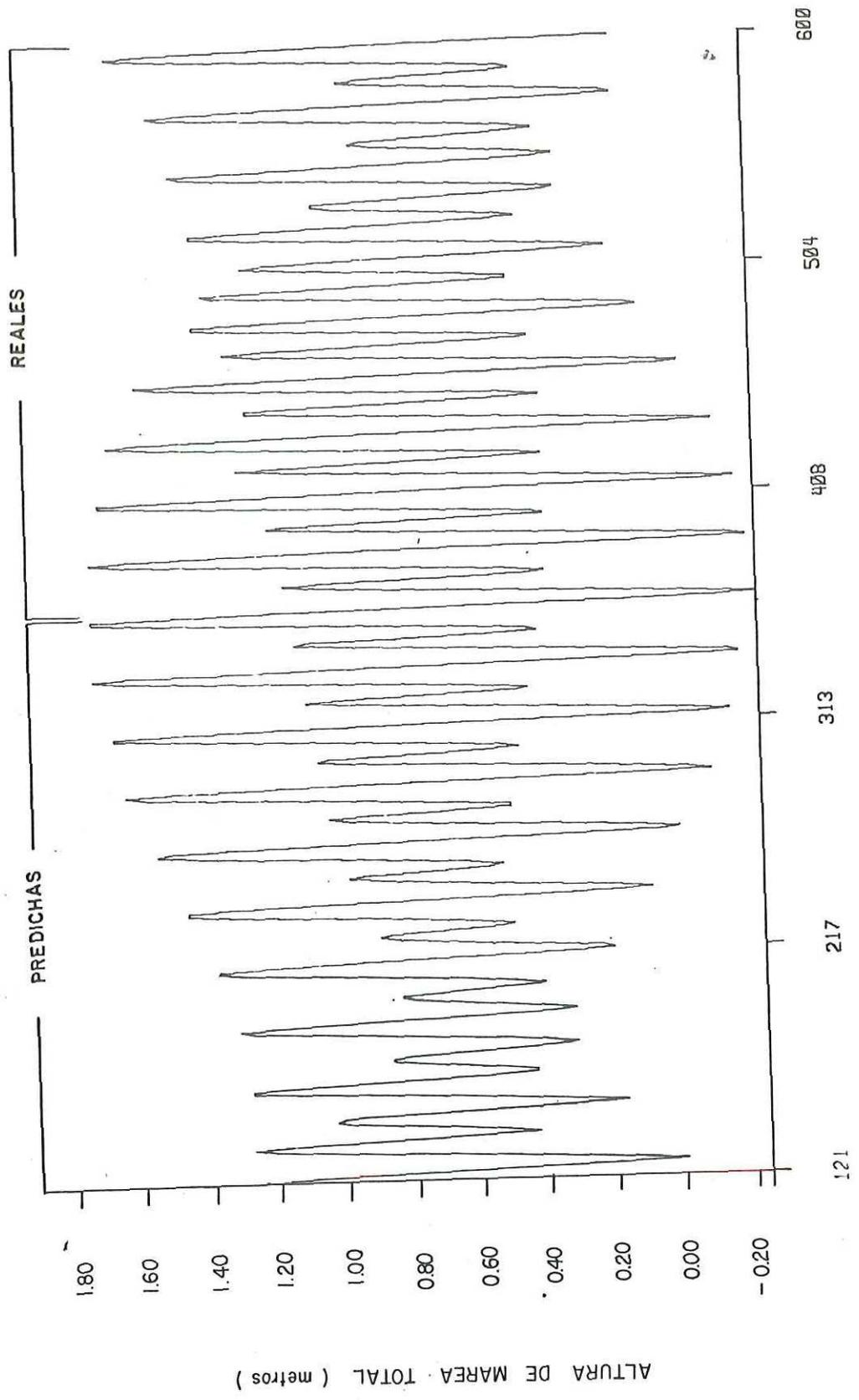


Figura 6. Correlograma cruzado de series de altura de marea total entre estaciones "boca" y "molino viejo".

| | ESTACIONES | CORRELACIONADAS | RETARDO EN MINUTOS |
|-------------------------|--------------|-----------------|--------------------|
| BAHIA SAN QUINTIN | BOCA | PEDREGAL | 36 |
| | BOCA | MOLINO VIEJO | 48 |
| | PEDREGAL | MOLINO VIEJO | 12 |
| | MOLINO VIEJO | CABEZA | 24 |
| BAHIA FALSA | BOCA | MINA VIEJA | 48 |

TABLA III. Retardo de la onda de marea entre pares de estaciones mareográficas



TIEMPO (HORAS)

Figura 7. Alturas de marea total predichas y medidas en estación "predegal" del 6 al 25 de julio de 1977.

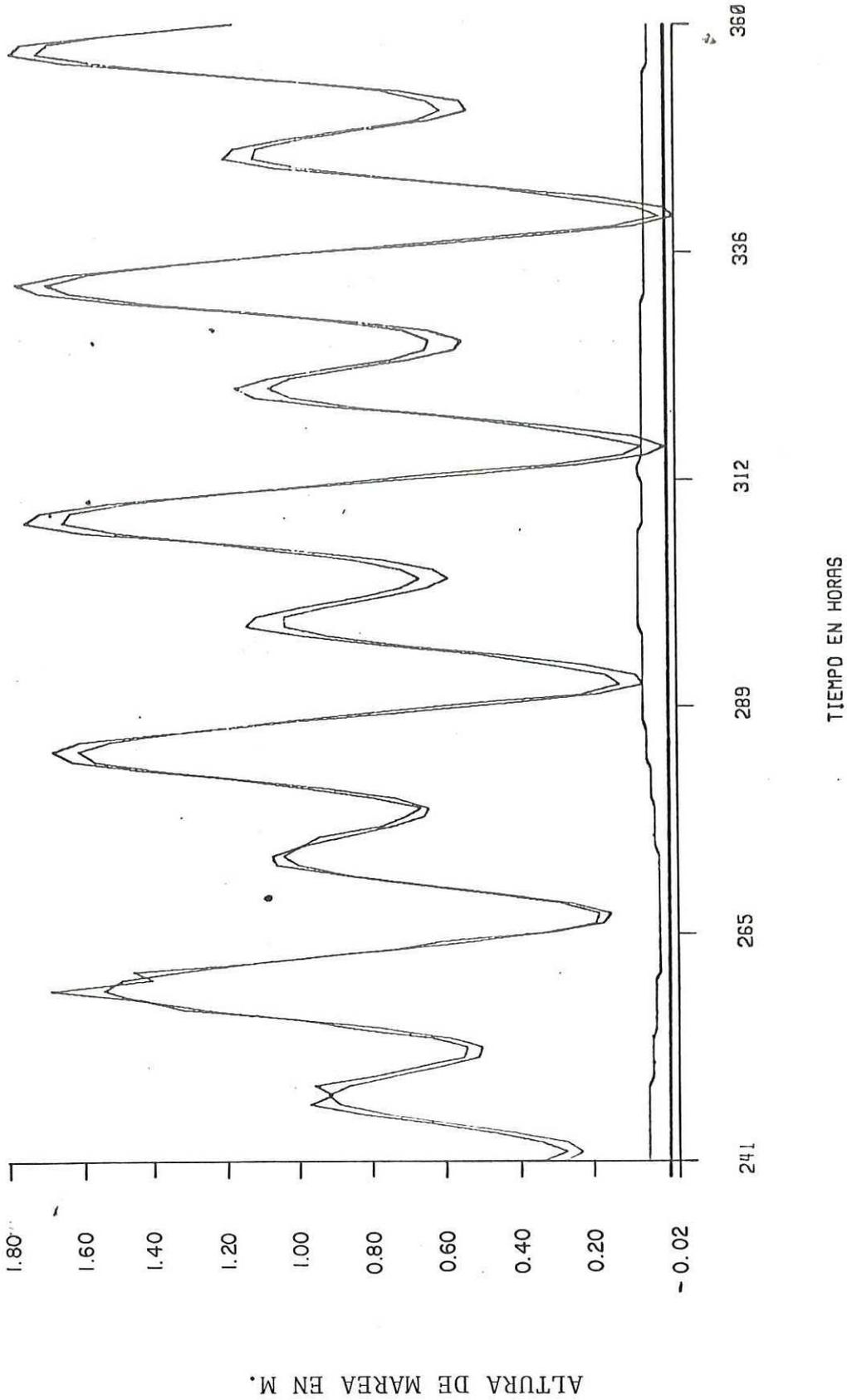


Figura 8. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 12, del 11 al 16 de julio de 1977.

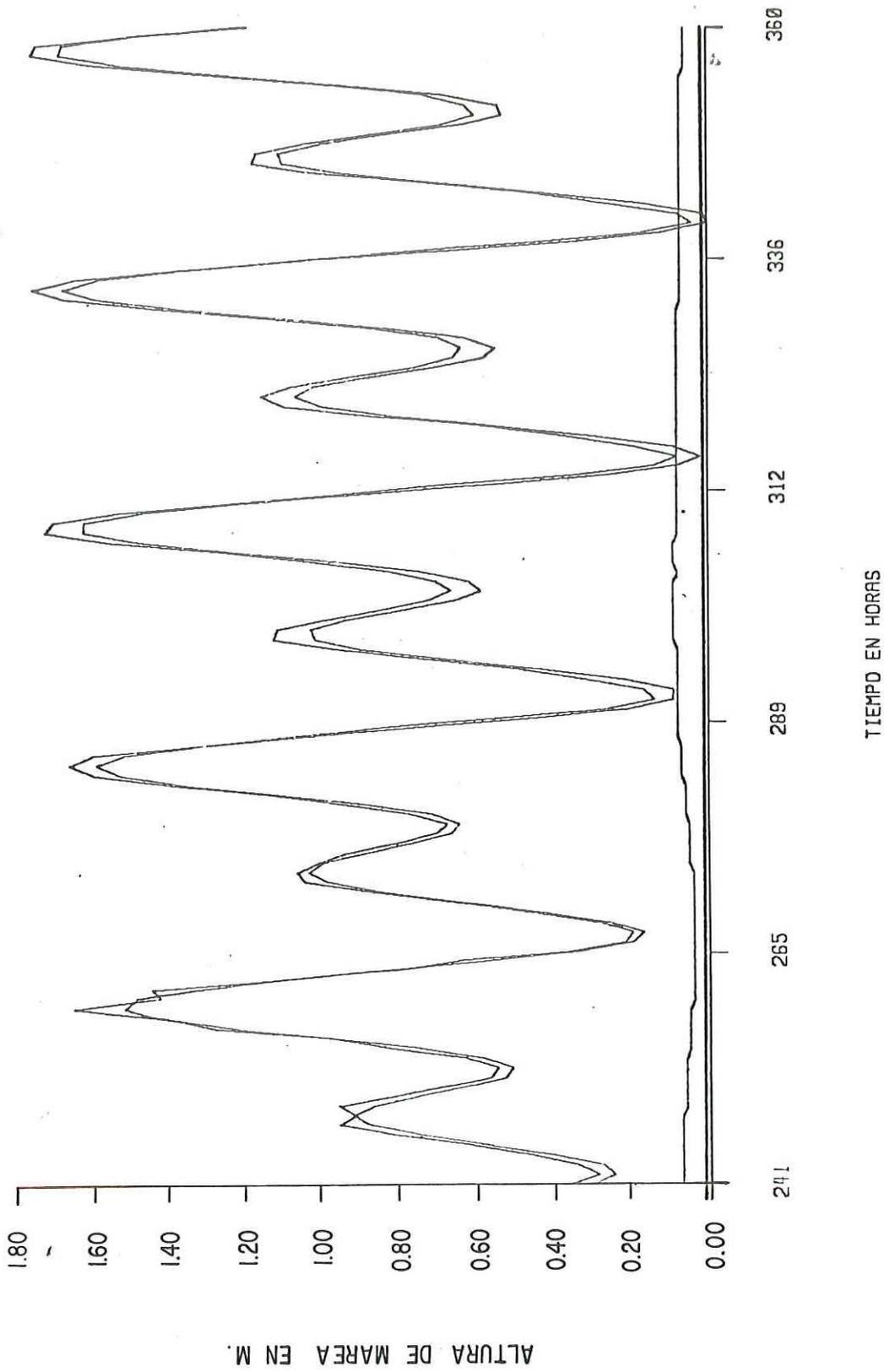


Figura 9. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 13, del 11 al 16 de julio de 1977.

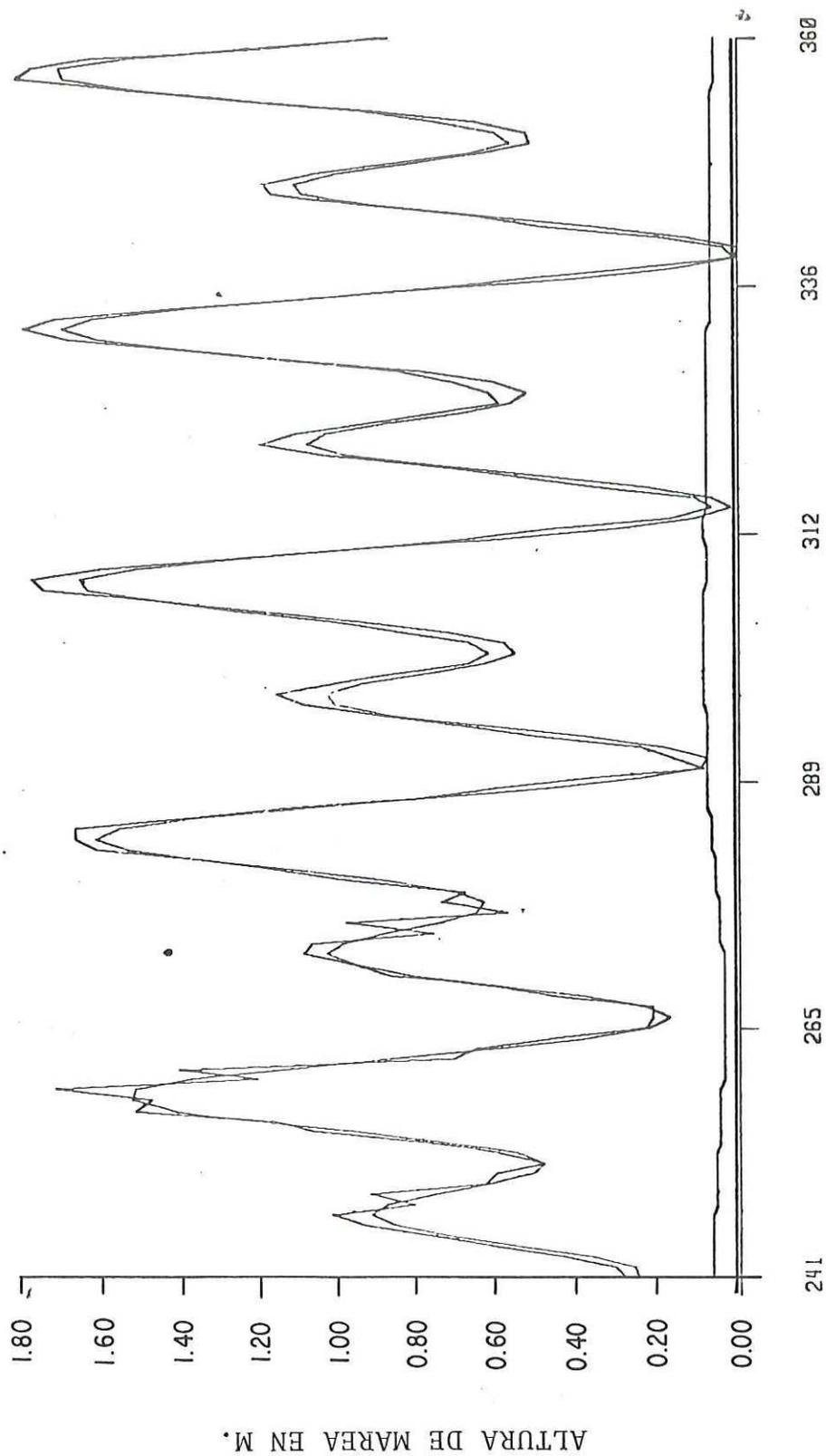


Figura 10. Alturas de marea total, astronómica y no astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 14, del 11 al 16 de julio de 1977.

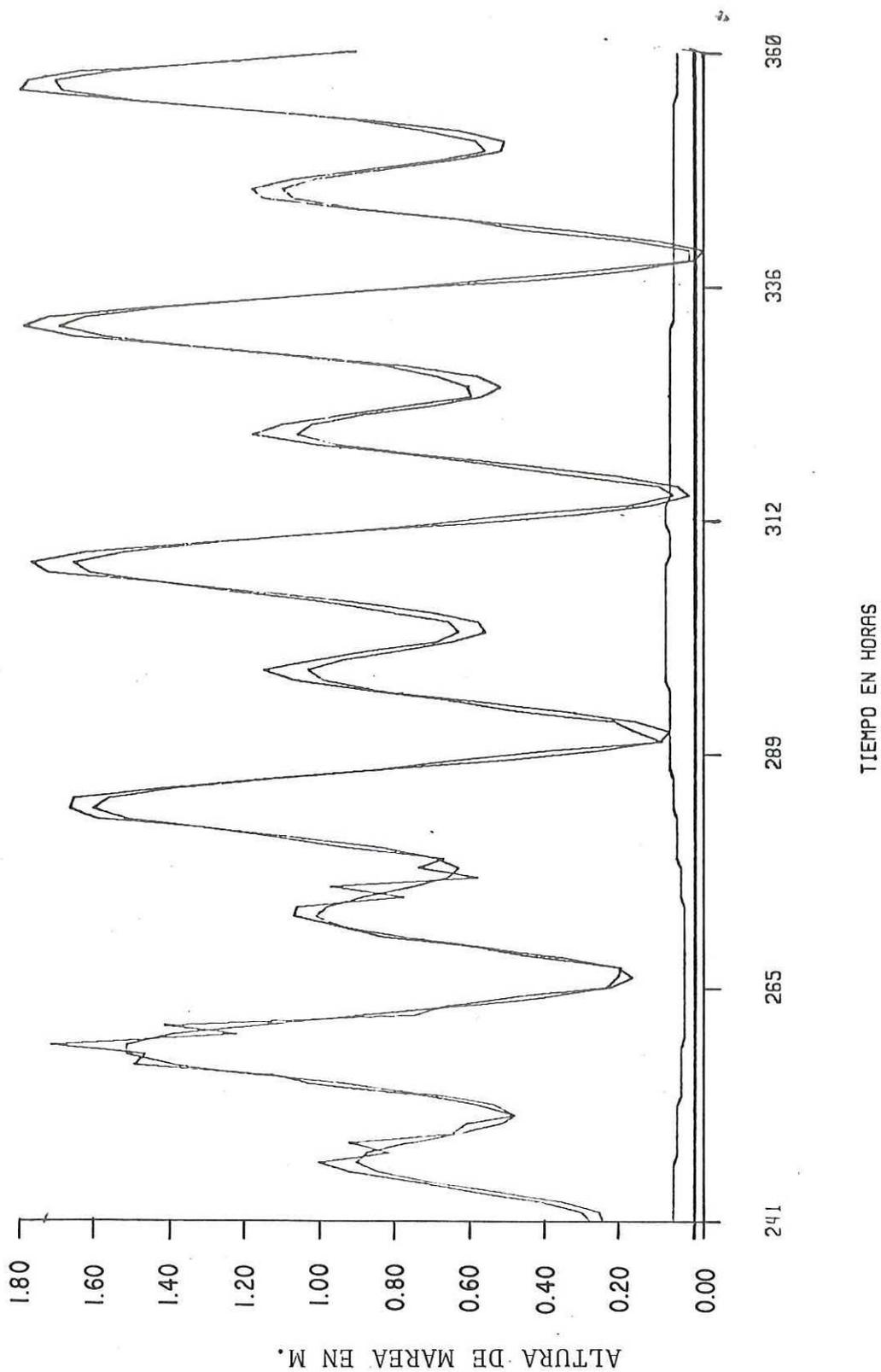


Figura 11. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica en Bahía San Quintín para el segmento 15, del 11 al 16 de julio de 1977.

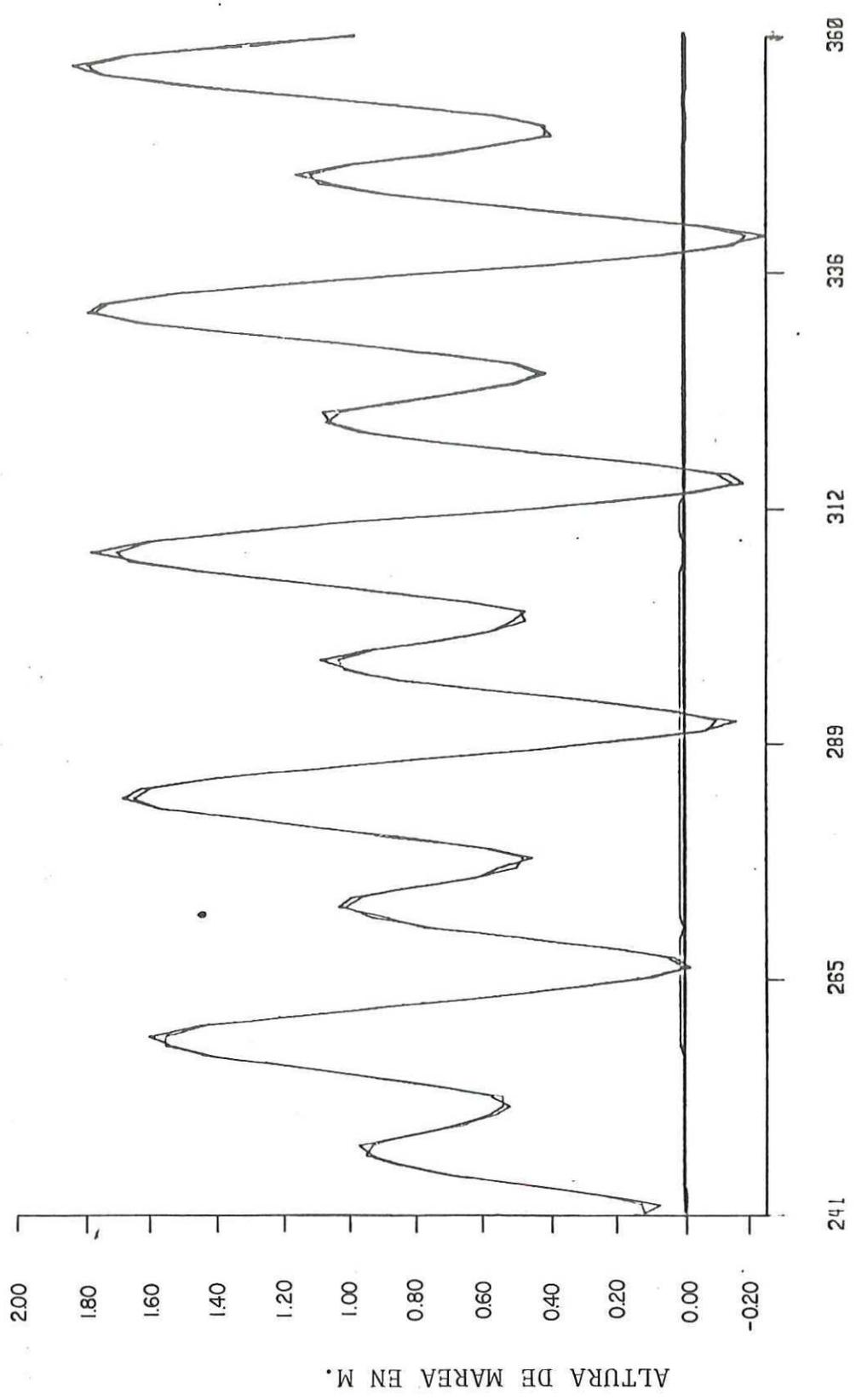


Figura 12. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica del 11 al 16 de julio de 1977, cerca de la boca (segmento 2).

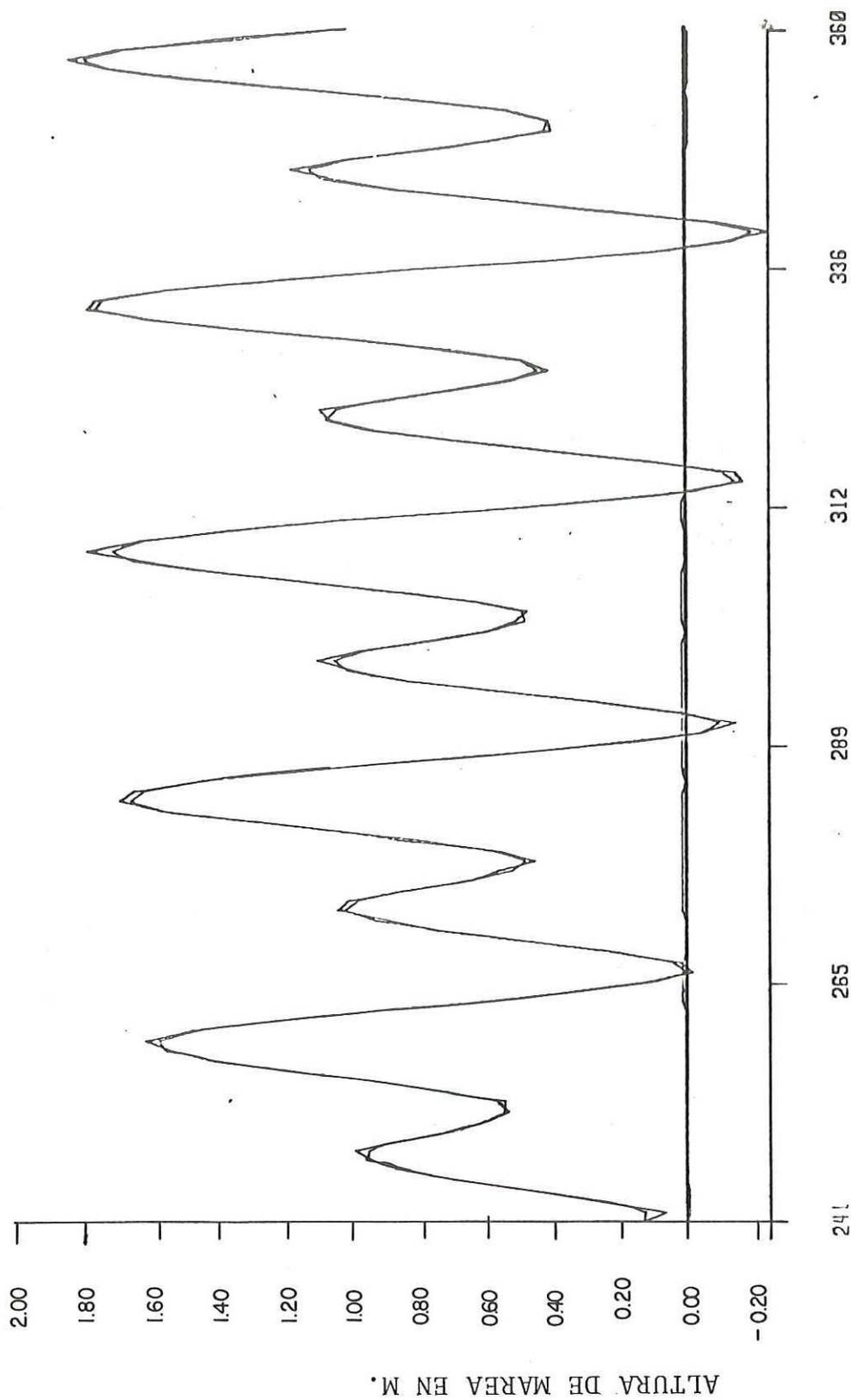
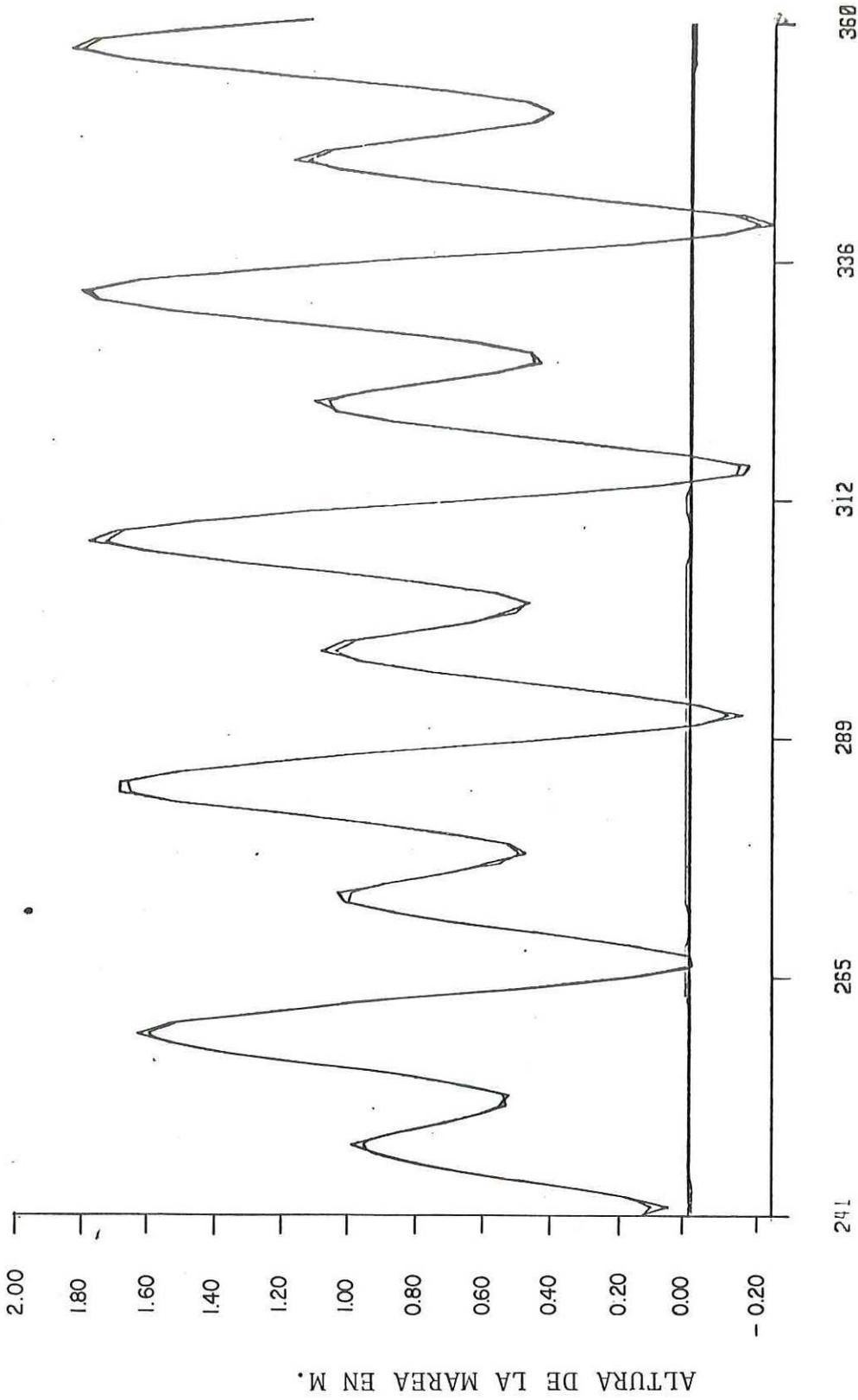


Figura 13. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica del 11 al 16 de julio de 1977, cerca de la boca (segmento 3).



TIEMPO EN HORAS

Figura 14. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica del 11 al 16 de julio de 1977, en Bahía Falsa (segmento 6).

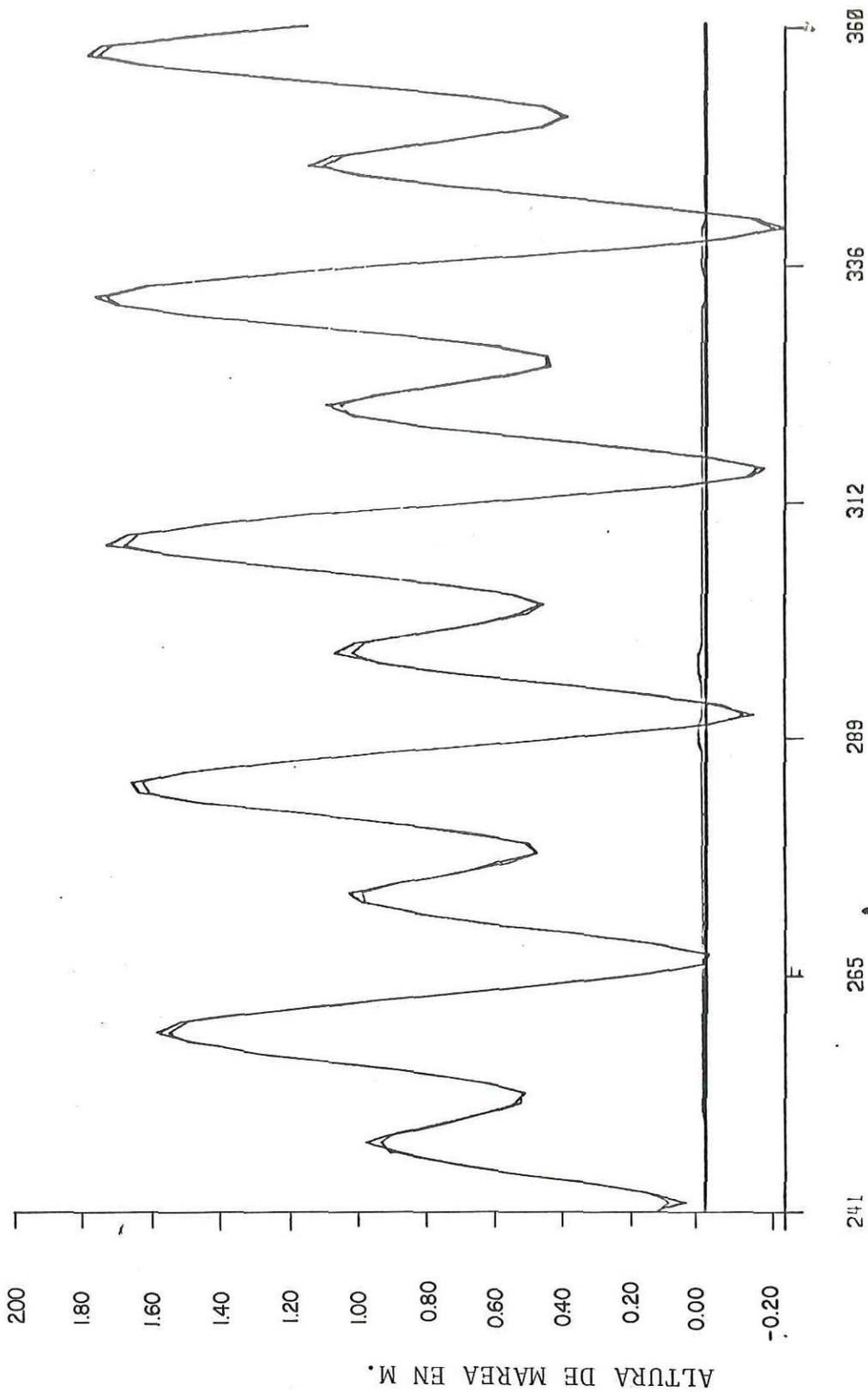


Figura 15. Alturas de marea total, astronómica y no-astronómica del 11 al 16 de julio de 1977, en Bahía Falsa (segmento 7).

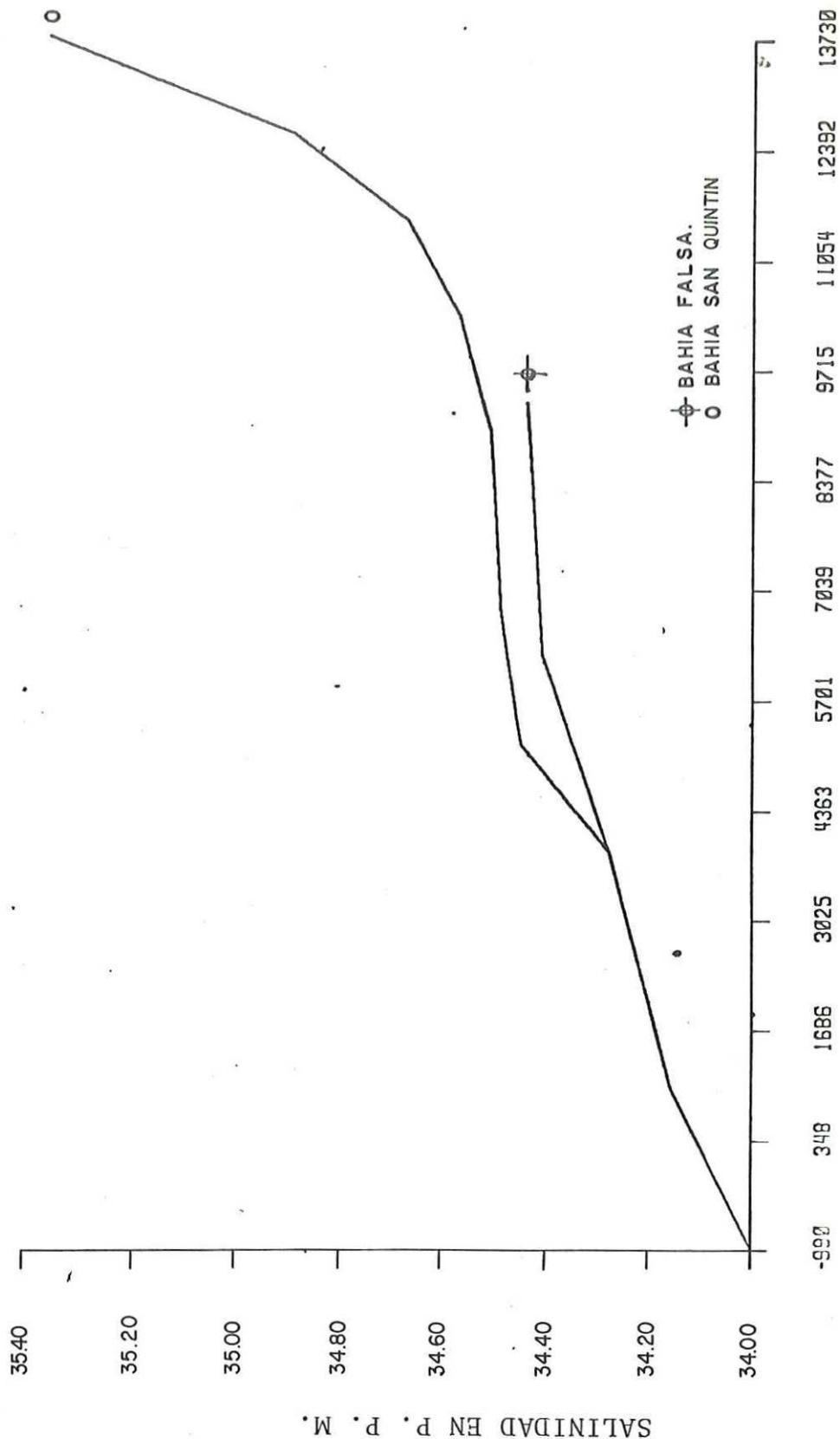
Los promedios ponderados seccionales de salinidad y temperatura aumentaron de la boca hacia la cabeza de ambas bahías como se muestra en las figuras 16 y 17, que corresponden a un sólo día; sin embargo, ésto ocurre durante todo el período de mediciones. El fenómeno es mucho más acentuado en Bahía San Quintín que en Bahía Falsa.

La tabla IV muestra valores de promedios seccionales de salinidad y temperatura para los diferentes días de muestreo en la "boca" y la "cabeza" de Bahía San Quintín y de Bahía Falsa.

En Bahía San Quintín, el rango de salinidad en la "boca" durante estos días fue de $34.32^{\circ}/\text{‰}$ el día 9 a $33.66^{\circ}/\text{‰}$ el día 15. La variación diaria promedio en esta región fue de $0.21^{\circ}/\text{‰}$, pero la máxima variación fue de $0.42^{\circ}/\text{‰}$ entre los días 6 y 7.

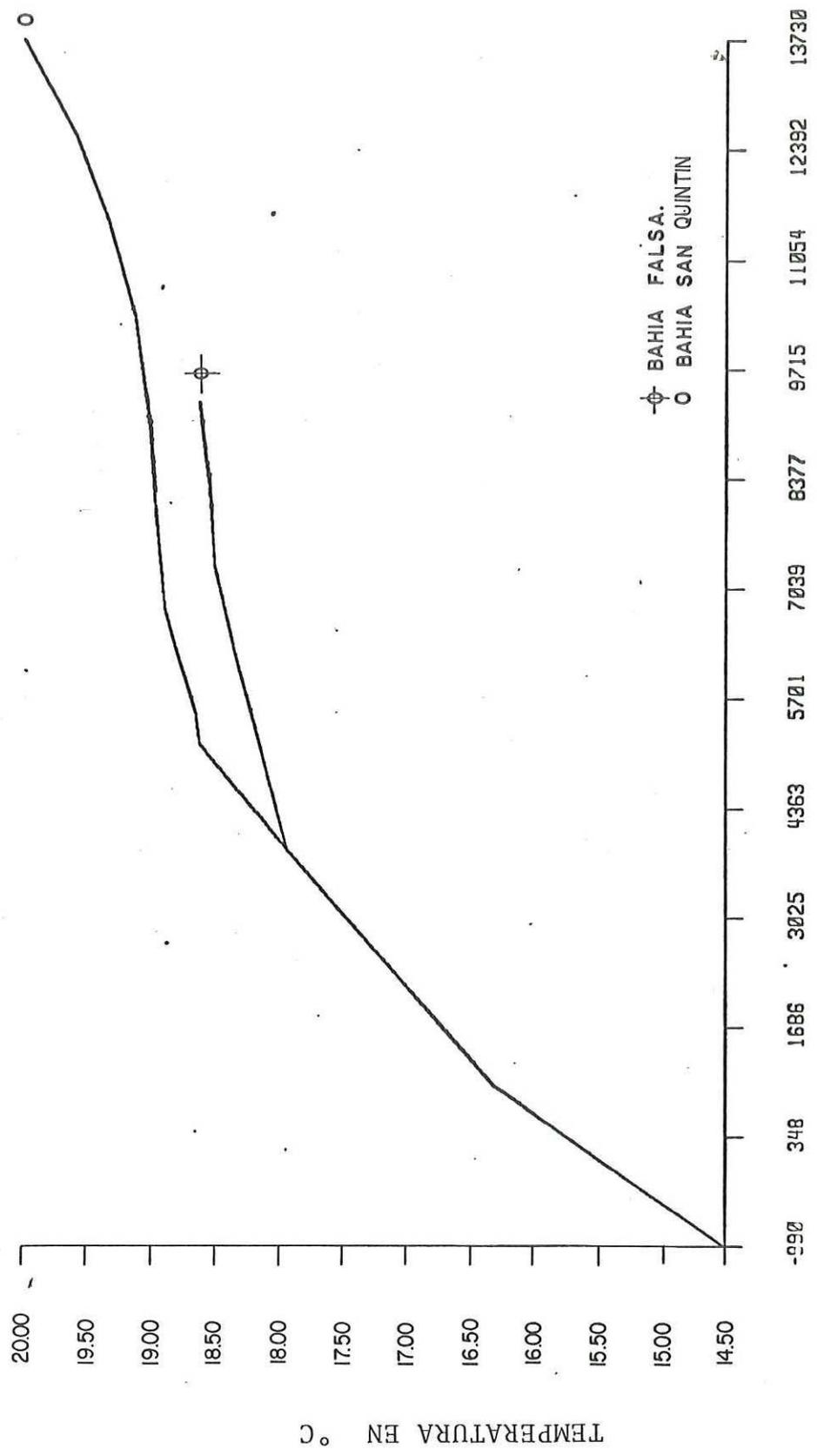
Para la misma Bahía, el rango de salinidad en la "cabeza" fue de $34.34^{\circ}/\text{‰}$ el día 6 a $35.83^{\circ}/\text{‰}$ el día 19. La variación diaria promedio en esta región fue de $0.36^{\circ}/\text{‰}$, pero la máxima variación fue de $1.20^{\circ}/\text{‰}$.

La máxima diferencia de salinidad entre la "boca" y la "cabeza" fue de $2.03^{\circ}/\text{‰}$ el día 19. La mínima diferencia fue de $0.04^{\circ}/\text{‰}$ el día 9. La diferencia promedio entre ambas regiones fue de $1.04^{\circ}/\text{‰}$. Es evidente en esta tabla que la variación de salinidad es mayor en la "cabeza".



DISTANCIA EN M. (ORIGEN EN BOCA)

Figura 16. Promedios ponderados seccionales de salinidad en Bahía San Quintín y Bahía Falsa, para el 16 de julio de 1977.



DISTANCIA EN M. (ORIGEN EN BOCA)

Figura 17. Promedios ponderados seccionales de temperatura en Bahía San Quintín y Bahía Falsa, para el 16 de julio de 1977.

| DIA | BAHIA SAN QUINTIN | | | | BAHIA FALSA | | | |
|-----|-------------------|--------|-------------------|--------|----------------|--------|-------------------|--------|
| | SALINIDAD ‰ | | TEMPERATURA °C | | SALINIDAD ‰ | | TEMPERATURA C° | |
| | BOCA | CABEZA | BOCA | CABEZA | BOCA | CABEZA | BOCA | CABEZA |
| 6 | 33.76 | 34.34 | 12.66 | 18.08 | 33.76 | 34.34 | 12.66 | 18.08 |
| 7 | 34.18 | 35.54 | 16.79 | 18.82 | 34.18 | 34.54 | 16.79 | 18.61 |
| 8 | 34.20 | 34.71 | 17.49 | 19.03 | 34.20 | 34.30 | 17.49 | 18.16 |
| 9 | 34.32 | 34.36 | 17.91 | 18.96 | 34.33 | 34.36 | 18.15 | 18.96 |
| 10 | 34.16 | 34.41 | 18.21 | 19.41 | 34.34 | 34.37 | 18.03 | 18.86 |
| 11 | 34.00 | 34.46 | 15.31 | 19.86 | 34.10 | 34.46 | 16.54 | 19.86 |
| 12 | 34.34 | 34.52 | 17.95 | 18.93 | 34.38 | 34.52 | 18.26 | 18.93 |
| 13 | 34.11 | 34.76 | 17.52 | 19.16 | 33.96 | 34.20 | 17.02 | 17.96 |
| 14 | 33.88 | 35.01 | 17.20 | 19.38 | 34.53 | 34.63 | 17.29 | 17.59 |
| 15 | 33.66 | 35.26 | 14.03 | 18.61 | 33.66 | 34.05 | 14.03 | 17.02 |
| 16 | 34.01 | 35.37 | 14.53 | 20.11 | 34.01 | 34.45 | 14.53 | 18.73 |
| 17 | 33.90 | 35.55 | 14.80 | 20.83 | 33.90 | 34.50 | 14.80 | 19.66 |
| 18 | 33.67 | 35.35 | 12.71 | 21.11 | 33.67 | 34.46 | 12.71 | 20.01 |
| 19 | 33.80 | 35.83 | 13.06 | 21.36 | 33.80 | 34.45 | 13.06 | 19.80 |
| 20 | 33.90 | 34.97 | 14.64 | 20.30 | 33.99 | 34.52 | 14.64 | 20.30 |

TABLA IV. Promedios ponderados seccionales de salinidad y temperatura en boca y cabeza en Bahía San Quintín y Bahía Falsa.

En Bahía Falsa, los rangos de salinidad, en la "boca", son similares a los encontrados en Bahía San Quintín. Por otro lado, en la "cabeza", estos rangos son menores a los encontrados en Bahía San Quintín, con una variación de 34.63‰ el día 14 a 34.05‰ el día 15.

Los rangos de temperatura en la "boca" son muy similares para ambas Bahías, con variaciones de 12.66°C el día 6 a 18.26°C el día 12. Por el contrario, se aprecian diferencias marcadas en los rangos de temperatura en la "cabeza" para ambas Bahías. En Bahía San Quintín el rango varió de un mínimo de 18.08°C el día 6 a un máximo de 21.36°C el día 19, mientras que en Bahía Falsa, el rango fue de 17.02°C el día 15 a un máximo de 20.30°C el día 20. Es notoria una mayor variación diaria en la temperatura en la "boca" de 1.05°C comparada con 0.44°C en la "cabeza". Es conveniente hacer notar que para ambas Bahías se encontraron temperaturas mayores a 19°C solamente en las "cabezas" y a partir del día 16.

C. Decaimiento de trazadores y analogía con larvas de ostión

Los datos experimentales de concentración de tinta fluorescente en función del tiempo en cada segmento para Bahía Falsa, se ajustan a una función de decaimiento exponencial (Figs. 18 a 23) del tipo:

$$f(t) = k_1 \exp(-k_2 t) \quad (41)$$

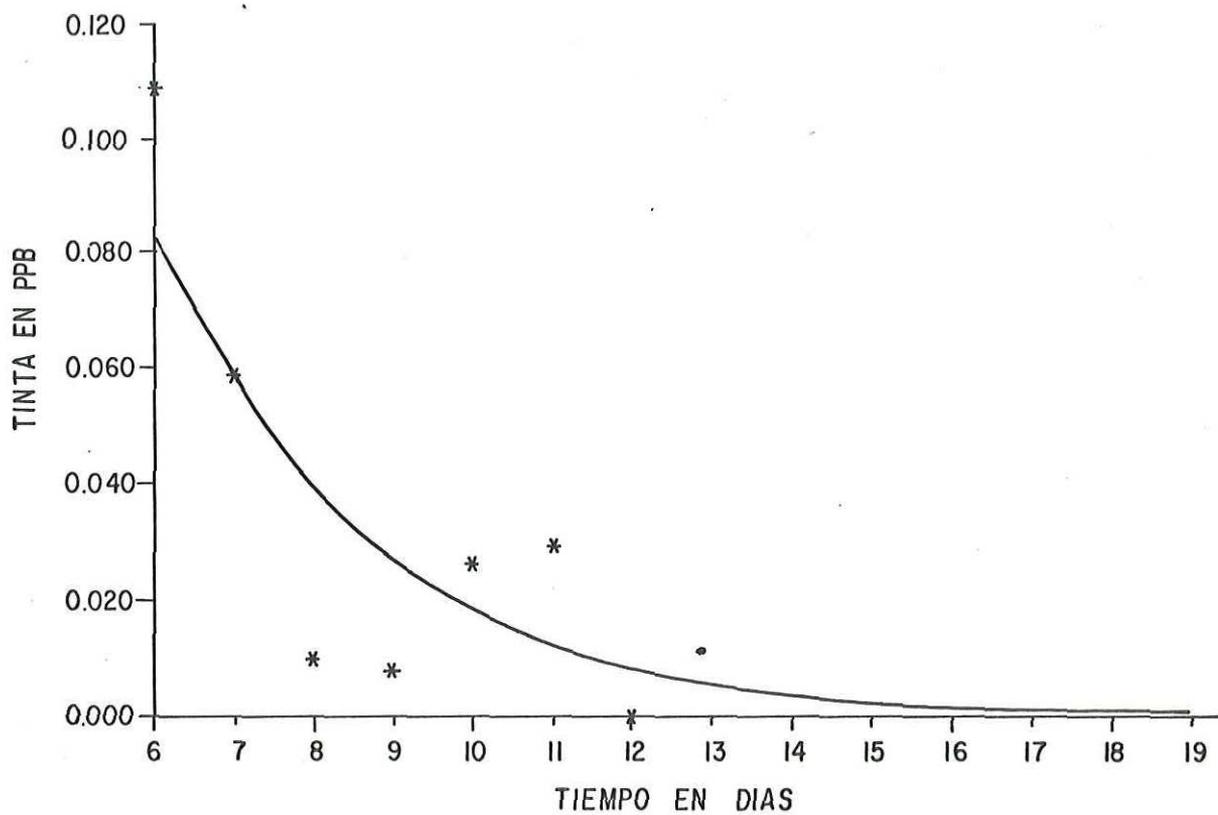


Figura 18. Concentración de rodamina wt en el segmento 2 de Bahía Falsa.

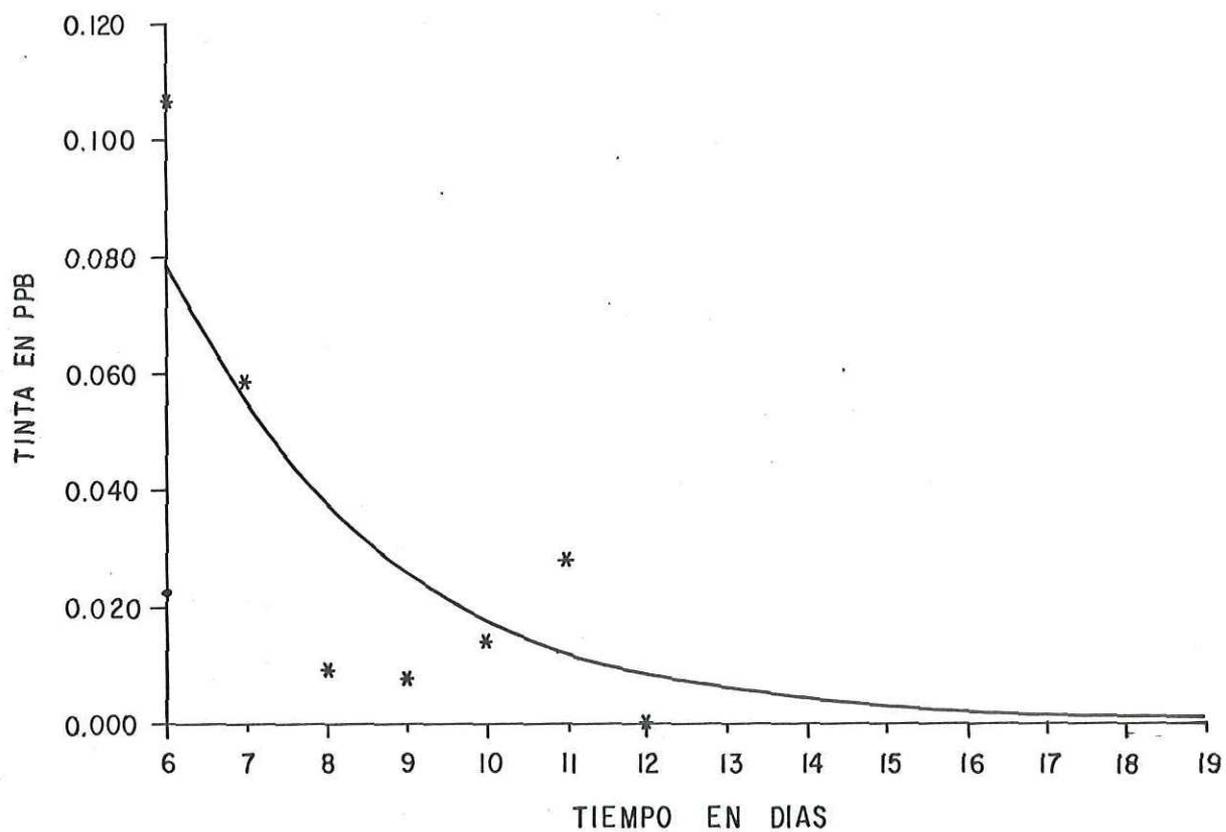


Figura 19. Concentración de rodamina wt en el segmento 3 de Bahía Falsa.

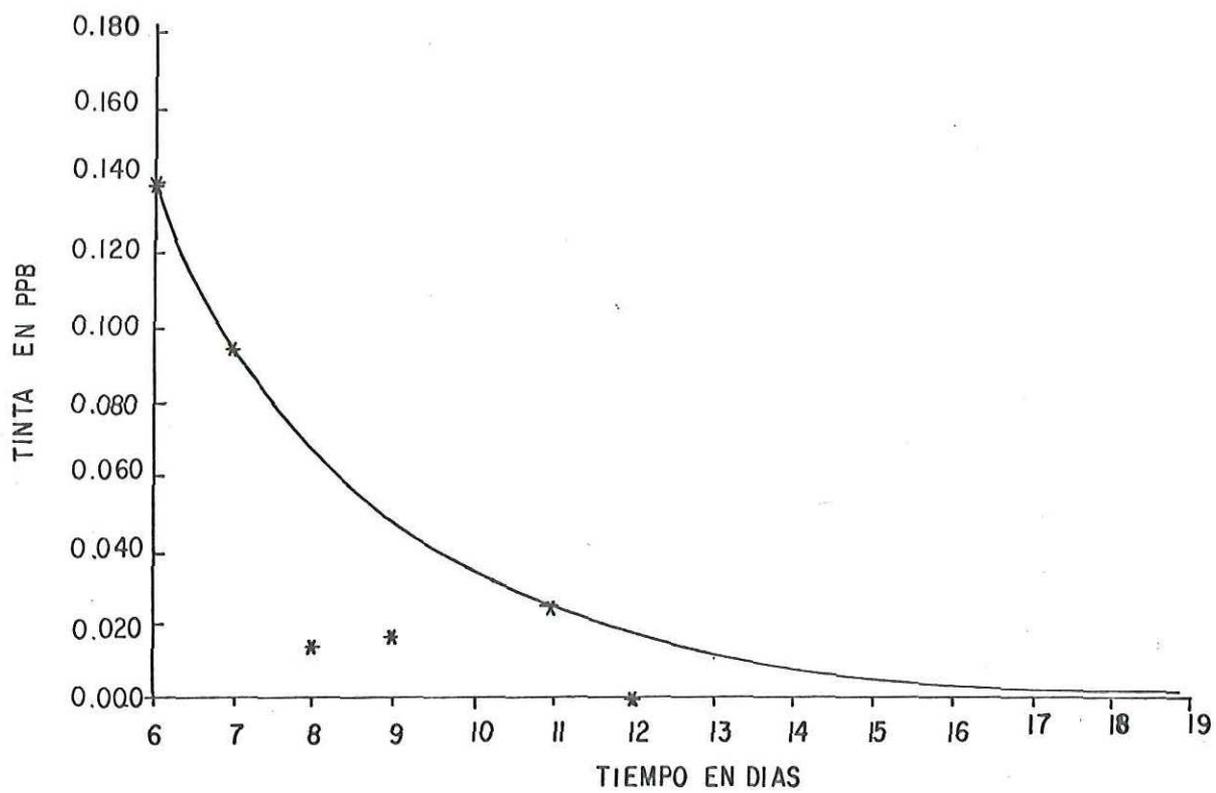


Figura 20. Concentración de rodamina wt en el segmento 4 de Bahía Falsa.

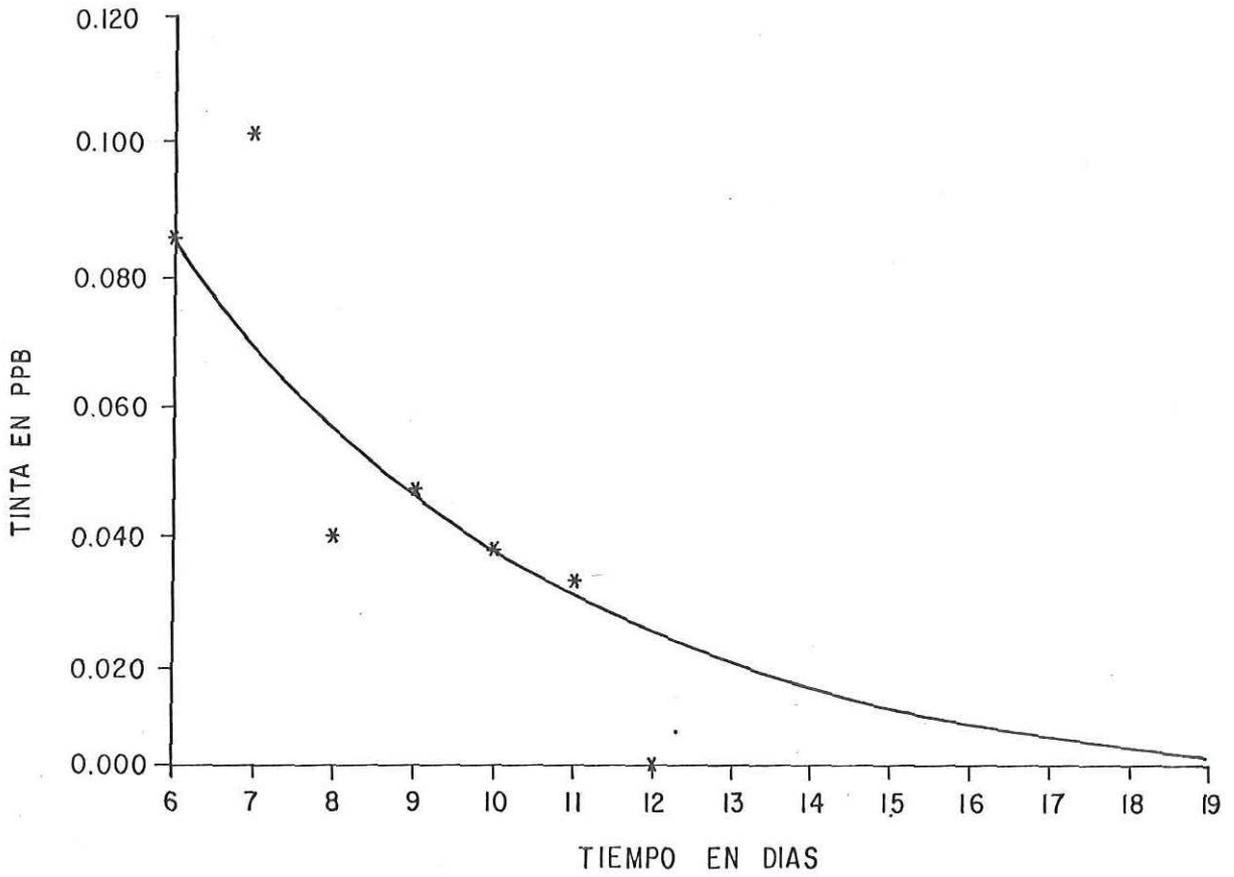


Figura 22. Concentración de rodamina wt en el segmento 6 de Bahía Falsa.

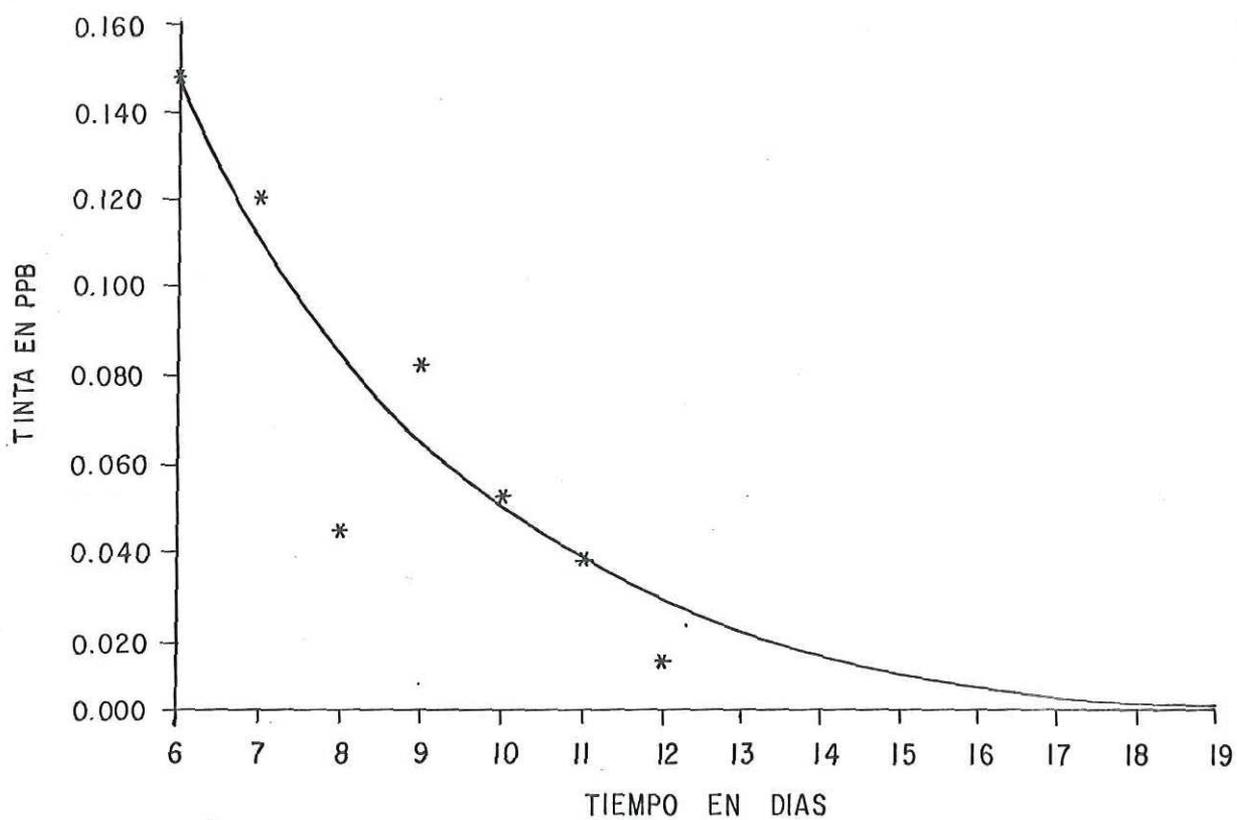


Figura 23. Concentración de rodamina wt en el segmento 7 de Bahía Falsa.

Donde los valores k_1 y k_2 cambian para cada segmento.

En Bahía San Quintín sólo se tienen dos datos experimentales y por lo tanto no fue posible ajustar la función exponencial para describir el decaimiento de la tinta con el tiempo.

Aplicando el modelo descrito anteriormente para Bahía Falsa, se computó el número inicial de larvas en cada segmento en función de las tasas de mortalidad como se muestra en la tabla V. Hablando de ostras ovígeras, el número necesario de larvas y el volumen requerido en cada segmento de Bahía Falsa se muestra en la tabla VI. Estas cantidades se obtienen en cada uno de los segmentos, con el fin de elegir un segmento adecuado donde deban colocarse las ostras. La zona se elige de acuerdo a las corrientes y una vez calculados los volúmenes de ostras en cada segmento, se introducen de acuerdo a esta tabla para segmento o segmentos elegidos. Además, dependiendo de la magnitud y dirección de las corrientes hacia donde se desplaza la mayor concentración de larvas, se elige un lugar de implantación de colectores.

D. Velocidad de las corrientes

Las velocidades debidas a alturas de mara total obtenidas por medio del modelo de descargas son muy similares a las registradas por los correntímetros (menos 10% de diferencia en los máximos). La figura 24, muestra estos resultados para el

| SEGMEN TO | Cd (p.p.b.) | Cd.Dd/Md M ⁻² | C ₁ . D ₁ <i>ostrea</i> larvas-jovenes/M ² | RAZONES DE MORTALIDAD | | | |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|---|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | 0.01 | 0.001 | 0.0001 | 0.00001 |
| 2 | 0.56×10^{-3} | 0.188×10^{-8} | 1225 | 6.5×10^{13} | 6.5×10^{14} | 6.5×10^{15} | 6.5×10^{16} |
| 3 | 0.60×10^{-3} | 0.875×10^{-9} | 1225 | 1.4×10^{14} | 1.4×10^{15} | 1.4×10^{16} | 1.4×10^{17} |
| 4 | 0.15×10^{-2} | 0.263×10^{-8} | 1225 | 4.7×10^{13} | 4.7×10^{14} | 4.7×10^{15} | 4.7×10^{16} |
| 5 | 0.16×10^{-2} | 0.236×10^{-8} | 1225 | 5.2×10^{13} | 5.2×10^{14} | 5.2×10^{15} | 5.2×10^{16} |
| 6 | 0.60×10^{-2} | 0.784×10^{-8} | 1225 | 1.5×10^{13} | 1.5×10^{14} | 1.5×10^{15} | 1.5×10^{16} |
| 7 | 0.48×10^{-2} | 0.137×10^{-8} | 1225 | 9.0×10^{13} | 9.0×10^{14} | 9.0×10^{15} | 9.0×10^{16} |

Tabla V. Número inicial de larvas a colocar en Bahía Falsa.

| SEGMENTO | RAZONES DE MORTALIDAD | | | |
|----------|-----------------------|---------|---------|----------|
| | 0.01 | 0.001 | 0.0001 | 0.00001 |
| 2 | 119.7 | 1197 | 11970 | 119700 |
| 3 | 257.832 | 2578.32 | 25783.2 | 257832.0 |
| 4 | 85.536 | 855.36 | 8553.6 | 85536.0 |
| 5 | 95.580 | 955.80 | 9558.0 | 95580.0 |
| 6 | 28.764 | 287.64 | 2876.4 | 28764.0 |
| 7 | 164.304 | 1643.04 | 16430.4 | 164304.0 |

Tabla VI. Volumen (m^3) de ostras ovígeras en diferentes segmentos en Bahía Falsa.

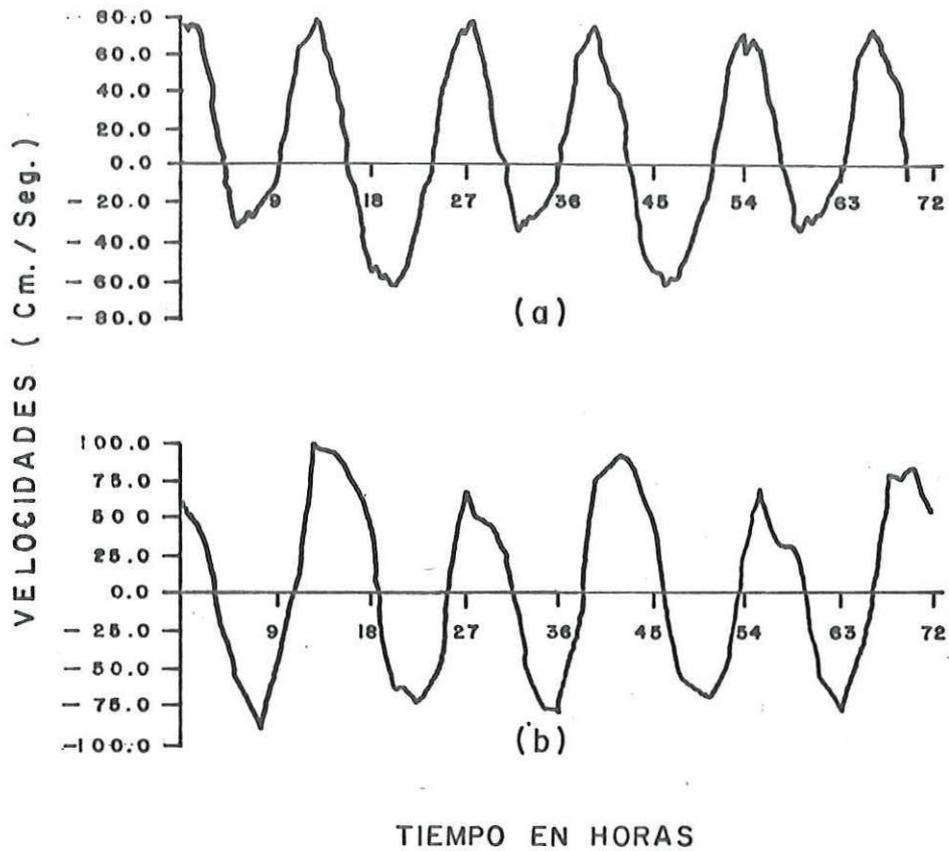


Figura 24. Velocidades de la corriente del 17 al 20 de julio de 1977. a) registradas en el correntímetro en la boca. b) obtenidas por el modelo de descargas, en la boca.

segmento cercano a la boca de la Bahía. Las magnitudes de las velocidades tanto debido a la altura de marea astronómica como a la no-astronómica disminuyen de la boca hacia la cabeza de ambas bahías (Figs. 25 a 27), el máximo de las corrientes astronómicas en la boca es de 1.17 ms^{-1} hacia el interior (flujo) y de 0.90 ms^{-1} hacia el exterior (reflujo). Respecto a las corrientes no-astronómicas, estos máximos en la boca son de 0.25 ms^{-1} en flujo y de 0.26 ms^{-1} en el reflujo. Puede verse además, que aunque ambos tipos de corrientes disminuyen de la boca a la cabeza, la importancia relativa de la corriente no-astronómica con respecto a la corriente astronómica, es mayor en la cabeza que en la boca. Las velocidades debidas a gradientes de densidad muestran una periodicidad de 12 horas. Dichas velocidades son más importantes en los segmentos 6 y 7 de la Bahía Falsa y en 8, 9 y 11 de Bahía San Quintín (Figs. 28 y 29).

La laguna queda dividida en zonas según importancia relativa de estos tres tipos de corrientes. En aquellas zonas donde la velocidad no-astronómica es importante pero las velocidades por gradiente de densidad no lo son, es importante la corriente inducida por el viento. La clasificación por sectores es la siguiente (Fig. 30).

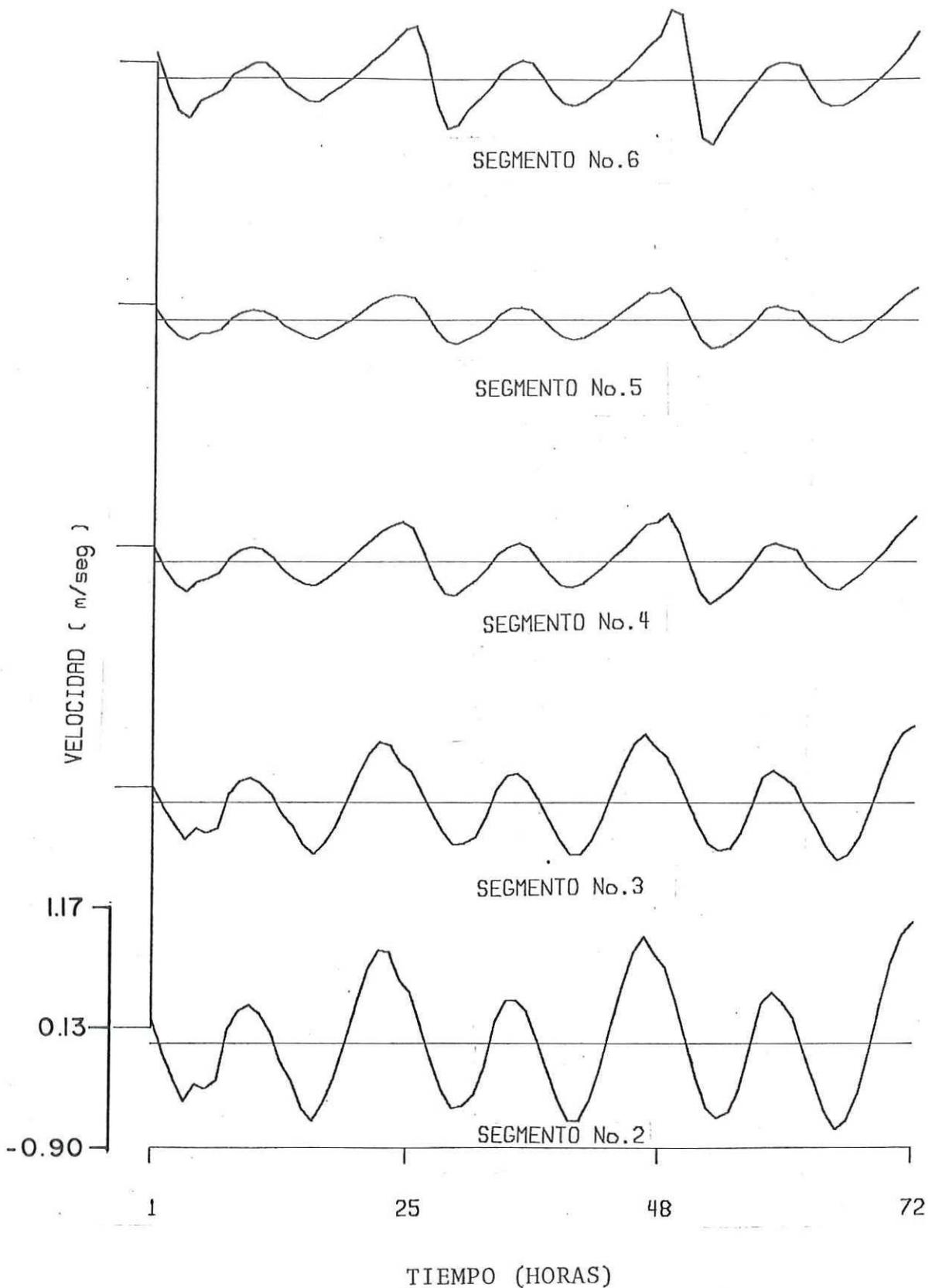


Figura 25. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía Falsa.

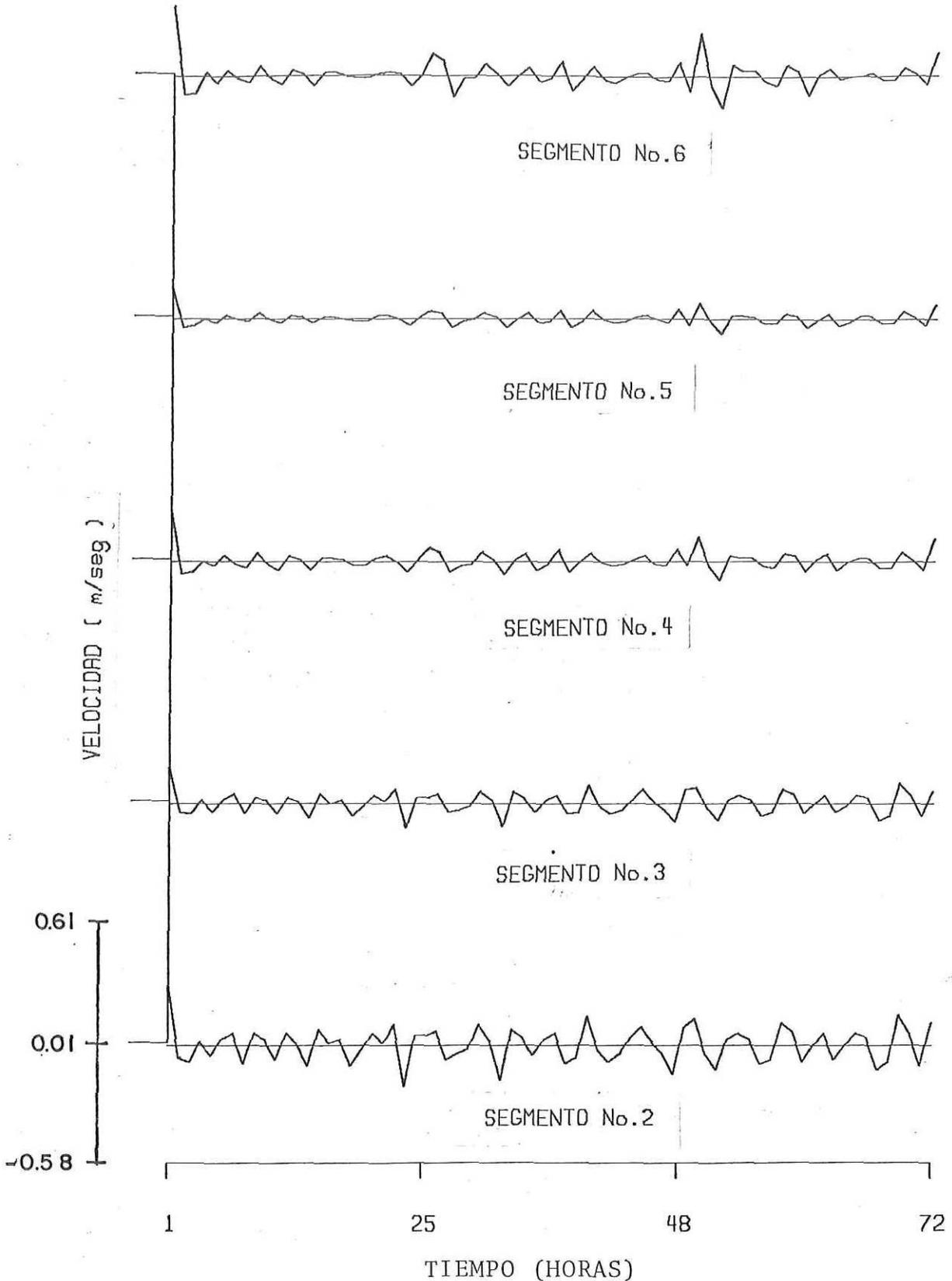


Figura 26. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea no-astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía Falsa.

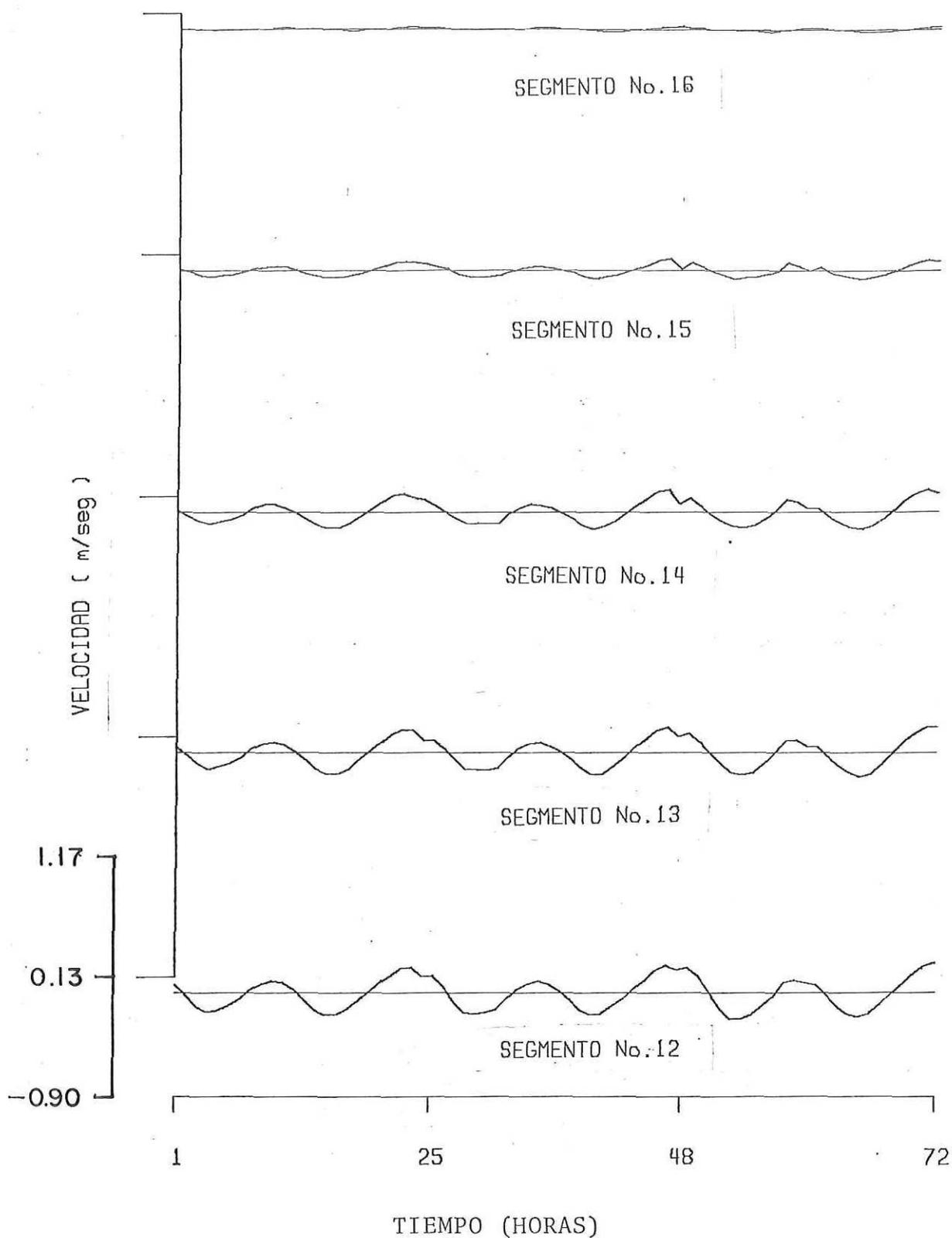


Figura 27. Velocidades de la corriente debidas a efectos de marea astronómica del 11 al 13 de julio de 1977, en Bahía San Quintín.

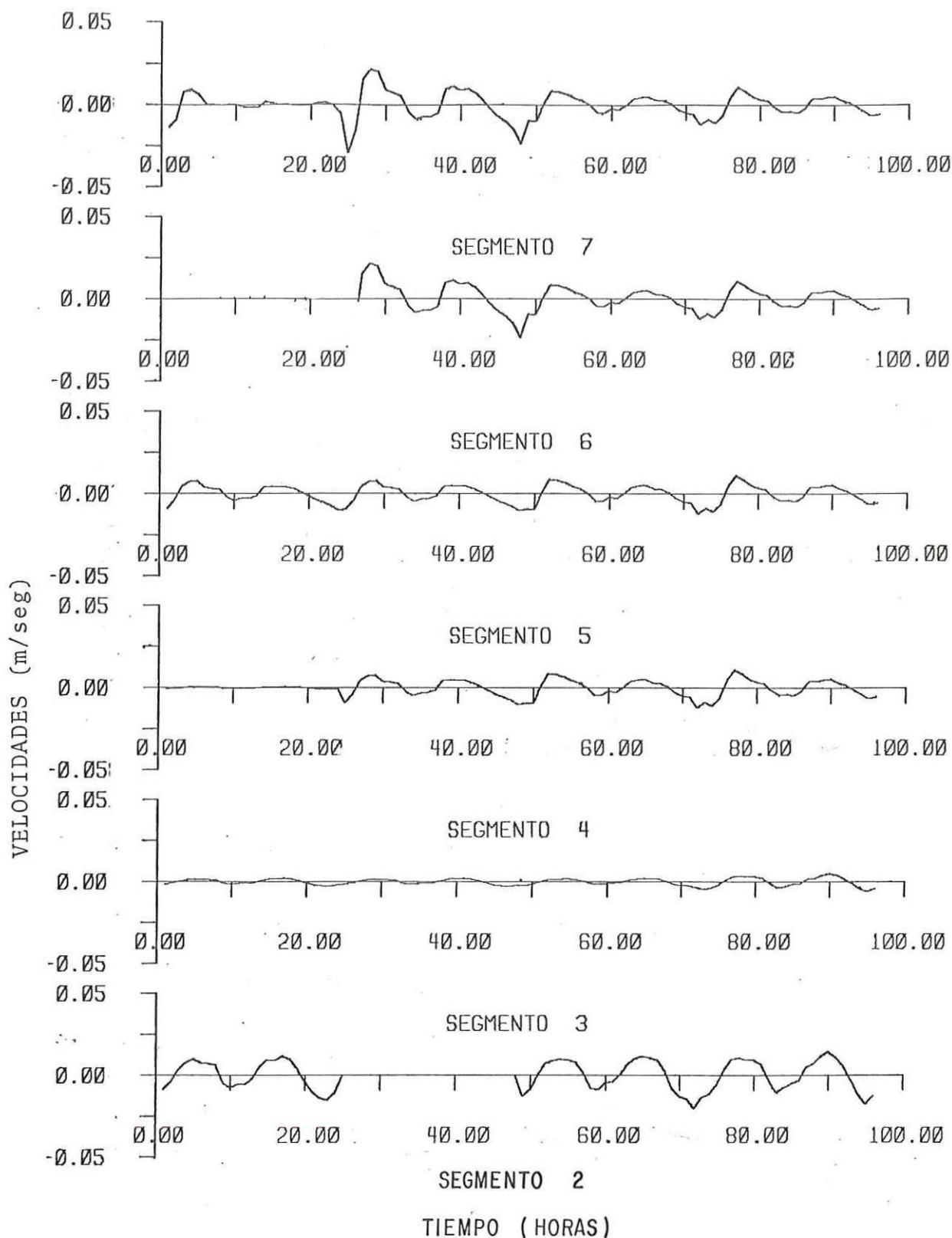


Figura 28. Velocidades de corrientes por gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía Falsa.

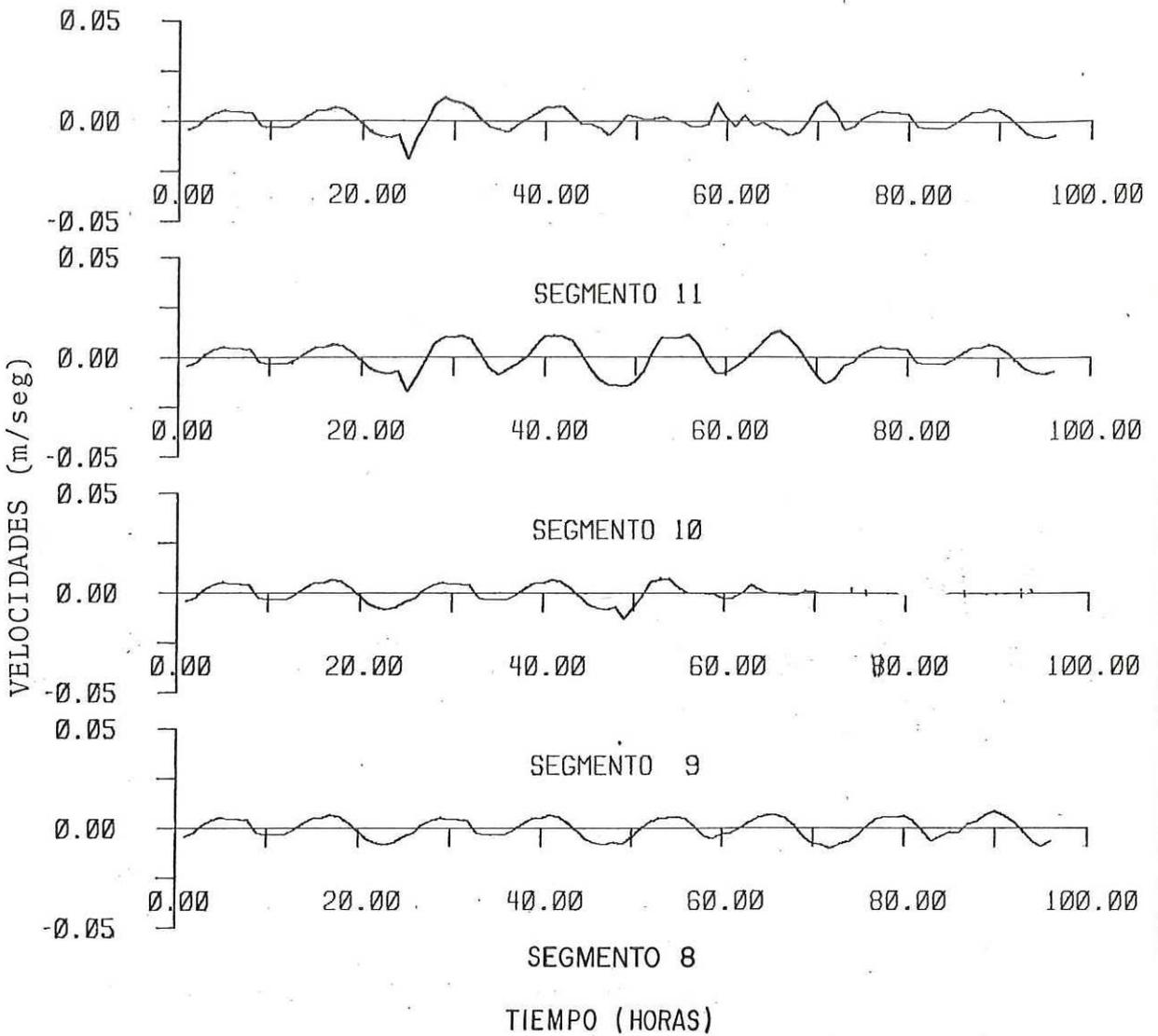


Figura 29a. Velocidades de corrientes por gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía San Quintín.

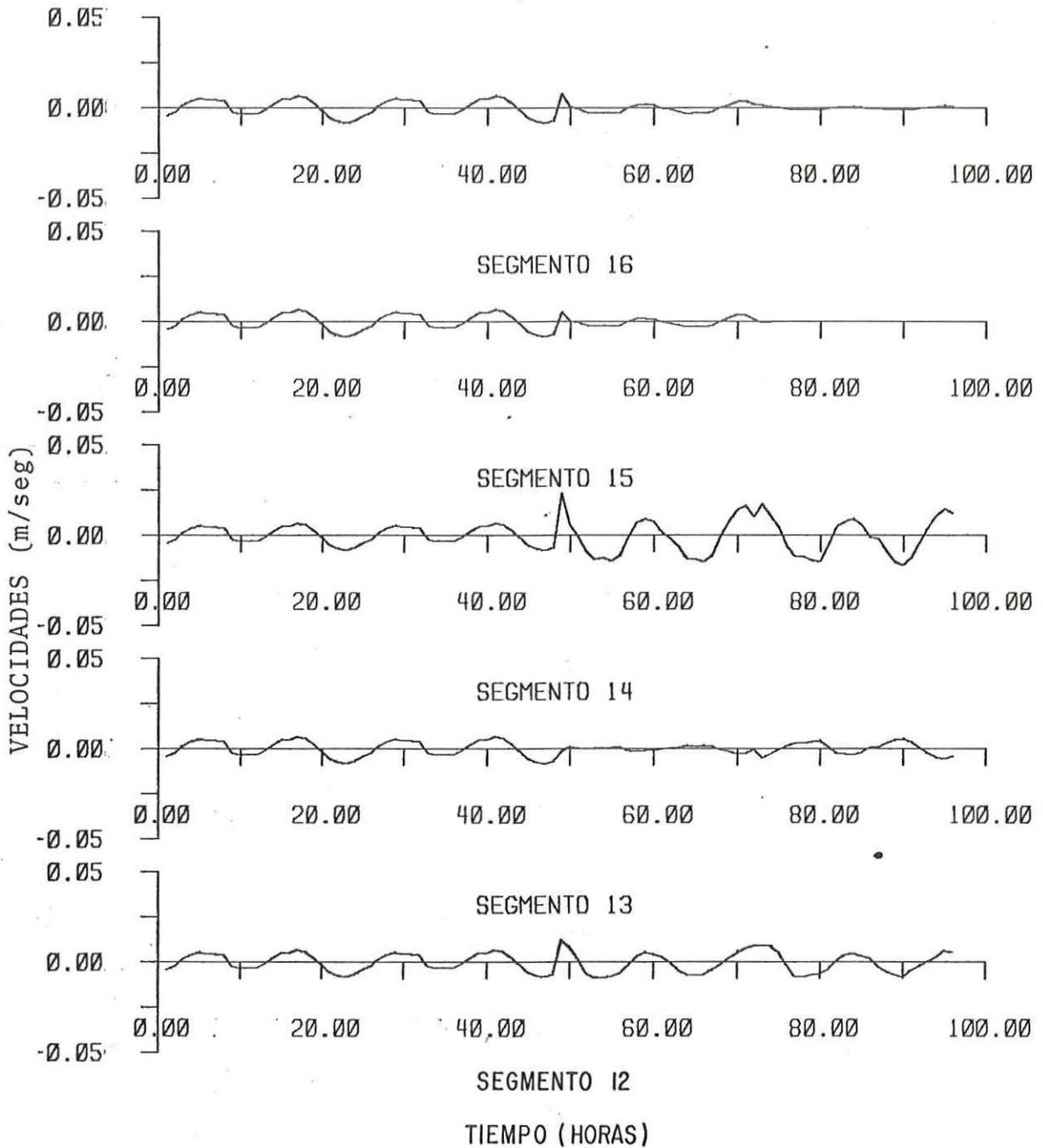


Figura 29b. Velocidades de corrientes con gradientes de densidad del 11 al 14 de julio de 1977, en Bahía San Quintín.

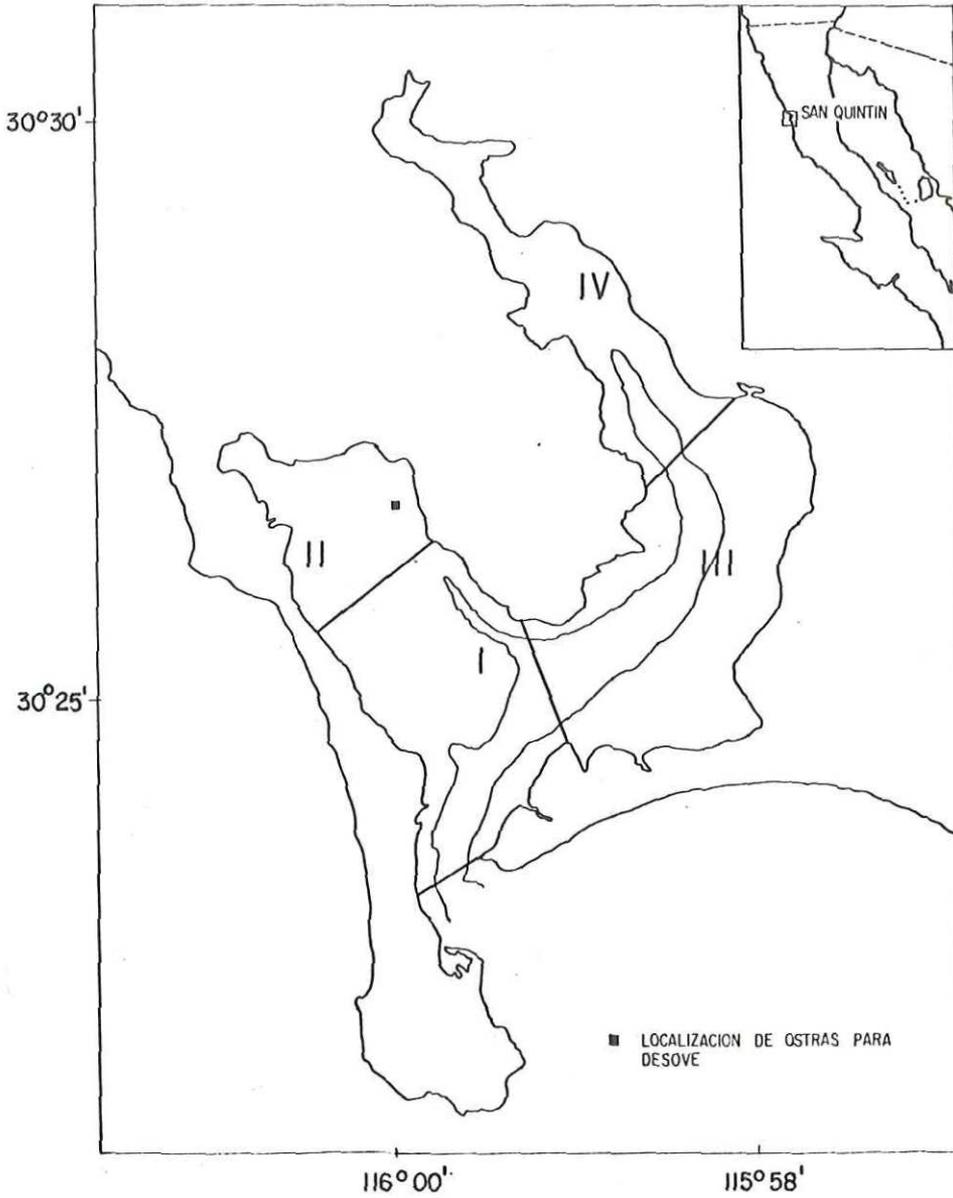


Figura 30. Sectores de la Bahía según importancia relativa de las velocidades de las corrientes.

EN BAHIA FALSA

Sector I (de la boca al final del 5o. segmento)

- a) velocidad por marea astronómica
- b) corrientes inducidas por el viento
- c) velocidades por gradiente de densidad (despreciable)

Sector II (del 6o. segmento hasta la cabeza)

- a) corrientes por gradientes de densidad
- b) velocidades por marea astronómica
- c) corriente inducida por el viento (despreciable)

EN BAHIA SAN QUINTIN

Sector III

- a) velocidad por marea astronómica
- b) velocidad por gradiente de densidad
- c) corriente inducida por el viento

Sector IV

- a) corrientes inducidas por el viento
- b) velocidad por marea astronómica
- c) velocidad por gradiente de densidad (despreciable)

IV. DISCUSION

A. Retardo de la marea

La onda de marea en la Bahía se comporta como una onda que se propaga en agua somera. Su velocidad está en función de la profundidad en la cual se propaga. Aún cuando las distancias entre "boca" y "mina vieja" y entre "boca" y "molino viejo" no son las mismas, el retardo de la onda es aproximadamente el mismo entre ambos pares de estaciones. Esto, debido a que la onda se propaga más lentamente en Bahía Falsa que en Bahía San Quintín por ser menor la profundidad media de la primera, respecto a la segunda. Entre las estaciones mareográficas de "boca" y "pedregal" la profundidad es mayor que en otras zonas de la laguna. Sin embargo, el retardo es considerable (36 minutos). Esto, puede deberse a efectos de fricción en el fondo, al esfuerzo del viento, al cambio de condición en el medio (espesor de la capa de agua) al dividirse el flujo en la zona de separación de ambas bahías.

B. Alturas y corrientes de marea astronómica y no-astronómica

Las alturas debidas a marea no-astronómica en la Bahía están generadas por fuerzas superficiales, como son esfuerzos del viento y variaciones de presión atmosférica y además por gradientes de densidad verticales u horizontales en el agua.

Las alturas de marea astronómica son producidas por fuerzas corporales de tipo gravitacional debidas a la interacción entre tierra-luna y tierra-sol principalmente. La magnitud de éstas depende de la posición relativa de estos tres cuerpos, mostrando la periodicidad diurna y semidiurna característica del movimiento relativo de dichos cuerpos. La marea astronómica es el factor de mayor importancia en la hidrodinámica de esta laguna.

Las alturas de marea no-astronómica son relativamente mayores en regiones cerca de la cabeza de Bahía San Quintín que cerca de la boca, aunque las velocidades de estos efectos no varían de la misma manera. Esto se debe a que la velocidad de la corriente depende además del volumen transportado, de la topografía (área de la sección transversal) y de los tiempos de residencia. Esto es, de la velocidad del cambio de volumen respecto al tiempo.

C. Salinidad, temperatura y corrientes por gradientes de densidad

La variación promedio diaria de salinidad en la cabeza de ambas bahías fue más grande que la correspondiente en la boca, evidenciando una importancia relativa igual de la evaporación (vientos) en ambas cabezas, respecto de la boca.

Suponiendo una cantidad igual de radiación recibida en toda la Laguna; la acción de la marea en la boca, los tiempos de residencia en las zonas internas y las extensas capas someras de agua en dichas zonas, producirán mayor variación diaria en los promedios ponderados de temperatura en la boca que en la cabeza, como se observó experimentalmente (tabla IV).

Es de notar sin embargo que las variaciones de temperatura cabeza-boca son de mayor importancia que las variaciones de salinidad, evidenciando que el calentamiento por radiación solar es de mayor importancia que la evaporación por vientos en la circulación por densidad en esta Laguna.

Esta distribución de variaciones en el cuerpo de agua sugiere que la parte más cercana a la boca de la bahía está bajo la influencia directa de la marea y de las aguas externas. Las zonas más internas en ambas bahías en cambio están más influenciadas por la radiación solar y la evaporación respecto a sus variaciones de la temperatura y salinidad.

Los resultados de velocidad por gradientes de densidad muestran valores mayores en los segmentos 8, 9, 10 y 11 de Bahía San Quintín, como era de esperarse del análisis anterior (Fig. 29a).

El gradiente horizontal de salinidad entre estos segmentos es pronunciado, aunque no tanto como se observa en las zonas cercanas a la cabeza en cada bahía. Sin embargo, los tér

minos de profundidad y velocidad producida por marea son mayores en estos segmentos, originando un elevado ^{de} coeficiente de difusión, que explica la importancia de las velocidades producidas por densidad en estos segmentos respecto de la cabeza.

En Bahía Falsa es importante la velocidad por gradiente de densidad en los segmentos 6 y 7 debido al pronunciado gradiente horizontal de salinidad (Fig. 28). Las velocidades por marea astronómica y no-astronómica disminuyen de la boca hacia la cabeza debido a la disminución del volumen transportado relativamente mayor que la disminución del área transversal.

Además, debido a que las velocidades por marea no-astronómica incluyen velocidades por gradiente de densidad y corrientes inducidas por el viento, en lugares donde las velocidades por marea no-astronómica son importantes, pero la velocidad por gradiente de densidad no lo es, las corrientes inducidas por el viento pueden serlo y viceversa.

La periodicidad de las velocidades por gradiente de densidad se debe a que los procesos que las producen, tales como la posición del sol, la intensidad y dirección de los vientos, tienen esa periodicidad.

Los datos de variación de temperatura observados en la tabla IV indican temperaturas mayores de 19°C en áreas cercanas a la cabeza de ambas Bahías, a partir del 16 de julio.

Desde un punto de vista biológico, esta información es significativa por su relación con la temperatura mínima requerida por C. gigas para iniciar el desove.

De acuerdo con Korringa (1976), la temperatura mínima requerida por esta especie para su desove, es de 19.5°C. El desarrollo gonadal puede llevarse a cabo adecuadamente a temperaturas menores, pero el desove no se llevará a cabo, dando lugar a la reabsorción de las gónadas.

Aparentemente, el ciclo de vida de C. gigas en Bahía San Quintín no ha sido completado satisfactoriamente. Es posible que los rangos de temperatura observados, o el corto período en que la temperatura mínima para el desove es alcanzada, no sea suficiente para asegurar un ciclo completo de desarrollo ontogenético en esta especie.

Las temperaturas observadas en la tabla IV necesarias para el desove de C. gigas se encuentran sólo en áreas cercanas a la cabeza en ambas Bahías y únicamente a mediados del mes de julio. Este dato es de importancia en la elección del área potencial de cultivo de C. gigas y en el período posible en que podría llevarse a cabo el desove.

D. Concentración de rodamina wt

La concentración de tinta fluorescente decae exponencial

mente en el tiempo en cada uno de los segmentos, observándose diferentes concentraciones máximas en ellos. Se encuentra mayor concentración en la zona cercana a la cabeza de Bahía Falsa (segmentos 6 y 7) al final de los "t" días en que se deben fijar las larvas, sugiriendo que el lugar donde se deben colocar las ostras ovígeras coincida con el lugar donde se inyectó la tinta (Fig. 1). Si se colocan estas ostras ovígeras en áreas cercanas a la boca, las larvas serán transportadas hacia el exterior de la laguna (mar abierto) por medio de las corrientes de marea.

En Bahía San Quintín no se recomienda colocar ostras para desove ya que en dos o tres días, las larvas desovadas estarían fuera de la laguna debido al rápido transporte en este brazo.

Se sugiere que los colectores se coloquen en los alrededores de la estación usada en la inyección de tinta, cercanos al canal principal. No podemos aconsejar con certeza en este trabajo la colocación de colectores en otros lugares, puesto que el estudio (mediciones de rodamina), fue hecho básicamente en el canal principal. La distribución de los colectores debe ser de tal manera que abarquen mayormente la zona de dispersión de la mancha de tinta, para la existencia de mayores fijaciones. Se sugiere que se continúe con un trabajo más fino de la dispersión de tinta en los segmentos 5, 6 y 7 en Bahía Falsa, para determinar exactamente la zona donde se deben colocar los colectores.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de la transformada Z permite obtener una predicción aceptable de la altura de marea para cualquier segmento en Bahía San Quintín. La utilidad de este método es evidente para muchos otros parámetros.

La hidrodinámica de la Bahía es el resultado principalmente de dos factores: el efecto de marea astronómica y el efecto del viento. Definitivamente la marea astronómica es el factor de mayor importancia en la circulación en ambos brazos de la Laguna. Sin embargo, la respuesta de la circulación del agua al efecto del viento es notoria en regiones cercanas a la boca en Bahía Falsa y a las zonas próximas a la cabeza en Bahía San Quintín durante el período de muestreo. Los tiempos de residencia fueron mayores en las zonas más internas de ambos brazos.

Durante el período de muestreo es notorio el incremento de temperatura hacia las cabezas, debido a que el agua próxima a estas regiones, es más influenciada por la radiación solar. De la misma manera, la salinidad se incrementa hacia estas regiones porque dichas zonas son muy afectadas por la evaporación. Las diferencias de salinidad y temperatura en Bahía San Quintín, desde la boca hacia la cabeza, son mayores que en Bahía Falsa (0.97‰ ; 3.94°C). En esta última, las diferencias son (0.36‰ ; 3.10°C). Estos datos son significativos en la

elección de la especie más adecuada para cultivarse.

Bahía San Quintín tiene una capacidad de dispersión elevada. Bajo estas condiciones, es posible que cualquier partícula en suspensión en esta región sea llevada a zonas cercanas a la boca en períodos de 48 horas. Tomando en cuenta que en la boca los tiempos de residencia son cortos, es probable que estas partículas sean evacuadas hacia mar abierto. Bajo las condiciones existentes en el período de muestreo, no es recomendable colocar ostras ovígeras en esta región; las larvas desovadas serán arrastradas hacia mar abierto sin tener oportunidad de fijarse permanentemente.

En Bahía Falsa, la capacidad de dispersión es menor, por ende, el tiempo de residencia es mayor, del orden de semanas. Por ejemplo, después de 14 días, el centro de masa de tinta fluorescente se encontró en los segmentos 5, 6 y 7, localizados cercanos a la cabeza de este brazo. Evidentemente, Bahía Falsa sería el lugar adecuado para el cultivo de bivalvos.

Los valores medidos de concentración de tinta fluorescente, se ajustan a una curva de decaimiento exponencial con el tiempo. Esta característica permite la aplicación de este modelo a cualquier especie de ostión u organismo planctónico adaptado a las condiciones de salinidad y temperatura existentes.

Si el tiempo que tardan las larvas de ostión en fijarse es diferente al utilizado en el ejemplo discutido (14 días), es po

sible obtener la concentración de tinta fluorescente al final del tiempo de fijación por medio de la función que gobierna el decaimiento de la concentración de tinta en el segmento 6 (localización de ostras ovíferas) y aplicar el modelo para obtener el número inicial de larvas de la especie cultivada y con ello el número necesario de ostras ovíferas que se deben colocar en la posición establecida. En la misma manera el modelo permite evaluar estas cantidades para valores diferentes de números de ostras por metros cuadrados y cúbicos de concha por metro cuadrado de fondo. Es posible hacer también los ajustes necesarios para diferentes métodos de cultivo (en balsas, canastas, sartas, etc.).

LITERATURA CITADA

- Alvarez Borrego, S., G. Ballesteros Grijalva y A. Chee Barragán. 1975. Estudio de algunas variables fisico-químicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*. 2(2): 1-9.
- Alvarez Borrego, S. y A. Chee Barragán. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín, B. C. *Ciencias Marinas*. 3(1): 51-61.
- Alvarez Borrego, S., M. de J. Acosta Ruiz y J. R. Lara Lara. 1977. Hidrología comparativa de las dos bocas de dos anti estuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*. 4(1): 12-22.
- Anon. 1968. Notes and tables for the computation of chlorinity from measurement of specific conductivity and temperature. Chesapeake Bay Institute., Baltimore, Md. 120 pp.
- Bendat, J. S. y A. F. Piersol. 1971. Random data: Analysis and measurement procedures. Wiley-Interscience., New York. 407 pp.
- Carter, H. H. 1967. A method for predicting brood stock requirements for oyster (*C. virginica*) producing areas with application to the Manokin River. Chesapeake Bay Institu-

te. The Johns Hopkins University. 31 pp.

Carrillo Barrios-Gómez, E. 1980. Planeta Océano Siglo XXI. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. En prensa.

Chávez de Nishikawa, A. G. y S. Alvarez Borrego. 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, B. C., en invierno y primavera. Ciencias Marinas. 1(2): 31-61.

De La Paz Vela, R. 1978. Hidrodinámica y dispersión de contaminantes en El Estero de Punta Banda, B. C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California., Ensenada, Baja California, México. 49 p.

Del Valle Lucero, I. 1979. Aplicación de un modelo numérico y análisis de condiciones hidrodinámicas en Bahía de San Quintín, B. C. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada., Ensenada, Baja California, México. 36 p.

Doodson, A. T. y H. D. Warburg. 1941. Admiralty manual of tides. Her Magesty's Stationery Office., London. 270 pp.

Gabel, R. A. y R. A. Roberts, eds. 1973. Signals and linear systems. John Wiley and Sons., New York. 415 pp.

- Galtsoff, P. S. 1964. The american oyster. Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service, vol. 64., Washington, D. C.
- Hedgpeth, J. W. 1957. Classification of marine environments, p. 17-27. En: Treatise on marine ecology and paleoecology, vol. 1 (J. W. Hedgpeth, ed.) Geological Society of America. Mem. 67., Washington. 1296 pp.
- Henderson, F. M. ed. 1966. Open channel flow. McMillan Co., New York. 522 pp.
- Ippen, A. T. ed. 1966. Estuary and coastline hydrodynamics. McGraw-Hills Book Company, Inc., New York. 737 pp.
- Islas Olivares, R. 1975 Establecimiento de un laboratorio para obtención de larvas de moluscos en Ensenada, Baja California. Ciencias Marinas. 2(1): 43-46.
- Islas Olivares, R., M. Miranda Aguilar y V. Gendrop Funes. 1978. Crecimiento y sobrevivencia del ostión europeo (Ostrea edulis) en aguas de Baja California. Ciencias Marinas 5(1): 137-148.
- Kinsman, B. 1965. Wind waves. Prentice-Hall, Inc., New Jersey. 676 pp.

- Korringa, P. 1976. Farming the cupped oysters of the genus Crassostrea, c. 7. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam. 224 p.
- Lankford, R. R. 1976. Coastal Lagoons of Mexico-their origin and classification, p. 182-215. En: Estuarine Processes, vol. II. (M. Wiley, ed.). Academic Press., New York. 428 pp.
- Lara-Lara, J. R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. Ciencias Marinas. 2(1): 77-97.
- Lara-Lara, J. R. 1979. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. Tesis de Maestría en Ciencias. Oregon State University., Corvallis, Oregon. 59 pp.
- McNeil, D. R. 1977. Interactive data analysis. John Wiley and Sons, Inc., New York. 186 pp.
- Mofjeld, H. O. 1976. Tidal currents, p. 53-59. En: Marine sediment transport and environmental management (D. J. Stanley y D. J. P. Swift, eds.) John Wiley and Sons., New York. 602 pp.

Odum, E. P. 1971. Fundamentals of ecology. N. B. Saunders Co.,
London. 574 pp.

Ryther, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the
sea. Science. 166: 72-76.

Zertuche González, J. A. Y S. Alvarez Borrego. 1978. Series de
tiempo de variables fisico-químicas en las bocas de dos
antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas. 5(1):
91-103.