

# HIDROGRAFIA FISICA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA

## PARTE I : ANALISIS DE DATOS

por:

DONALD W. PRITCHARD

RENE DE LA PAZ VELA

HOMERO CABRERA MURO

SALVADOR FARRERAS SANZ

EDUARDO MORALES

Centro de Investigación Científica y de  
Educación Superior de Ensenada, B. Cfa.  
Espinoza #843 Ensenada, B.C.  
México

### RESUMEN.

Se presenta un análisis de las observaciones de mareas, corrientes, temperaturas y salinidades, obtenidas en el Estero de Punta Banda. Se describe un método para separar las series de tiempo de alturas de mareas y corrientes en componentes astronómica y no astronómica; y se presentan los resultados de su aplicación.

Se muestra que las alturas de marea astronómica y no astronómica para el Estero de Punta Banda pueden ser calculadas a partir de las observaciones en el Puerto de Ensenada.

Se relacionan además las variaciones temporales de las alturas de mareas no astronómicas y las velocidades de las corrientes con las variaciones temporales de los parámetros meteorológicos.

Se describe la configuración de la circulación que resulta de la distribución de salinidad y temperatura, y del balance entre evaporación y precipitación.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

### ABSTRACT.

An analysis of observations of tides, currents, temperature and salinities in Estero Punta Banda is presented. A method for separating the time series of observations of water level and currents into astronomical and non-astronomical components is described and results of application of the procedure presented. It is shown that the astronomical and non-astronomical tidal elevations for Estero Punta Banda can be calculated using observations from the Puerto de Ensenada. Time variations in the non-astronomical tidal elevations and current velocities are compared with time variations in meteorological parameters. The circulation pattern as implied by the distribution of salinity, temperature and evaporation minus precipitation is described.

### INTRODUCCION.

El Estero de Punta Banda es una laguna costera situada a  $31^{\circ} 51'$  de latitud Norte, y  $116^{\circ} 38'$  de longitud Oeste en la costa del Océano Pacífico, en el extremo sur de la Bahía de Todos Santos, y a 13 km del puerto de Ensenada.

La cuenca superficial del Estero de Punta Banda está separada de las aguas de la Bahía de Todos Santos por una barra de arena de 7.5 km de longitud que se extiende en dirección NNE desde la base de una cadena de cerros que conforma la Punta Banda; y tiene una abertura angosta en su extremo norte, que constituye la boca del estero.

El estero tiene forma de "L" (ele), con un extremo corto, de aproximadamente 3 km, orientado en dirección SE, y un extremo largo de 7.5 km orientado en dirección NNE. A lo largo del extremo principal se extiende un solo canal, que se torna abruptamente en dirección NW cerca de la boca, para comunicar con las aguas de la bahía (ver Figura 1).

Las profundidades más grandes detectadas en este estudio fueron del orden de 7.5 metros, con respecto a bajamar media inferior y se encontraron cerca de la boca del estero. Sin embargo, un período prolongado y poco usual de tormentas recientes han producido un estrechamiento del canal en la boca, y un crecimiento de las profundidades máximas hasta aproximadamente 12.5 metros con respecto a bajamar media inferior.

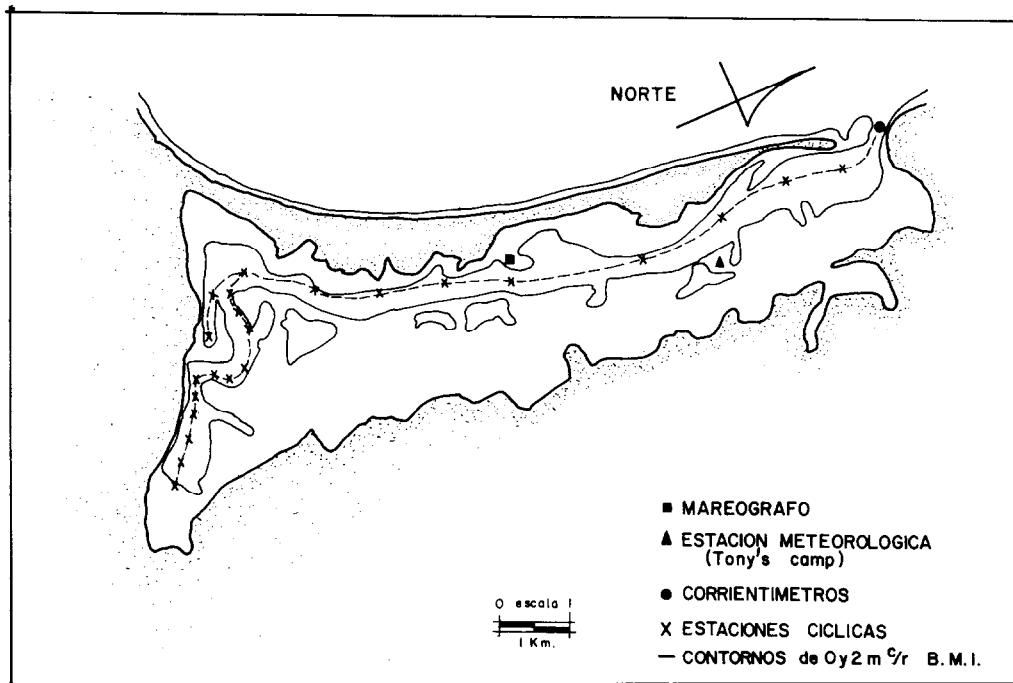


Figura 1. Estero de Punta Banda; ubicación de instrumentos y estaciones.

Una barra exterior se extiende paralelamente a la línea de costa, y por ende perpendicularmente al canal de salida en la boca, a unos 200 metros de dicha línea, originando una zona superficial de rompimiento de las olas entrantes.

A lo largo del canal del extremo principal, las profundidades van decreciendo hacia el "codo" de la "L", desde 6 metros hasta 1 metro, pero en forma no-uniforme, de manera que se encuentra por ejemplo, un pozo profundo de aproximadamente 5 metros cerca del codo de la "L".

En el extremo corto del estero el canal se divide en varios brazos de dirección SE, con profundidades no mayores de 1 metro con respecto a bajamar media inferior.

El ancho promedio del estero es del orden de 345 metros en bajamar media inferior, aumentando hacia unos 1100 en pleamar media superior; evidenciando la existencia de extensas zonas de bajos que se cubren y se descubren cíclicamente con la subida y bajada de las aguas de la marea.

El área superficial total del estero es  $3.61 \times 10^6 \text{ m}^2$  en bajamar media inferior, y  $11.63 \times 10^6 \text{ m}^2$  en pleamar media superior. El volumen total del estero es de  $5.28 \times 10^6 \text{ m}^3$  en bajamar media inferior y  $17.18 \times 10^6 \text{ m}^3$  en pleamar media superior.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

Estudios anteriores de la hidrografía del Estero de Punta Banda, en particular los de Acosta Ruíz y Alvarez Borrego (1974), y Celis Ceseña y Alvarez Borrego (1975), muestran que en condiciones normales, la evaporación desde la superficie del estero excede a la precipitación y las descargas de agua dulce en conjunto. En consecuencia, la salinidad del estero aumenta desde la boca hacia la cabeza. Solo durante períodos poco usuales de tormentas, que ocurren durante el invierno, es posible que el ingreso de agua dulce al estero exceda sus pérdidas por evaporación.

Este estudio se inició en noviembre de 1976, fecha en que se instaló un anemómetro de registro continuo en la costa Este del estero a aproximadamente 2 1/2 kilómetros de la boca; y aún cuando se ha continuado recogiendo datos hasta hoy en día, este reporte se refiere solamente a las mediciones efectuadas hasta septiembre de 1977.

La Tabla # 1 contiene los distintos tipos de datos recolectados, los instrumentos que se usaron, y los lugares y las fechas en que se efectuaron las mediciones.

La figura No. 1 muestra una carta del estero con la ubicación de la estación meteorológica, los mareógrafos, y los correntímetros que se instalaron. Además se indican las estaciones en que se midió la temperatura, salinidad y concentración del trazador fluorescente utilizado. Esta carta contiene los contornos 0.0 y 2.0 metros de profundidad con respecto a bajamar media inferior, que encierran aproximadamente los límites inferior y superior del área superficial del estero al bajar y subir la marea.

### MEDICIONES METEOROLOGICAS:

Se instaló una estación meteorológica compuesta de un anemómetro y un higrómetro, ambos de registro continuo, situados en una torre de 10 metros de altura. La instalación se efectuó en un lugar llamado "Tony's Camp" ubicado a aproximadamente 2 1/2 kilómetros de la boca, sobre la costa Este del estero (ver figura 1); y se mantuvo funcionando desde el 24 de noviembre de 1976, hasta el 28 de abril de 1977. Sin embargo, y tal como se indica en la Tabla # 1, no fue posible obtener mediciones continuas de velocidad y dirección del viento, temperatura del aire, y humedad relativa, para todo el período indicado anteriormente, salvo para el mes de abril de 1977. Los parámetros meteorológicos medidos en dicho mes, se utilizaron para calcular la evaporación e introducirla en un modelo numérico de descargas de intercambio del estero.

La obtención de mediciones de los parámetros meteorológicos tiene los siguientes propósitos:

PRITCHARD - DE LA PAZ - CABRERA - FARRERAS - MORALES

Parámetros	Instrumento	Ubicación	Período de Medición
<b>A. DATOS METEOROLOGICOS</b>			
rapidez y dirección del viento en función del tiempo.	anemómetro de registro continuo Kahlsico 02AM300	Tony's Camp	24-30 Nov 76; 1-6, 12-19 22-31 Dic 76; 7-10, 12-22 26-31 Ene 77; 1-19, 23-25 Feb 77; 1-28, Abril 77.
Temperatura y humedad relativa del aire.	higrotermógrafo de registro continuo Weather Measurements	Tony's Camp	19-27 Ene 77; 1-11, 14-17 18-28, Feb 77; 1-17, 19-26, 31, Mar 77; 1-22, 23-28, Abril 77.
<b>B. DATOS DE MAREA</b>			
Altura del nivel del agua en función del tiempo	mareógrafo Kahlsico 31OWA440	Centro del Estero (Sección 11-12).	2-19, Sept 1977.
<b>C. DATOS DE CORRIENTE</b>			
Rapidez y dirección de las corrientes en función del tiempo.	Correntímetro de registro continuo Braincon HCM-1381	Boca (superficie) Boca (fondo)	14-23 Dic 76; 28-31 Ene 77.  14 Dic 76 al 18 Ene 77; 28-31 Ene 77; 4 Feb al 3 Mar 77.
Rapidez y dirección de las corrientes cada hora.	Correntímetro remoto Kahlsico Sa. 231WA570	Centro del Estero (sección 11-12).	9-20, 22-24 Feb 1977.
<b>D. DATOS DE SALINIDAD Y TEMPERATURA</b>			
Temperatura y salinidad cada 2 metros de profundidad, a intervalos variables de tiempo.	Conductímetro-Termómetro de inducción CBI-ICTI.	18 estaciones de la cabeza a la boca.	16 Dic 76; 31 Ene 77; 4, 5, 6, 9, 13, 15, 21, 23, Feb 77; 2, 3, Mar 77; 1 al 7, 9, 11, 13, 15, 18, 20 abril 1977.
Temperatura y salinidad cada 2 metros de profundidad, cada hora.	Conductímetro-Termómetro de inducción Kahlsico 118WA300	3 estaciones transversales centro del Estero (11-12).	9-13, 18-24, Feb. 1977.
<b>E. DATOS DE CONCENTRACION DE TINTA FLUORESCENTE.</b>			
Intensidad de la fluorescencia, en función de tiempo y distancia a profundidad fija.	Fluorómetro con celda flujo continuo Turner #111.	A lo largo del Estero de la cabeza a la boca.	8, 9, 21, 23, Feb 77; 2 y 3, Mar 1977; 1 al 9, 11, 13, 15, 18 y 20 Abril 1977.
Intensidad de la fluorescencia, algunos instantes de tiempo, cada 2 metros de profundidad.	El mismo instrumento anterior.	algunas estaciones a lo largo de eje del Estero.	Las mismas fechas indicadas anteriormente.
*Ubicación: Ver en la Figura 1 las posiciones en que se efectuó cada medición.			

Tabla 1. Mediciones efectuadas en el Estero de Punta Banda durante el período de estudio de noviembre de 1976 a septiembre 1977.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

- (1) disponer de información de los vientos locales en el estero para correlacionarlos con las variaciones no-astronómicas del nivel de la superficie del agua, y de las descargas en el estero.
- (2) obtener información sobre el esfuerzo del viento para usarlo en un modelo dinámico de las elevaciones del agua y la circulación en el estero; y
- (3) obtener la velocidad del viento, la temperatura del aire, y la humedad relativa para calcular la tasa de evaporación en la superficie del estero, que se utiliza posteriormente en el modelo del flujos de intercambio.

Las dos últimas aplicaciones de los datos meteorológicos se describen en estudios posteriores a éste, uno de los cuales se presenta en un trabajo complementario.

### DATOS DE MAREA;

Inicialmente se instalaron 3 limnígrafos en los siguientes lugares del estero: la boca, la sección 11-12, y el codo de la "L" (ver Fig. 1). Estos limnígrafos debían supuestamente entregar información sobre la variación de amplitud y fase de la ola de marea a lo largo del estero; pero desafortunadamente, debido a que fueron diseñados para operar en lagos y ríos, en que las variaciones del nivel del agua son muy lentas, su resolución en tiempo y elevación fueron insuficientes para obtener la información requerida.

A consecuencia de esta falla, se instaló un nuevo mareógrafo (Kahlsico #310WA440) en la sección 11-12, cerca del centro del estero, durante septiembre de 1977, y sus mediciones se compararon con los registros permanentes de marea del Puerto de Ensenada, ubicado a 13 km al Norte del estero. Como se mostrará a continuación, es posible calcular las alturas de la marea en el estero con bastante precisión si se conocen los registros de marea del Puerto de Ensenada.

Las variaciones temporales de la altura del agua en el estero son producidas por los 3 procesos siguientes:

(1) las fuerzas de la marea astronómica, que producen subidas y bajadas regulares de la superficie del agua, representables como una suma de contribuciones de componentes armónicas de la marea astronómica; (2) el esfuerzo del viento sobre la superficie del agua, tanto localmente en el estero, como ampliamente en la plataforma continental adyacente; actuando simultáneamente con

las variaciones espaciales de la presión atmosférica sobre dichas áreas; (3) las variaciones temporales en la distribución de densidad del agua a lo largo del estero.

Los dos últimos procesos mencionados, son generalmente de períodos mayores que los procesos predominantes de marea astronómica diurna y semidiurna. Por esta razón, es posible filtrar los registros de marea y obtener 2 partes: un registro que representa mayormente la marea astronómica, y otro que representa las variaciones de alturas debidas a los dos procesos de período grande. A este segundo registro se le llama "marea no-astronómica". Nótese que: el efecto debido a las variaciones diurnas del viento quedará incluido en el registro de marea astronómica, y que las mareas astronómicas de período largo, como las quincenales, quedarán incluidas en el registro de marea no-astronómica. Se cree, sin embargo, que estos constituyentes no contribuyen significativamente en ninguno de los dos registros.

La figura 2 muestra dos registros simultáneos de marea de 5 días de extensión obtenidos en septiembre de 1977: el correspondiente al mareógrafo permanente del Puerto de Ensenada, y el correspondiente al instrumento situado en el centro del estero, a 5 km de la boca. Es evidente la marcada correlación que hay entre ambos. Aún cuando parece haber una pequeña diferencia entre la elevación media de ambos registros, de aproximadamente 8 cm, esta diferencia se debe probablemente a un error en la determinación del nivel de referencia del

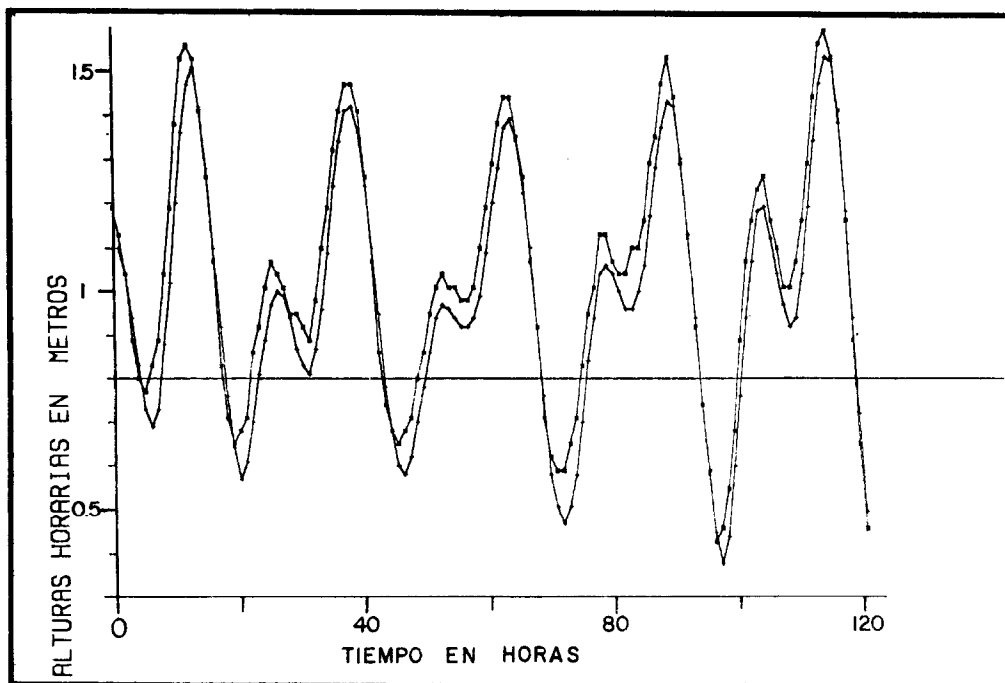


Figura 2. Registros de marea del Estero (+) y Puerto de Ensenada (=) para 5 días de septiembre de 1977.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

mareógrafo del estero. Este tipo de incertidumbre en la nivelación de mareógrafos ya ha sido evidenciado en otros estudios anteriores como el de Pollak (1957) y Sturges (1967).

Se observa también, una pequeña diferencia de fase entre ambos registros, cuya magnitud, determinada mediante análisis de correlación cruzada (Bendat y Piersol, 1971), es del orden de 18 minutos de retraso en las alturas de agua del estero con respecto al Puerto. Nótese también que el defase es más evidente en marea alta y baja, y cuando el agua está subiendo, y es prácticamente nulo cuando el agua está bajando, pudiendo deberse esto al hecho de que las componentes de marea locales generadas por efecto superficial son más importantes en el estero que en el puerto, aunque también es posible que este fenómeno esté en parte relacionado con el hecho de que ambos registros tienen distinto nivel medio de referencia.

Usando el método de convolución descrito por Claerbout (1976), se obtuvo una función de correlación con 35 coeficientes, que permitió calcular las alturas de marea en el estero para el período del 2 al 19 de septiembre, a partir del registro de mareas del Puerto de Ensenada para el mismo período, y con un elevado grado de precisión. La diferencia cuadrática media entre los valores así calculados, y los medidos, fue de  $\pm 0.035$  metros; que es una magnitud muy pequeña considerando que la amplitud de la marea media en el estero es de más de un metro, y llegando a ser hasta de 2 metros, en mareas vivas, y que la resolución de los mareógrafos usados es del orden de  $\pm 1.0$  cm.

Los registros de marea del Estero y del Puerto se separaron en componentes astronómica y no-astronómica usando el filtro de 39 horas de Doodson & Warburg (1952). Este filtro está diseñado para separar las componentes de marea astronómica principales, y generar una secuencia de valores medios diarios de la altura del agua; que al sustraerles el valor medio de la altura del agua de todo el registro, produce un nuevo registro centrado en cero que se denomina e identifica como el registro no-astronómico de marea. Las figuras 3(a) y 3(b) muestran los registros de marea no-astronómica del 2 al 19 de septiembre de 1977 para el Puerto de Ensenada y el Estero de Punta Banda respectivamente. Los picos agudos que se observan en estos registros, se deben a que el registro original de mareas tiene 1.0 cm de resolución; además, y hasta este grado de resolución, puede observarse que ambos registros de marea no-astronómica son esencialmente iguales, indicando que los fenómenos meteorológicos causantes, son de una escala espacial mayor que la distancia entre ambos mareógrafos (13 km).



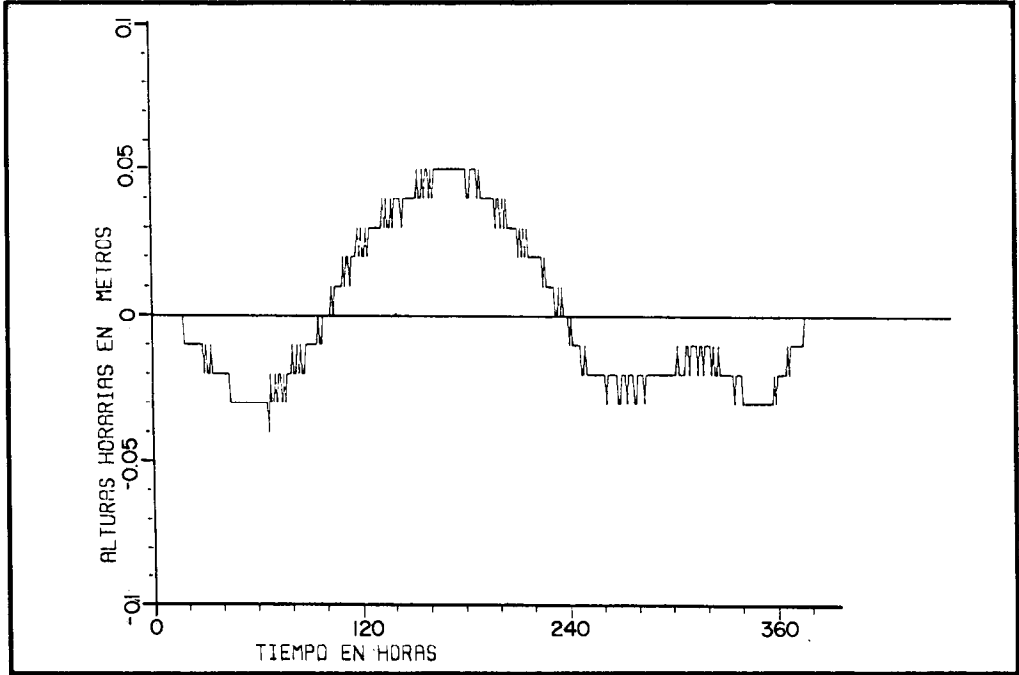


Figura 3(a). Marea no-astronómica en el Puerto de Ensenada para 15 días de septiembre de 1977.

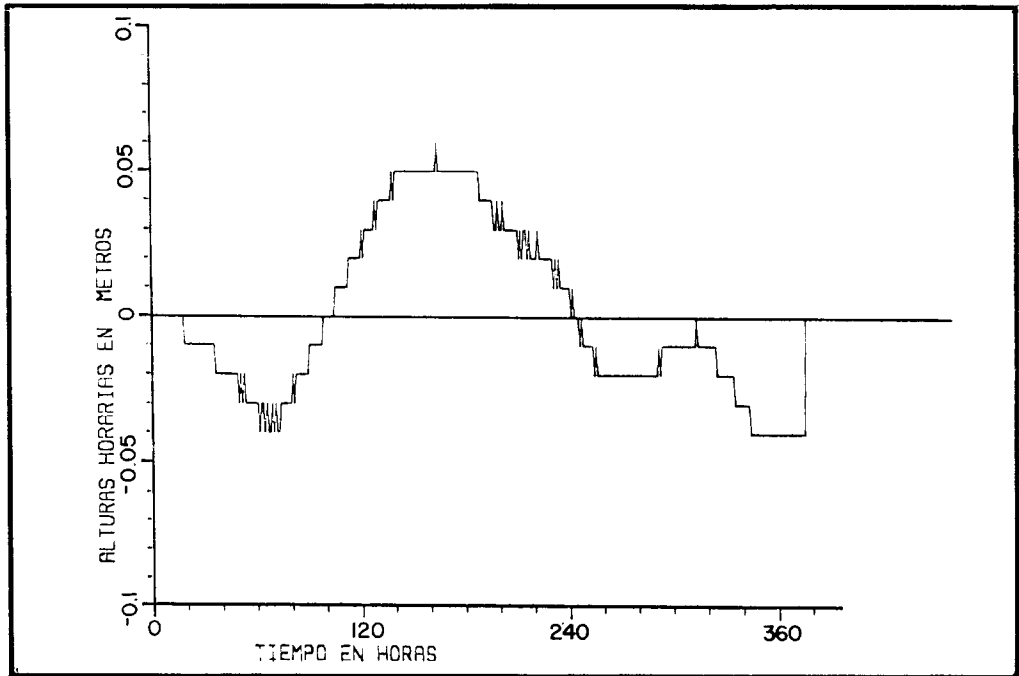


Figura 3(b). Marea no-astronómica en el Estero de Punta Banda para 15 días de septiembre de 1977.

HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

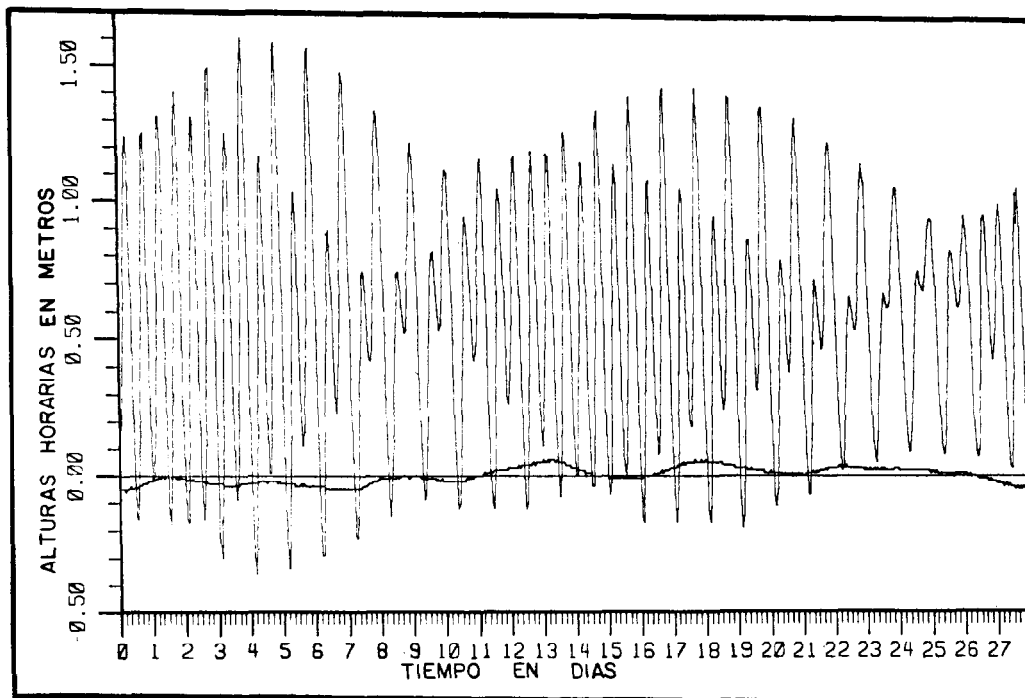


Figura 4. Mareas en el Estero de Punta Banda, calculadas del registro de mareas del Puerto de Ensenada, para abril de 1977, y descompuestas en partes astronómica y no-astronómica.

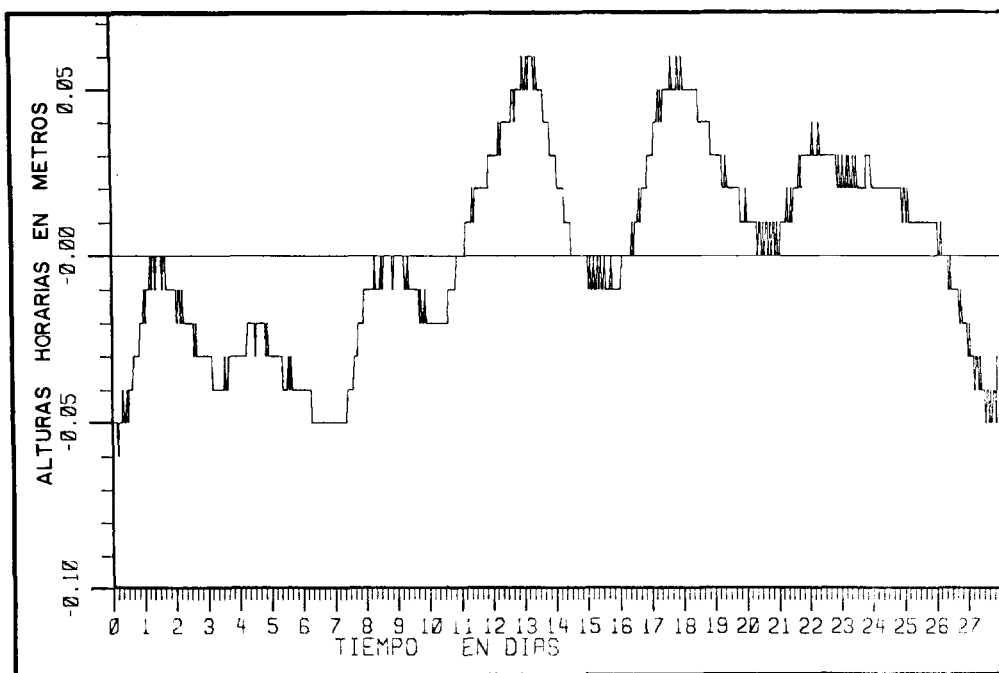


Figura 5. Marea no-astronómica en el Estero, en abril de 1977.

La figura 4 muestra el registro de marea del Estero de Punta Banda para el mes de abril de 1977, calculado por correlación del registro correspondiente al Puerto de Ensenada. Puede verse de este registro que las mareas en el estero son mixtas, con desigualdades diurnas grandes durante mareas muertas, y con mareas altas y bajas prácticamente iguales durante mareas vivas.

La figura 5, se muestra la marea no-astronómica en el estero para el mes de abril de 1977, observándose, al igual que en la figura 3, que la marea no-astronómica tiene variaciones con períodos entre 4 y 10 días, y amplitudes de  $\pm 5$  cm. Este tipo de variaciones periódicas ya han sido observadas en otros lugares, como reporta Elliot (1976), y corresponden al mismo orden de periodicidad que tienen los eventos meteorológicos más importantes.

#### OBSERVACIONES DE CORRIENTES:

Se efectuaron numerosas mediciones de rapidez y dirección de la corriente en distintos lugares e instantes de tiempo en el estero. Este reporte se refiere únicamente a la información considerada como más importante, y que corresponde a los registros continuos de dos correntímetros Braincon # 1381 instalados verticalmente en la boca del estero. Sin embargo, el conjunto total de mediciones indica que las corrientes más fuertes se producen en la boca disminuyendo su amplitud en forma más o menos regular desde la boca hacia la cabeza.

Los dos correntímetros Braincon situados en la boca, se ubicaron en el centro del canal, en un punto en que la profundidad es de 7.5 metros con respecto al nivel de bajamar media inferior, y fueron dispuestos en una línea vertical, uno de ellos apenas bajo el nivel de bajamar media inferior, y el otro a uno o dos metros del fondo. Para mantener la verticalidad de este arreglo se colocó un peso en el fondo, y 2 boyas de media agua sobre los correntímetros. La posición del arreglo quedó indicada con una boya de superficie sujeta mediante un cabo flojo a la boya de media agua superior.

Los correntímetros Braincon #1381 producen un registro de rapidez y dirección de la corriente cada 20 minutos durante 30 días en una película fotográfica, que debe ser interpretada y digitalizada posteriormente. Este último trabajo fue efectuado en el equipo especial de que dispone el Chesapeake Bay Institute (The Johns Hopkins University), quienes suministraron las velocidades correspondientes corregidas, en un archivo de tarjetas perforadas, y un listado impreso de computador.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

Las corrientes del estero son principalmente corrientes de marea y están en su mayor parte dirigidas a lo largo del eje del canal; por esta razón, la rapidéz y dirección se decompusieron en componente longitudinal U, a lo largo del eje local del estero, y componente lateral V, dirigida transversalmente a él. En todos los casos, la componente U mostró predominantemente variaciones debidas a la marea, alterando entre flujos y reflujos; en cambio, la componente V, generalmente muy pequeña mostró variaciones al azar (turbulentas) en el tiempo, sin relación aparente con las variaciones de la marea.

La figura 6 muestra el registro de la componente U en la superficie y en el fondo de la boca durante tres días, comenzando el 14 de diciembre de 1976; y evidencia claramente las características de marea de la corriente. Los errores de medición de los instrumentos, y las fluctuaciones turbulentas, introducen ruido de alta frecuencia en los registros, que no interesa en este estudio, y fué eliminado sometiendo el registro a un filtro ponderado de 3 horas. La figura 7 muestra la componente U de la velocidad suavizada, para la superficie y el fondo, durante el período antes mencionado. Nótese que las velocidades máximas en flujo y reflujo son levemente mayores en la superficie que en el fondo, como era de esperarse en un

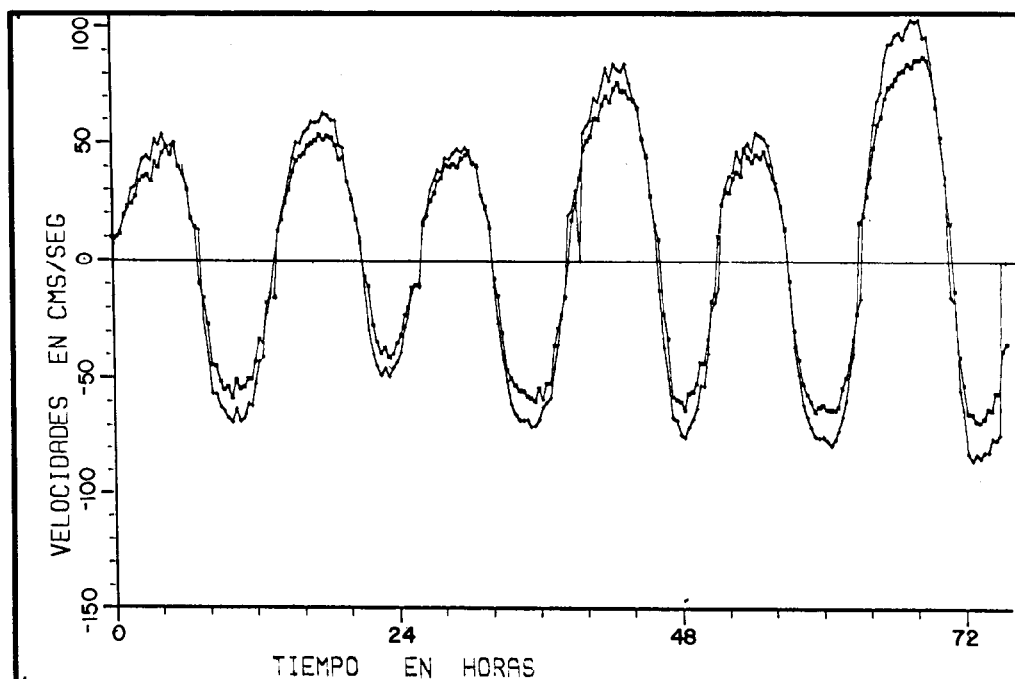


Figura 6. Componente U de la velocidad en la superficie (+) y en el fondo (-) para 3 días, desde el 14 de diciembre de 1976.

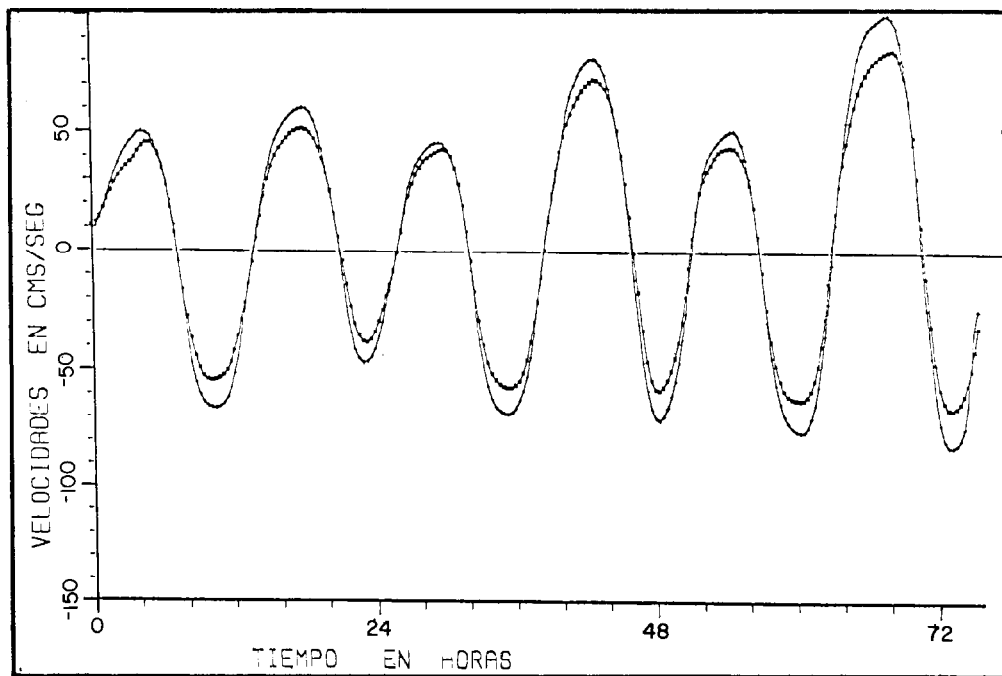


Figura 7. Componente U de la velocidad, suavizada, en la superficie (+) y en fondo (=), para 3 días desde el 14 de diciembre de 1976.

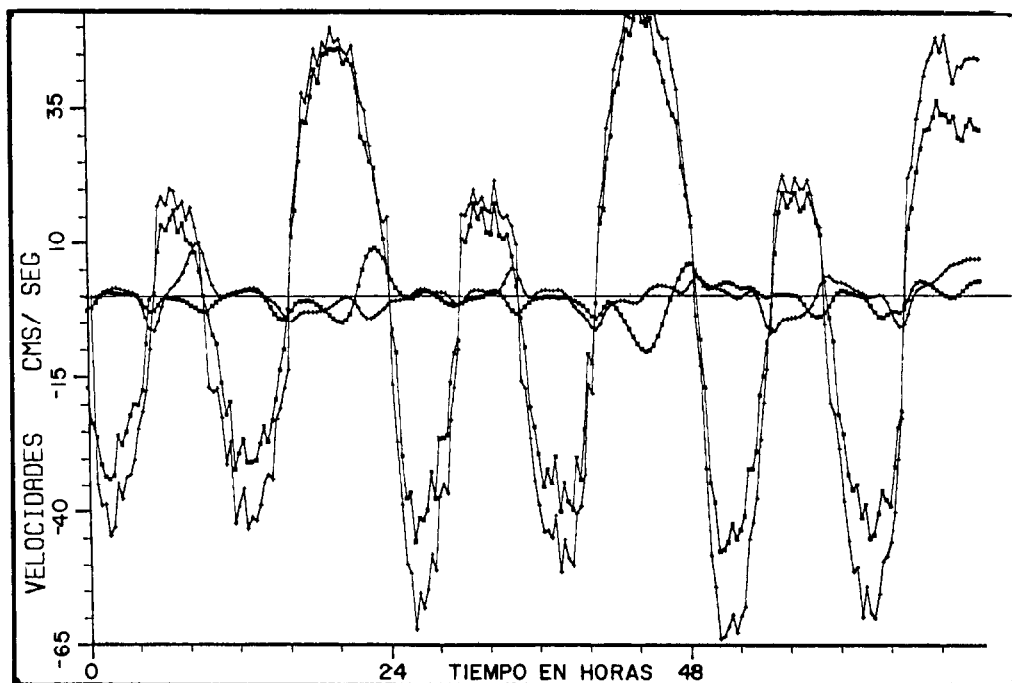


Figura 8. Componentes U y V de la velocidad, en la superficie (+) y en fondo (=), para 3 días, desde el 28 de enero de 1977.

canal de este tipo de perfil transversal.

La figura 8 muestra las componentes U y V de la velocidad - tanto en la superficie como en el fondo, durante 3 días, comenzando el 28 de enero de 1977; y evidenciando nuevamente las fluctuaciones típicas de marea en la componente U, y la ausencia de este tipo de fluctuaciones en la componente V, cuyas variaciones al azar son producidas aparentemente por remolinos turbulentos de gran tamaño. Nótese además la similitud de las fluctuaciones turbulentas simultáneas en el fondo y en la superficie.

Al igual que las variaciones en la altura del agua, las fluctuaciones en la rapidez y dirección de la corriente en el tiempo se deben en primer lugar a las fuerzas de marea astronómica, con los mismos períodos, y en segundo lugar tanto a los procesos meteorológicos de período largo, como a las variaciones espacio-temporales de la distribución de densidad en el estero. Por lo tanto, las componentes de la velocidad se sometieron al mismo proceso de filtrado que los registros de los mareógrafos, obteniéndose las corrientes de marea astronómica, y las corrientes no-astronómicas. Las figuras 9, 10, 11 y 12 muestran la componente U de la velocidad en el fondo y en la superficie de la boca, durante 3 días comenzando el 14 de diciembre de 1976, y durante 3 días comenzando el 28 de enero de 1977, descompuestas en componentes astronómica y no-astronómica. De estas figuras puede verse que la corriente no-astronómica es muy pequeña (aprox. 5 cm/seg) comparada con los máximos en flujo y reflujo de la corriente de marea astronómica (50 a 100 cm/seg).

Durante los 3 días de diciembre ya mencionados, la dirección de las corrientes no-astronómicas, tanto en la superficie como en el fondo fue siempre hacia afuera. Es evidente que estas mediciones no pueden representar la dirección del flujo promedio de toda la sección transversal de la boca, puesto que si esto fuera así, con una velocidad promedio de 5 cm/seg hacia afuera, obtendríamos una descarga neta no-astronómica de  $50 \text{ m}^3/\text{seg}$  hacia fuera, lo que implicaría un descenso de 0.5 metros por día en el nivel de las aguas del estero, fenómeno que no fue observado. Es claro que las corrientes no-astronómicas medidas en el centro del canal en la boca, son solo representativas del flujo en una porción de la sección transversal, existiendo otra porción, posiblemente hacia el Suroeste del canal, en que las olas rompientes sobrepasan la barra de arena superficial ahí existente, durante una parte considerable del ciclo de marea, originando un flujo no-astronómico hacia el interior del estero.

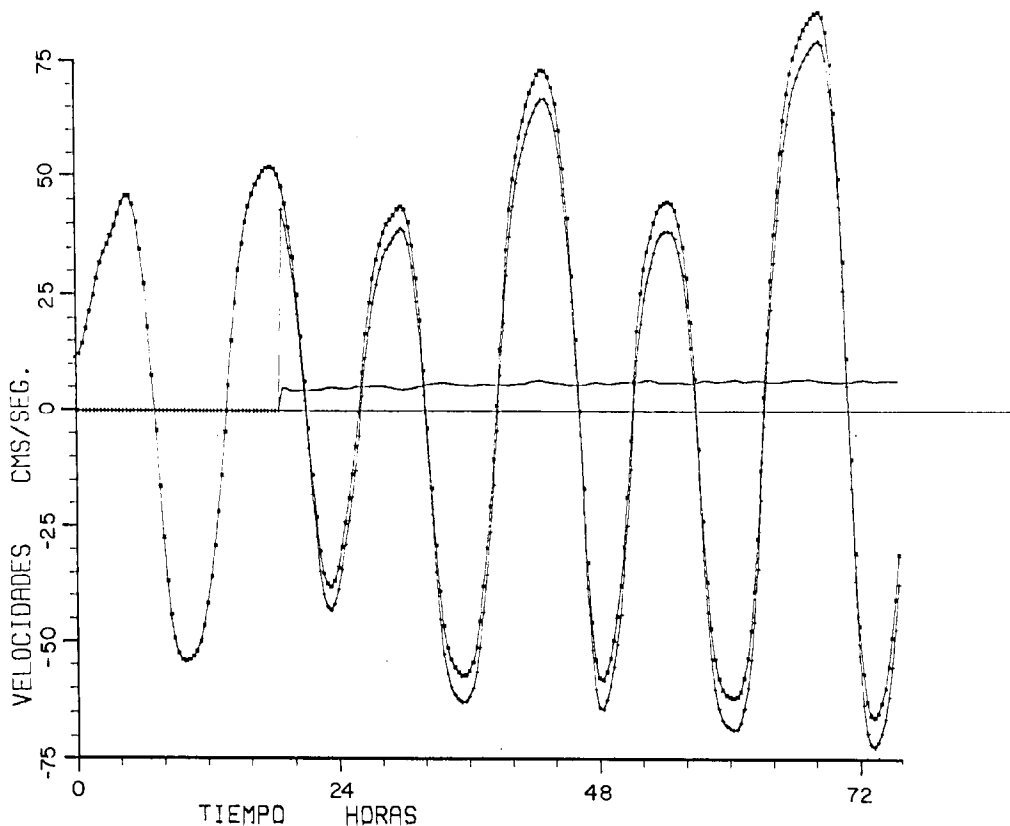


Figura 9. Partes astronómica (+), no-astronómica (-) y total (=) de la componente U de la velocidad, en el fondo, para 3 días desde el 14 de diciembre de 1976.

Durante los 3 días de enero antes mencionados, la corriente no astronómica en la superficie se dirigía hacia el interior del estero con una velocidad de 5 cm/seg; y en el fondo se dirigía hacia el exterior, con una velocidad de menos de 1 cm/seg, excepto en las últimas horas, en que también se dirigía hacia el interior. Nuevamente, las exigencias de continuidad, requieren que en alguna parte de la sección transversal, no muestreada por los correntímetros, el flujo sea en dirección opuesta al observado en la superficie; es posible que esto ocurra, como se discutirá en la próxima sección, bajo la capa de flujo superficial, y con intensidad máxima muy cerca del fondo.

La figura 13 muestra las partes astronómica y no-astronómica de la componente U de la velocidad en el fondo de la boca del estero, desde el 4 de febrero al 3 de marzo de 1977 (debido a que el proceso de filtrado pierde algunos datos en ambos extremos del registro, se muestran solamente los 25 días centrales del período total de 26 días). Puede verse que las corrientes de marea astronómica tienen características similares a la marea

HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

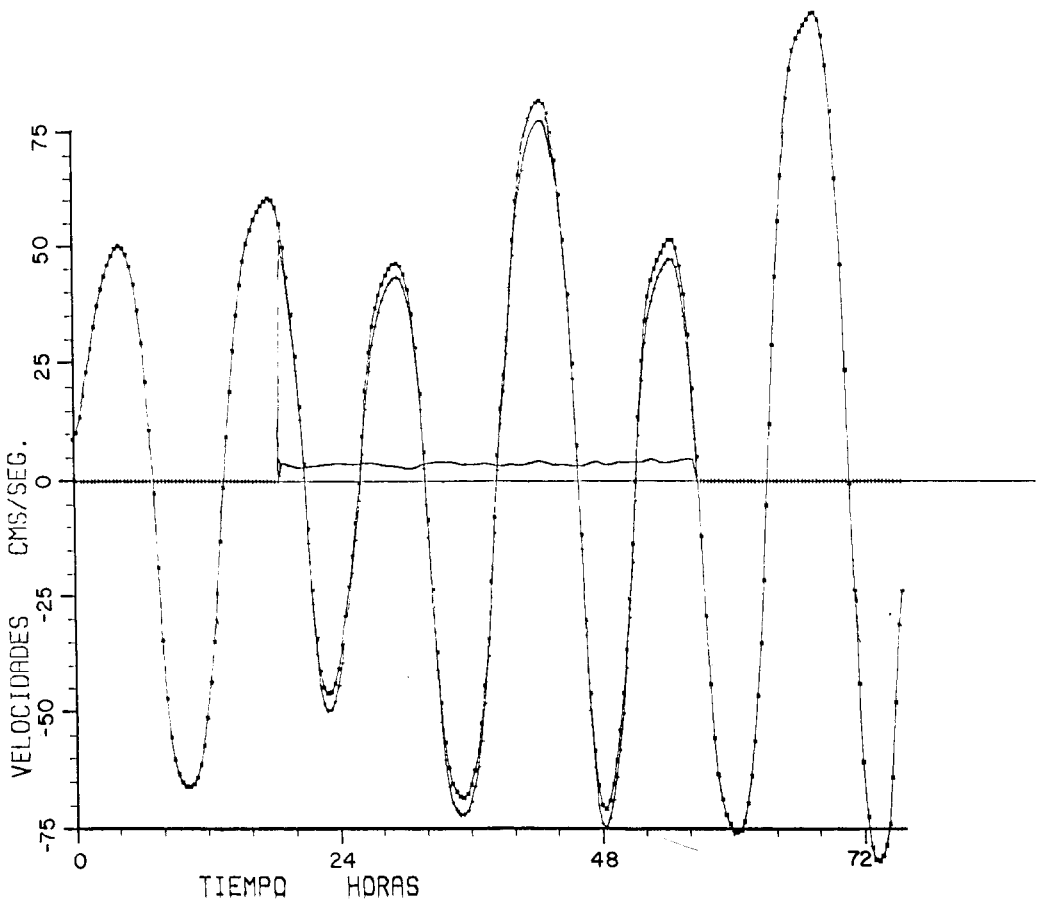


Figura 10. Partes astronómica (+), no-astronómica (-) y total (=), de la componente U de la velocidad, en la superficie, para 3 días desde el 14 de diciembre de 1976.

astronómica, siendo su amplitud máxima durante mareas vivas y con las 2 descargas de flujo y las 2 de reflujo diarias prácticamente iguales. Durante mareas muertas, por el contrario, las corrientes máximas en flujo y reflujo, muestran desigualdades grandes.

La corriente no-astronómica muestra variaciones temporales similares en caracter a las variaciones de la marea no-astronómica, es decir, sus fluctuaciones son aperiódicas, con intervalos de entre 4 y 10 días entre las inversiones de sentido del flujo. Estos intervalos son típicos de los períodos de cambio en las condiciones meteorológicas, y ya han sido observados y reportados anteriormente en otros estudios de registros de correntímetros en aguas costeras, como el de Elliot (1976).

Resultados similares se obtuvieron del análisis de los registros de los correntímetros desde el 14 de diciembre de 1976 al 18 de enero de 1977.



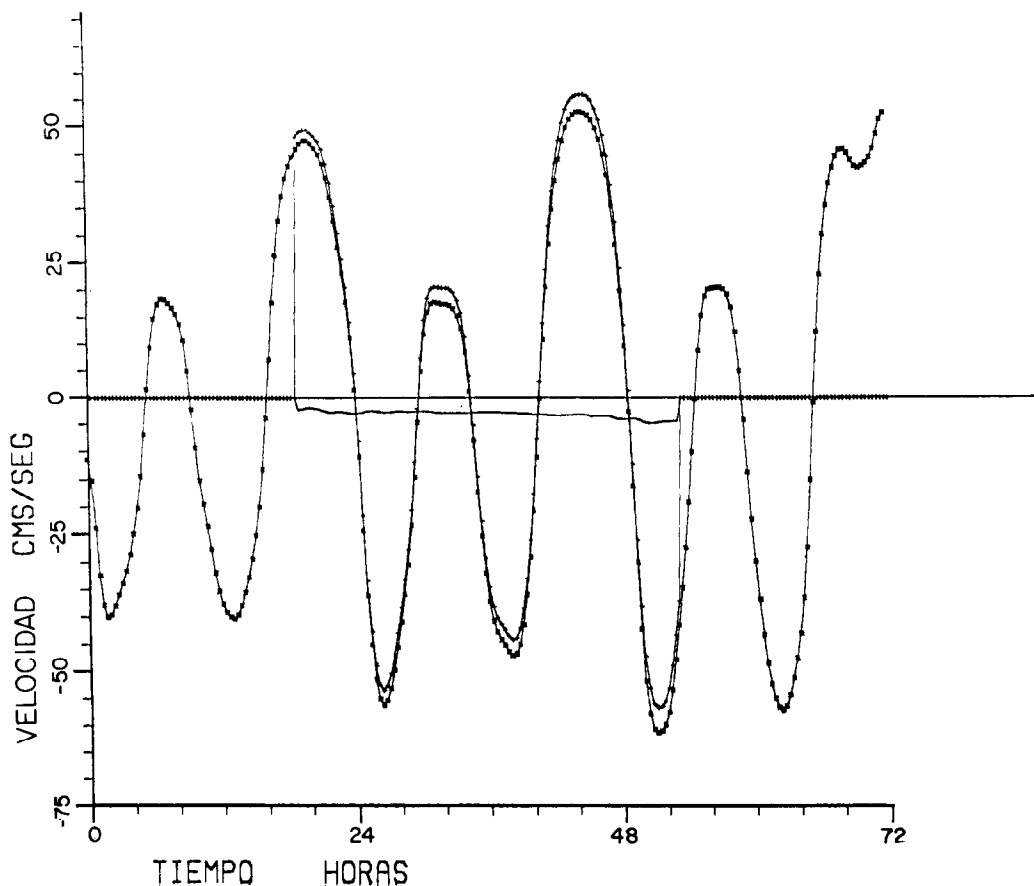


Figura 11. Partes astronómica y no-astronómica de la componente U de la velocidad, en la superficie, para 3 días de enero de 1977.

#### DATOS DE SALINIDAD Y TEMPERATURA.

La mayor parte de las mediciones de temperatura y salinidad se efectuaron simultáneamente con la detección de trazador fluorescente en el estero, durante febrero y abril de 1977. El análisis y discusión siguientes se refieren a mediciones efectuadas durante 30 días del mes de abril (ver fechas en la Tabla # 1) de 1977; análisis preliminares de información recogida durante diciembre de 1976, enero, febrero y marzo de 1977 indican que no hay diferencias apreciables en las condiciones del estero en esos meses, con respecto a abril de 1977.

Todos los días en que se efectuaron mediciones, se realizó un crucero aguas arriba, de la boca a la cabeza, y otro aguas abajo, de la cabeza a la boca, ocupando las estaciones que se indican en la figura # 1, en las cuales se midió cada 2 metros de profundidad, la conductividad y la temperatura del agua

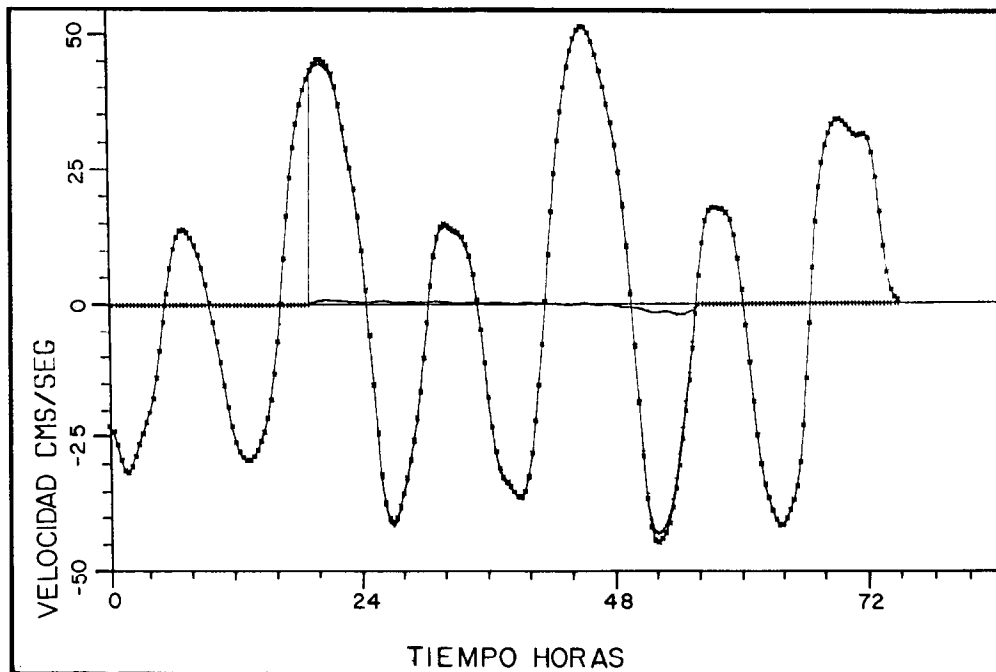


Figura 12. Partes astronómica y no-astronómica de la componente U de la velocidad, en el fondo, para 3 días de enero de 1977.

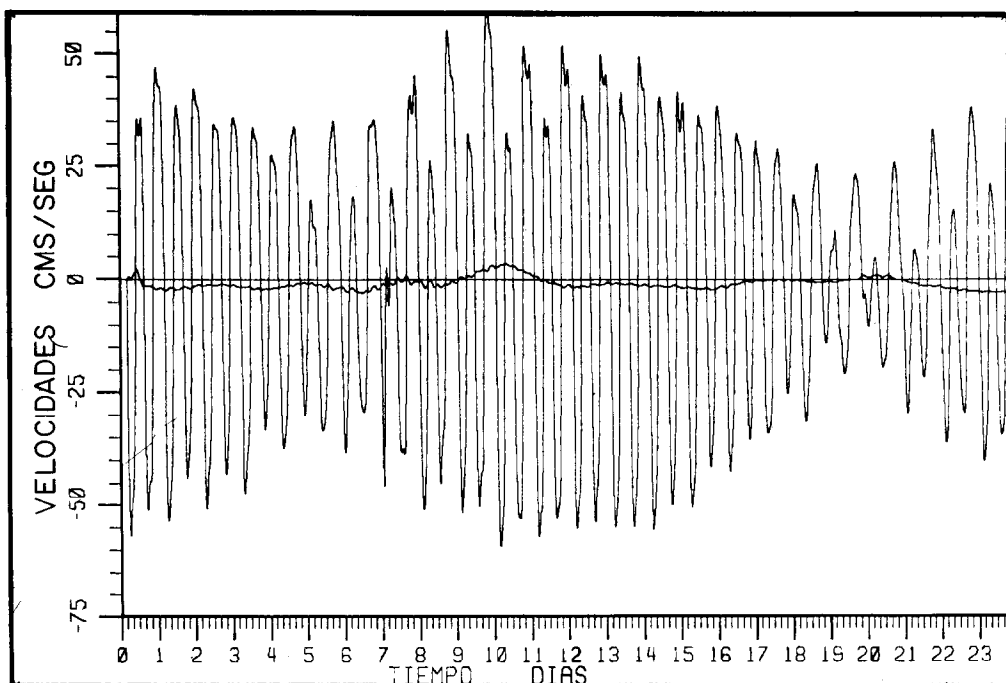


Figura 13. Partes astronómica y no-astronómica de la componente U de la velocidad, en el fondo, desde el 4 de febrero al 3 de marzo de 1977.

mediante el conductímetro-termómetro de Inducción del Chesapeake Bay Institute (CBI-ICTI) (Schieimer y Pritchard, 1961). Este instrumento proporciona lecturas directas de la temperatura y la conductividad eléctrica del agua en las vecindades de su sensor in-situ, con los cuales se evalúa posteriormente la salinidad para cada par de valores, mediante un programa de computador suministrado por el CBI.

El principio de continuidad de masa requiere que el flujo instantáneo a través de cualquier sección transversal del estero sea igual a la tasa de variación del volumen de agua comprendido entre esa sección y la cabeza, más la tasa neta de pérdidas de volumen de agua por evaporación en la superficie, en esa misma parte del estero. Los detalles de esta ecuación y de su computación, aparecen en el reporte de la Parte II de este estudio; por ahora basta con establecer que el principio mencionado permite calcular los flujos de intercambio de agua a través de cualquier sección del estero, en función del tiempo, si se conoce la variación temporal de la altura del agua según los registros de marea, la batimetría del estero, y registros meteorológicos que permitan determinar la tasa de evaporación. Con los flujos de intercambio así evaluados, y el área de las secciones transversales, se puede calcular promedios seccionales de las velocidades longitudinales, en función del tiempo.

Este campo de velocidades longitudinales dependientes del tiempo, así calculadas, permite evaluar el desplazamiento que experimenta una parcela de agua desde la posición de la estación en que fue observada en el instante de muestreo, hasta la posición que tendrá en el instante de marea alta o marea baja más cercano. Las posiciones de todas las observaciones de salinidad y temperatura se desplazaron de esta manera, obteniéndose así una distribución de valores simultáneos para el instante de marea alta, y el instante de marea baja, para cada día que se muestreó. Los valores de estas distribuciones se promediaron posteriormente cada 1 km obteniéndose valores medios longitudinales.

Las figuras 14 (a) y (b) y las figuras 15(a) y (b) muestran las variaciones longitudinales de la salinidad media y la temperatura media respectivamente, para todos los días de abril de 1977 en que se efectuaron muestreos. Puede verse de las figuras, que tanto la salinidad como la temperatura aumentan con la distancia hacia la cabeza, siendo este incremento muy lento en los primeros 2/3 de la extensión del estero, y más rápido en el 1/3 cerca de la cabeza.

## HIDROGRAFIA FISICA ESTERO DE PUNTA BANDA

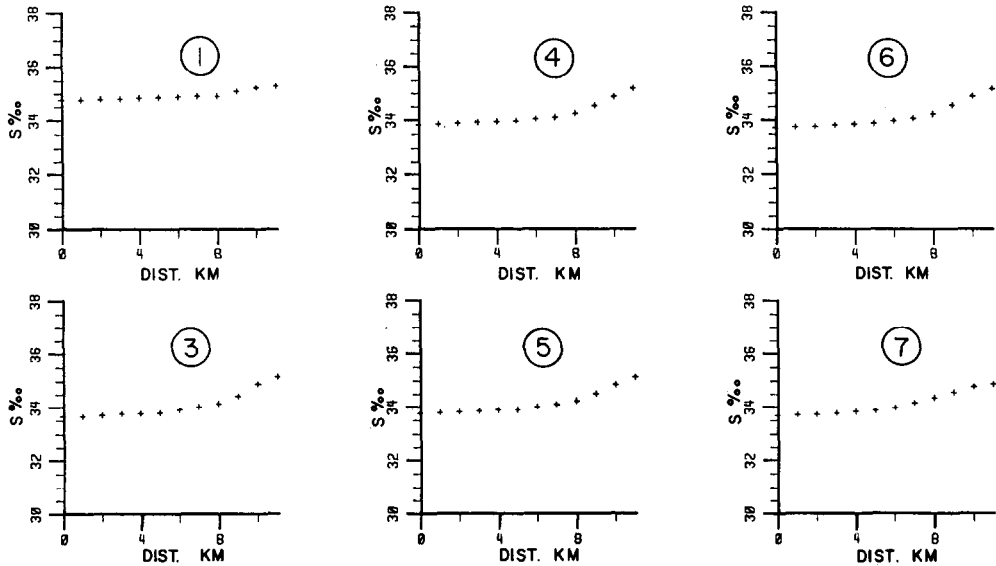


Figura 14(a). Distribuciones longitudinales diarias de salinidad, para abril de 1977.

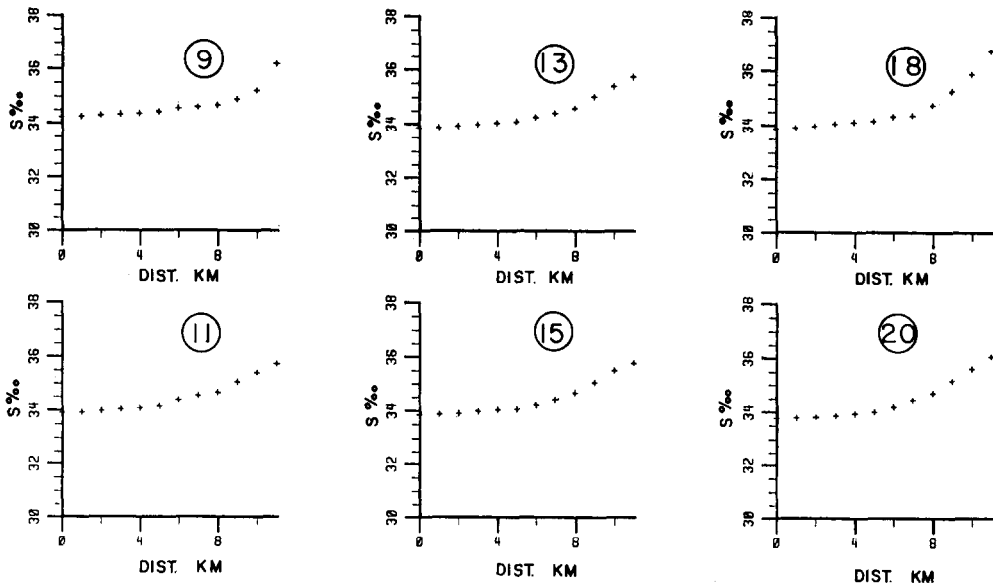


Figura 14(b). Distribuciones longitudinales diarias de salinidad, para abril de 1977, (Continuación).

La distribución de salinidad observada, es la que podría esperarse en un estero en que la evaporación excede a la precipitación y a las descargas de agua dulce. La distribución de temperatura observada, es la que podría esperarse como resultado del calentamiento de las aguas superficiales del estero, por la radiación solar.

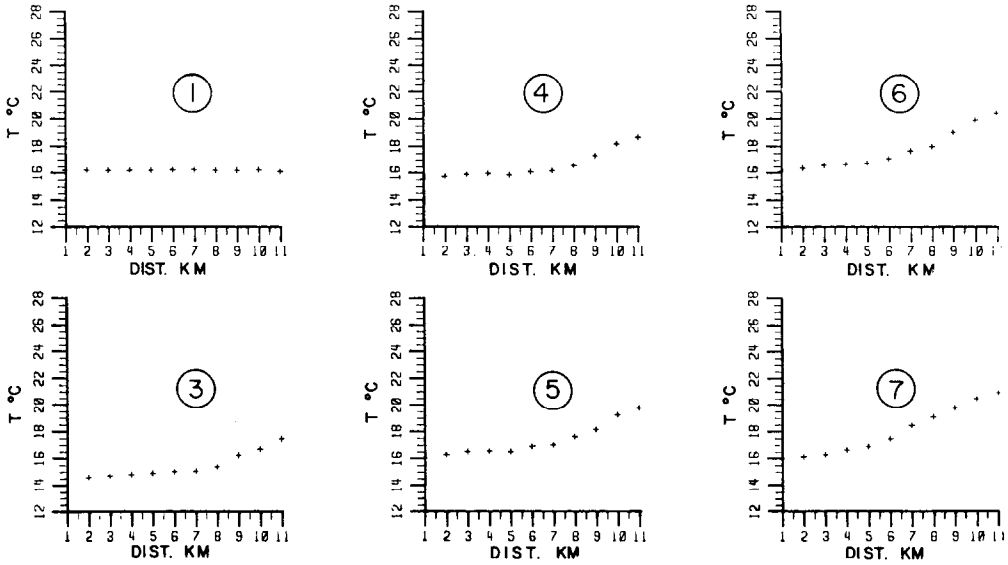


Figura 15(a), Distribuciones longitudinales diarias de temperatura, para abril de 1977.

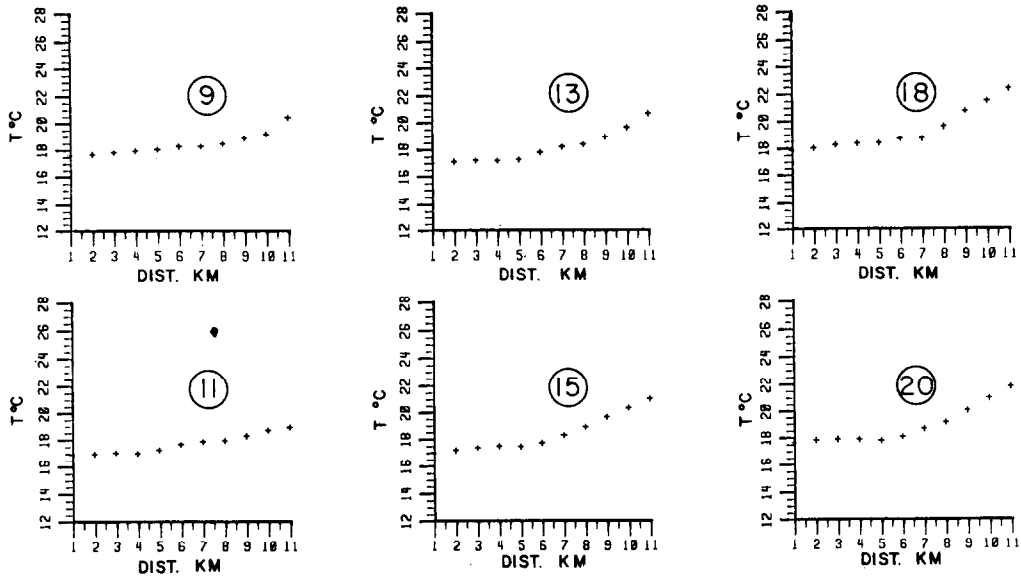


Figura 15(b). Distribuciones longitudinales diarias de temperatura, para abril de 1977. (Continuación).

El rápido incremento en la tasa de aumento de la salinidad y la temperatura en la parte superior del estero se debe a que en esta zona los tiempos de evacuado de los segmentos son mayores que en los segmentos cercanos a la boca.

Si el proceso de evaporación fuese dominante sobre el proceso de calentamiento, de manera tal que, aunque la distribución de salinidad fuese esencialmente la misma que se observó pero la temperatura fuese aproximadamente constante a lo largo del estero, entonces las aguas del estero serían más densas cerca de la cabeza que en la boca, y se hundirían fluyendo aguas afuera por el fondo, mientras el agua del mar entraría al estero y fluiría hacia la cabeza en las capas superficiales.

Por otro lado, si el proceso de calentamiento fuese dominante sobre el proceso de evaporación, de manera tal que, aunque la distribución de temperatura fuese esencialmente la misma que se observó, pero la salinidad fuese aproximadamente constante a lo largo del estero, entonces las aguas del estero serían menos densas cerca de la cabeza que en la boca, y fluirían aguas afuera por las capas superficiales, mientras el agua densa del mar se hundiría y entraría al estero fluyendo hacia la cabeza por el fondo.

Luego, de acuerdo a las distribuciones longitudinales de temperatura y salinidad observadas, se tiende a producir un contrapeso en la distribución de densidad, y por ende un equilibrio entre los dos patrones de circulación antes mencionados. La determinación de cual de los 2 procesos controla la circulación neta por gradientes de densidad en el estero requiere de un análisis detallado de las distribuciones longitudinal y vertical de temperatura, salinidad y densidad; análisis que está ahora en vías de comenzarse y sus conclusiones deberán esperarse hasta la aparición del próximo reporte.

#### MEDICIONES DE TINTA FLUORESCENTE:

Se efectuaron dos lances con trazador de tinta fluorescente (Rodamina WT) en febrero de 1977 y en abril de 1977.

Debido a desperfectos en la embarcación y en el equipo de muestreo no fue posible obtener datos suficientemente confiables para análisis del experimento efectuado en febrero. El tratamiento y resultados de las observaciones obtenidas en abril se describen en el reporte de la Parte II de este estudio.

#### AGRADECIMIENTOS.

Se agradece al Departamento de Física de la Unidad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California por su colaboración en el trabajo de campo, y obtención de datos.

BIBLIOGRAFIA.

- Acosta Ruíz M.J. y S. Alvarez Borrego. 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físico químicos, en el Estero de Punta Banda, B.C., en Otoño e Invierno. Ciencias Marinas (Mex) 1(1): 16-45.
- Bendat, J. S. y A. F. Piersol, 1971. Random Data: Analysis and measurement procedures. Wiley-Interscience, New York, N.Y. 407 p.
- Celis Ceseña R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en Primavera y Verano. Ciencias Marinas (Mex) 2(1):98-105.
- Claerbout, J. 1976. Fundamentals of geophysical data processing, McGraw Hill, New York, N. Y. 214 p.
- Doodson, A. T. and H. D. Warburg, 1952. Admiralty manual of tides. Her's Majesty's Stationery Office, Londres, 270p.
- Elliot, A. J. 1976. A study of the effect of meteorological forcing on the circulation in the Potomac Estuary. Chesapeake Bay Institute, The Johns Hopkins University, Special Report 56, Ref. 76-9, 1976.
- Pollak, M.J. 1957. Axial slope of sea level in Chesapeake Bay. Transactions of the American Geophysical Union. Vol. 38, No. 1, February, 1957.
- Schiemer, E. W. and D. W. Pritchard. 1961. An induction conductivity temperature indicator. Chesapeake Bay Institute, Technical Report No. 25, Baltimore, Maryland, 75 p.
- Sturges, Wilton, 1967. Slope of sea level along the Pacific Coast of the United States. Journal of Geophysical Research, Vol. 72, No. 14.