

HIDROGRAFIA FISICA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA
PARTE II. APLICACION DE UN MODELO PARA
INTERCAMBIO Y DISPERSION

por:

DONALD W. PRITCHARD

RENE DE LA PAZ VELA

SALVADOR FARRERAS SANZ

HOMERO CABRERA MURO

EDUARDO MORALES

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

RESUMEN.

Se aplica un modelo numérico unidimensional al Estero de Punta Banda, para calcular las descargas de intercambio entre los segmentos del estero y entre el estero y las aguas costeras adyacentes.

Una extensión del modelo se utiliza para calcular la distribución espacial y temporal de la concentración de un contaminante introducido en el estero como una fuente local instantánea. Se provee como información de entrada al modelo, las distribuciones de salinidad, evaporación, áreas superficiales, y volúmenes en función del tiempo, para todos los segmentos.

Los resultados del modelo se comparan con observaciones efectuadas en abril de 1977, de la distribución espacial y temporal de la concentración de tinta fluorescente que se introdujo en un lugar del estero ubicado a dos tercios de la distancia entre la cabeza y la boca.

ABSTRACT.

A one-dimensional numerical model is applied to Estero Punta Banda to compute cross-sectional average tidal current velocities and tidal mean exchange fluxes between segments within the estero and between the estero and the adjacent coastal waters. Good agreement between the computed time variations in the tidal current and the observed velocities at the mouth was found. An extension of the model is used to compute the temporal and spacial distribution of concentration of a contaminant introduced into the estero as a local instantaneous source. Inputs to the model are distributions of surface areas, volumes, salinities and evaporation for the various segments as a function of time. The results of the model computations are compared to observations of the temporal and spacial distribution of concentration of a fluorescent dye introduced at a position approximately two-thirds of the distance from the mouth to the head of the estero in April, 1977.

INTRODUCCION.

Durante los meses de enero a abril de 1977, se obtuvieron datos meteorológicos de mareas, corrientes, temperaturas y salinidades en el Estero de Punta Banda, B. C. En el presente trabajo hacemos uso de estos datos para computar el flujo de intercambio entre segmentos dentro del estero y entre éste y las aguas costeras adyacentes. Usamos después estos intercambios de flujo para calcular la dispersión de un contaminante introducido. Este fué representado por tinta fluorescente, a través y afuera del estuario.

Para computar los flujos de intercambio en el estero se desarrolla un modelo unidimensional cinemático segmentado a partir de las ecuaciones de conservación de masa y del balance de sal. Los flujos calculados se usan entonces en un modelo unidimensional cinemático transitorio (no estacionario) con el balance de contaminante en el estero para calcular la variación en el tiempo de la concentración y distribución de la tinta fluorescente introducida como una fuente local instantánea en el estero. Los resultados de las computaciones del modelo se comparan con las distribuciones de concentración observadas de la tinta fluorescente que fue introducida en punta alrededor de 2/3 de la distancia de la boca a la cabeza del estero.

Para ilustrar la validez de tal modelo se hicieron cálculos de las velocidades seccionales promedio con función del tiempo en varios puntos del estero. Estos cálculos se comparan luego con las velocidades observadas en la boca.

SEGMENTACION DEL ESTERO.

Para resolver las ecuaciones diferenciales transitorias de intercambio y dispersión en el estero fue necesario, primero subdividir el canal en una serie de elementos finitos o segmentos. Dentro de cada segmento se asumen valores promedio de varios parámetros al centro del segmento. Los gradientes espaciales se computan tomando simples diferencias lineales entre segmentos. La selección del tamaño de los segmentos deben ser tal que no ocurran grandes variaciones no lineales entre segmentos adyacentes.

La figura uno es un mapa esquemático del Estero de Punta Banda. En él se muestra la división del canal en once segmentos. En el modelo se considera la existencia de un doceavo segmento justo afuera de la boca. La distancia entre los centros de segmentos adyacentes es aproximadamente de un kilómetro. La información batimétrica se usó para determinar los valores de las áreas, de las secciones transversales que marcan los límites entre segmentos y también para calcular el área superficial de cada segmento y los volúmenes de cada segmento como función del nivel de la superficie. Entonces las áreas de secciones transversales, áreas superficiales y volúmenes para cada segmento pueden ser determinadas para cualquier nivel de marea dado.

COMPUTACION DE VELOCIDADES PROMEDIO SECCIONALES A PARTIR DE GRAFICAS DE MAREAS.

La ecuación de continuidad requiere que la razón de cambio de volumen de una porción del estero arriba de una sección transversal dada sea igual a la suma algebraica de la razón de volumen de flujo a través de la sección menos la razón de pérdida de agua debido a la evaporación de la superficie del estero arriba de la sección transversal dada.

La ecuación que establece este principio, para un sistema unidimensional y con el eje X a lo largo del eje del estero, es dada por:

$$\frac{\partial V (X)}{\partial t} = Q (x) - SQE (x)$$

en la cabeza $x = 0$
donde:

$$(2) \quad V(x) = \int A(x') dx'$$

y;

$$(3) \quad SQE (x) = \int B(x') E(x') dx'$$

y donde

- $A(x')$ = El área de la sección transversal en todos los puntos x' entre $x' = 0$ y $x' = x$.
- $B(x)$ = Lo ancho de la superficie del estero en todos los puntos x' entre $x' = 0$ y $x' = x$.
- $E(x')$ = Razón lineal de evaporación del estero para todos los puntos x' entre $x' = 0$ y $x' = x$.
- $Q(x)$ = Razón de volumen de flujo a través de la sección transversal en x .

Note que las velocidades seccionales promedio están dadas por:

$$(4) \quad \bar{v}(x) = Q(x)/A(x)$$

Todos esos parámetros pueden ser funciones del tiempo. Más específicamente son funciones de la variación en el tiempo de la elevación de la superficie libre del agua debido a la marea.

Dadas gráficas de marea para varias posiciones a lo largo del estero, junto con valores de volúmenes de cada segmento como función de la elevación de la superficie del agua, es entonces posible computar el valor de $V(x)$. $\partial V(x)/\partial t$, y su razón de cambio en el tiempo, también dados los valores de velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa, se puede calcular la razón de evaporación en la superficie del estero. La ecuación (1) puede resolverse entonces para el flujo $Q(x)$ a través de cualquier sección transversal dada, en función del tiempo.

La razón de evaporación lineal se calcula usando la fórmula desarrollada en los estudios del Lago Heffner. Reportada por U.S. Geological Survey (1942). Esta fórmula es:

$$E = 4.283 \times 10^{-6} * W * (E_{se} - E_a)$$

La cual da la razón de evaporación en metros/hora. En esta ecuación:

- W = Velocidad del viento a una elevación de 6 metros.
- E_{se} = Presión de vapor saturado (en milibares) sobre la superficie a una temperatura de agua dada.
- E_a = Presión de vapor observada (en milibares) en el aire a una elevación de 6 metros arriba de la superficie.

Las observaciones de velocidad del viento, temperatura del aire y humedad relativa, fueron hechas en una estación meteorológica situada en el Tony's Camp. Figura 1. Estas observaciones fueron usadas para computar la razón de evaporación lineal para cada día durante abril de 1977. También durante este mes se hizo el experimento con la tinta. Este se usó para compararlo con los resultados del modelo.

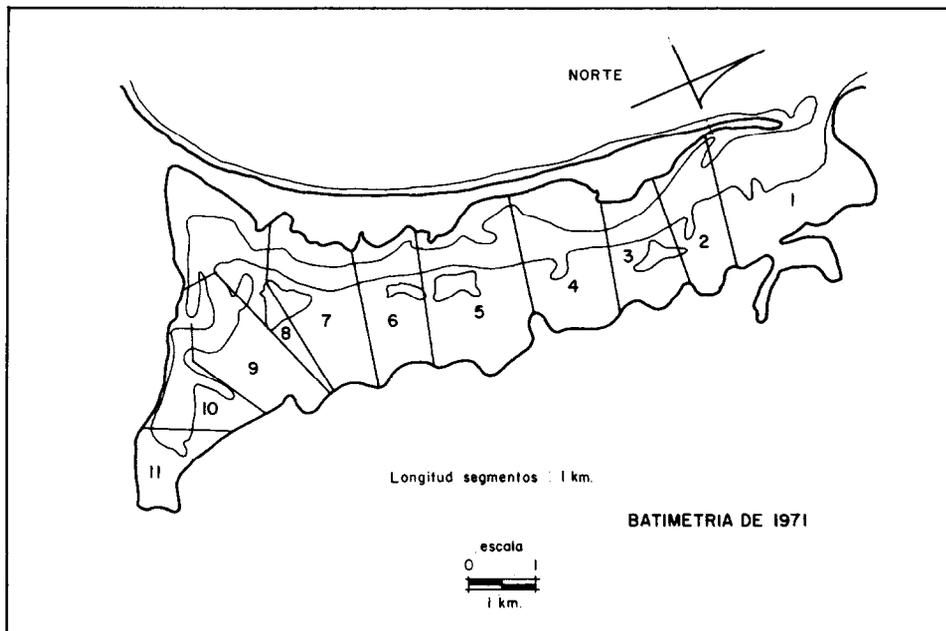


Figura 1. Mapa esquemático del Estero de Punta Banda, mostrando su división en segmentos.

La ecuación (1) se expresa en forma apropiada para su cálculo en computadora usando la notación siguiente:

- N = Número de segmentos del estero, comenzando con el segmento uno en las aguas costeras adyacentes inmediatamente afuera de la boca del estero.
- A(I,J) = Área de la sección transversal en la frontera entre el segmento I, y el segmento (I-1), al incremento del tiempo J.
- AS(I,J) = Área superficial del segmento I, al incremento del tiempo J.
- V (I,J) = Volumen del segmento I, al incremento del tiempo J.
- Q (I,J) = Razón de volumen de flujo a través de la sección transversal en la frontera entre el segmento I y el segmento (I-1), al incremento de tiempo J.
- E (I,J) = Razón lineal de evaporación de la superficie del segmento I, al incremento de tiempo J.
- V (I,J) = Velocidad promedio de la sección transversal a través esta sección en el límite entre el segmento I y el segmento (I-1), al incremento de tiempo J.
- DELTA = Intervalo de tiempo entre incrementos.

entonces:

$$(5) \quad SV(I,J) = \sum_{k=I}^N V(k,j)$$

$$(6) \quad SQE(I,J) = \sum_{k=I}^N AS(k,j) * E(k,j)$$

$$(7) \quad Q(I,J) = -((SV(I,J+1) - SV(I,J-1))/2 * DELT) - SQE(I,J)$$

$$(8) \quad U(I,J) = Q(I,J)/A(I,J)$$

En general es deseable tener gráficas de marea de varias posiciones del estero. En el presente caso, solamente se tienen datos confiables de marea al centro del estero. Sin embargo, datos existentes para otras localidades en el estero indican que cualquier cambio de fase o de amplitud de la onda de marea a lo largo del estero es muy pequeña. De aquí que asumamos que la elevación y caída de la superficie debido a la onda de marea es simultánea a través del estero.

La figura dos muestra una comparación entre las velocidades promedio seccionales en la boca, calculadas con el modelo anterior para un día durante el período de marea muerta, y el promedio de las velocidades observadas durante el mismo período. La figura 3 da la misma información para un día durante el período de marea viva. Hay una buena concordancia entre las velocidades observadas y calculadas aún cuando se observa un pequeño cambio de fase entre las dos curvas.

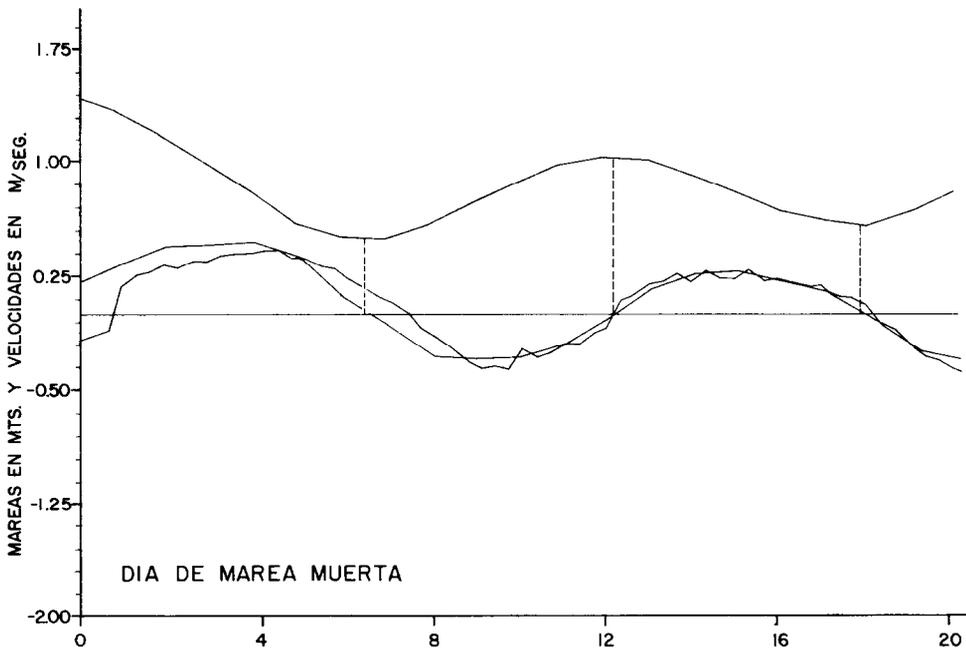


Figura 2. Comparación entre velocidades seccionales promedio en la boca, calculadas y observadas. Período marea muerta.

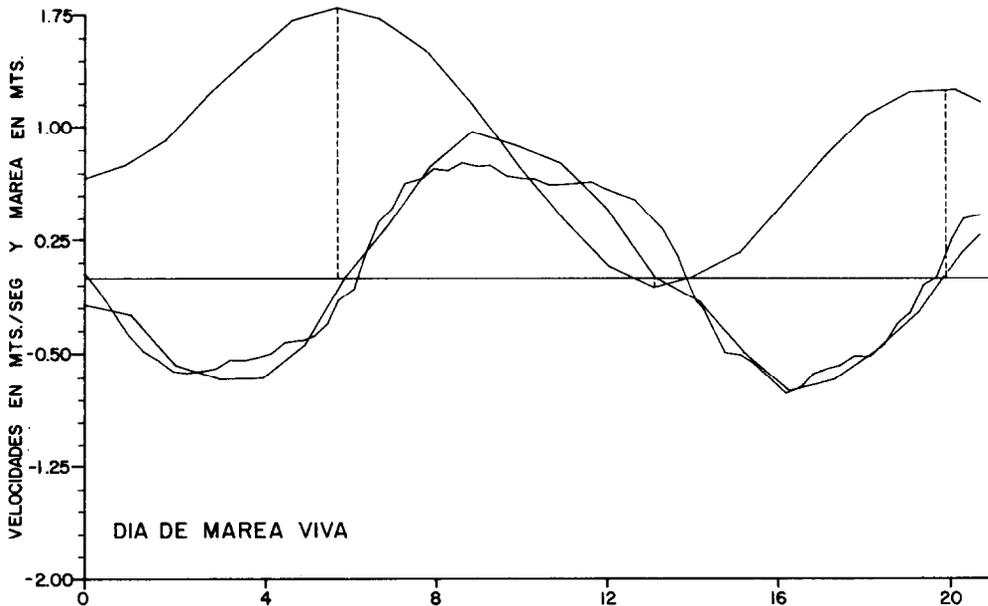


Figura 3. Comparación entre velocidades seccionales promedio en la boca, calculadas y observadas. Período marea viva.

Se usó este método para calcular la velocidad como función del tiempo a través de cada sección transversal marcando límites entre segmentos. Estos cálculos fueron hechos en un día para marea viva y en otro para marea muerta. La figura 4 muestra velocidades máximas de flujo y reflujo graficadas como vectores, en cada límite de segmento a lo largo de la longitud del estero y para una condición típica de marea viva. La gráfica para marea muerta es similar, pero la magnitud de las velocidades son aproximadamente la mitad de las mostradas en la figura 4. Nótese que la amplitud de la velocidad de marea decrece de una manera más o menos regular desde la boca a la cabeza del estero. Esto es consistente con el principio de continuidad ya que el estero está cerrado en su límite interior.

La figura 5 es una gráfica durante un período de 21 días de velocidades máximas calculadas para flujo y reflujo. Las velocidades son para un punto en la boca, cerca del centro del estero (segmento cinco) y otro punto cerca de la cabeza del estero. Esta gráfica muestra la variación de la amplitud de la corriente de marea desde un valor pequeño en marea muerta a un valor grande en marea viva. La desigualdad diurna entre las dos velocidades máximas de flujo y las dos velocidades máximas de reflujo cada día es más grande durante el período entre marea muerta y marea llenante que durante el período entre marea llenante y marea muerta. La desigualdad diurna es también más grande en marea viva y marea muerta. En ambas, la amplitud de la corriente de marea y la desigualdad diurna decrece desde la boca hacia la cabeza del estero.

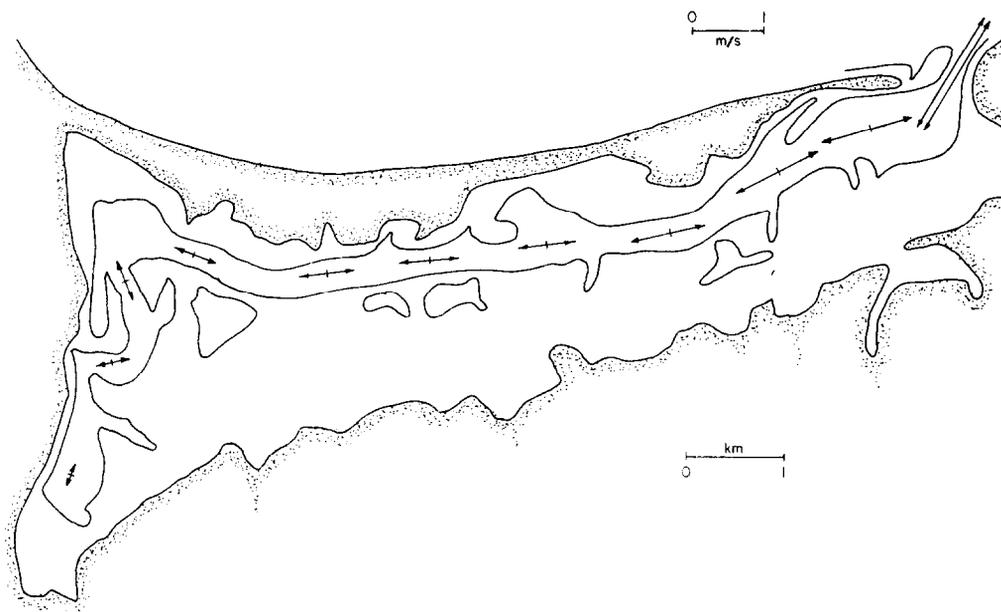


Figura 4. Velocidades máximas de flujo y reflujó calculadas en el modelo y graficada como vectores en cada sección para condiciones típicas de marea viva.

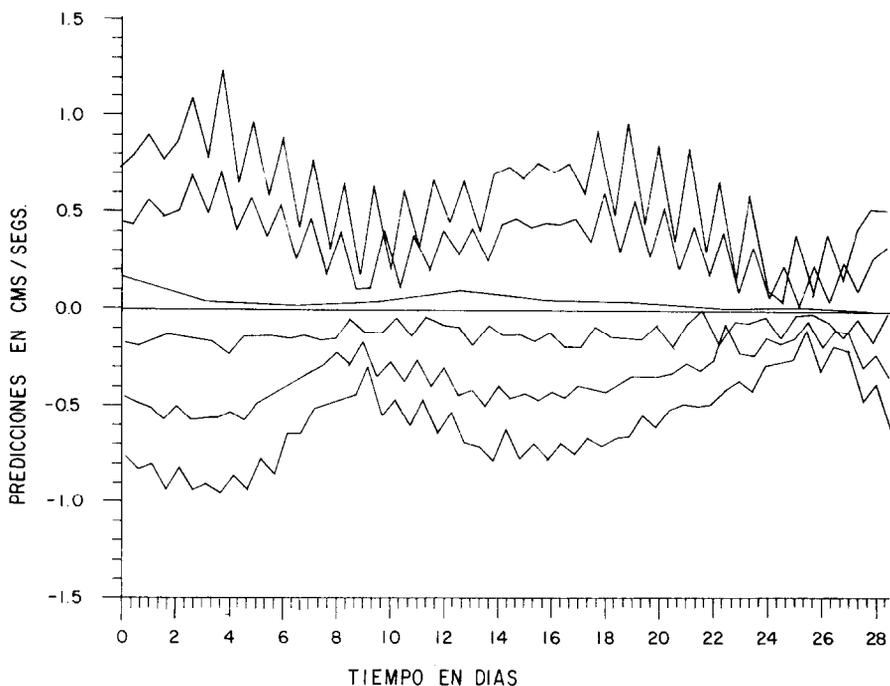


Figura 5. Velocidades máximas de flujo y reflujó calculadas contra tiempo, por un período de 21 días en la boca, cerca del centro y a la cabeza del estero.

MODELO PARA INTERCAMBIO PROMEDIO DE FLUJO DE MAREA.

Considérense ahora condiciones promedio sobre un ciclo de marea. Asumimos que en el límite entre dos segmentos adyacentes hay flujo de intercambio de agua, expresado como una razón de volúmen de flujo. Este se dirige desde el segmento de la izquierda hacia el segmento de la derecha. También existe un flujo de intercambio dirigido desde el segmento en la derecha hacia el segmento en la izquierda. Tal intercambio de flujos debe ocurrir obviamente durante diferentes porciones del período de marea a través de diferentes partes de la sección transversal. La probabilidad de que ocurran diferentes flujos promedio de marea en diferentes partes de la sección transversal ha sido ya sugerida a partir de nuestros estudios de corrientes observadas en la boca.

Este concepto del proceso de intercambio advectivo en ambos sentidos, es matemáticamente el mismo que el concepto de flujo advectivo unidireccional más el flujo difusivo causado por movimiento turbulento entre los dos segmentos. Asumimos que el flujo de intercambio desde el segmento en la izquierda hacia el segmento de la derecha transporta material (sal, contaminante, etc.), con la concentración promedio del segmento en la izquierda. También asumimos que el flujo de intercambio del segmento en la derecha hacia el segmento en la izquierda transporta material, también con la concentración promedio del segmento a la derecha. Entonces usamos la notación siguiente junto con la notación previamente descrita.

- $QIL(I,J)$ = Flujo de intercambio dirigido desde el segmento (I-1) al segmento I, el incremento de tiempo J.
 $QIR(I,J)$ = Flujo de intercambio dirigido desde el segmento (I+1) hacia el segmento I, al incremento de tiempo J.
 $S(I,J)$ = Salinidad promedio de segmento, para el segmento (I) al incremento de tiempo J.

entonces designamos:

$$(9) \quad SS(I,J) = \sum_{k=I}^N S(k,j) * V(k,j)$$

Esto es, la masa total de sal en la porción del estero desde el segmento (I) a la cabeza del estero, al mismo incremento de tiempo J.

$$(10) \quad DSVT(I,J) = (SV(I,J+1) - SV(I,J-1))/2.0 * DELT$$

es decir, la razón de cambio de volumen de la porción del estero desde el segmento (I) a la cabeza del estero, al paso de tiempo J.

$$(11) \text{ DSST}(I,J) = (\text{SS}(I,J+1) - \text{SS}(I,J-1))/2.0 * \text{DELT}$$

Esto es la razón de cambio en la masa total de sal en la proci6n del estero a partir del segmento (I) a la cabeza del estero, al paso de tiempo J.

La ecuaci6n de continuidad requiere para cada secci6n entre segmentos adyacentes:

$$(12) \text{ DSVT}(I,J) - \text{QIL}(I) - \text{QIR}(I-1) - \text{SQE}(I)$$

y, la ecuaci6n de balance de sal requiere:

$$(13) \text{ DSST}(I,J) = \text{QIL}(I) * \text{S}(I-1) - \text{QIR}(I-1) * \text{S}(I)$$

la soluci6n simultánea de esas ecuaciones da:

$$(14) \text{ QIL}(I,J) = \frac{\text{S}(I,J) * (\text{SQE}(I,J) + \text{DSV}(I,J) - \text{DSST}(I,J))}{(\text{S}(I,J) - \text{S}(I-1, J))}$$

$$(15) \text{ QIR}(I,J) = \text{QIL}(I+1,J) - \text{DSVT}(I+1,J) - \text{SQE}(I+1,J)$$

La figura 6 muestra una esquematizaci6n del balance del volúmen para una idealizaci6n del estero de Punta Banda.

Se interpolaron las salinidades promedio observadas por cada segmento para cada día de observaci6n. Para la interpolaci6n se us6 la funci6n spline para obtener valores de $\text{S}(I,J)$ para cada paso de tiempo. Las computaciones de la raz6n de evaporaci6n lineal E y el flujo de evaporaci6n sumado $\text{SQE}(I,J)$ han sido descritos previamente. Los otros parámetros involucran el uso del nivel medio de marea tal como es obtenido de las gráficas de mare6grafos y de datos batimétricos. Las ecuaciones (14) y (15) fueron entonces usadas para obtener valores de flujo de intercambio $\text{QIL}(I,J)$ y $\text{QIR}(I,J)$ por cada segmento para cada día del período de estudio. (1 al 20 de abril de 1977).

La figura 7 muestra la variaci6n de $\text{QIL}(I,J)$ con el número de segmento para el tercer día de computaciones. Otros días muestran variaciones similares y $\text{QIR}(I,J)$ también tiene valores similares. Estos valores difieren de $\text{QIL}(I+1,J)$ debido al flujo de evaporaci6n. Este es en general más pequeño que QIL en un orden de magnitud. Además se observa que los intercambios de flujo son muy pequeños en las porciones superiores del estero, en comparaci6n con los valores de las porciones más bajas.

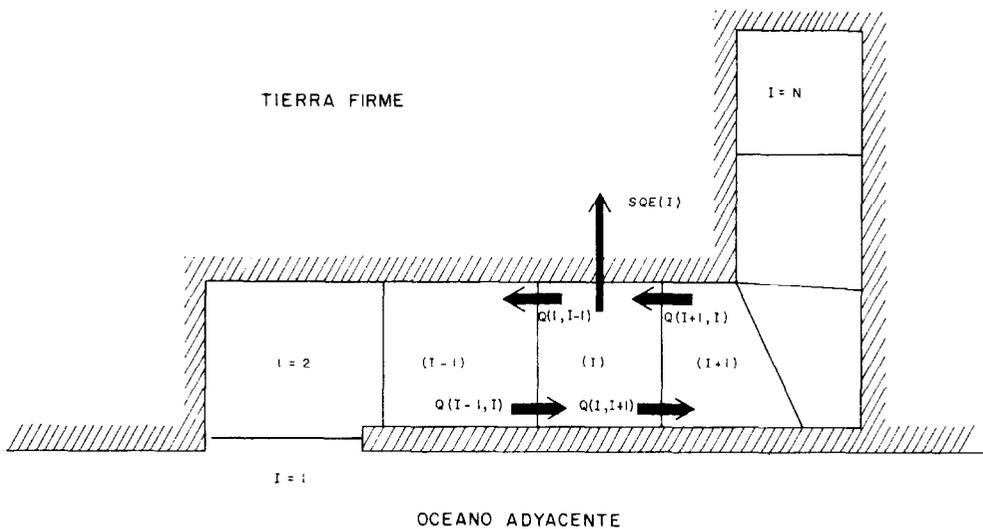


Figura 6. Esquematización del balance de volumen para una idealización del Estero de Punta Banda.

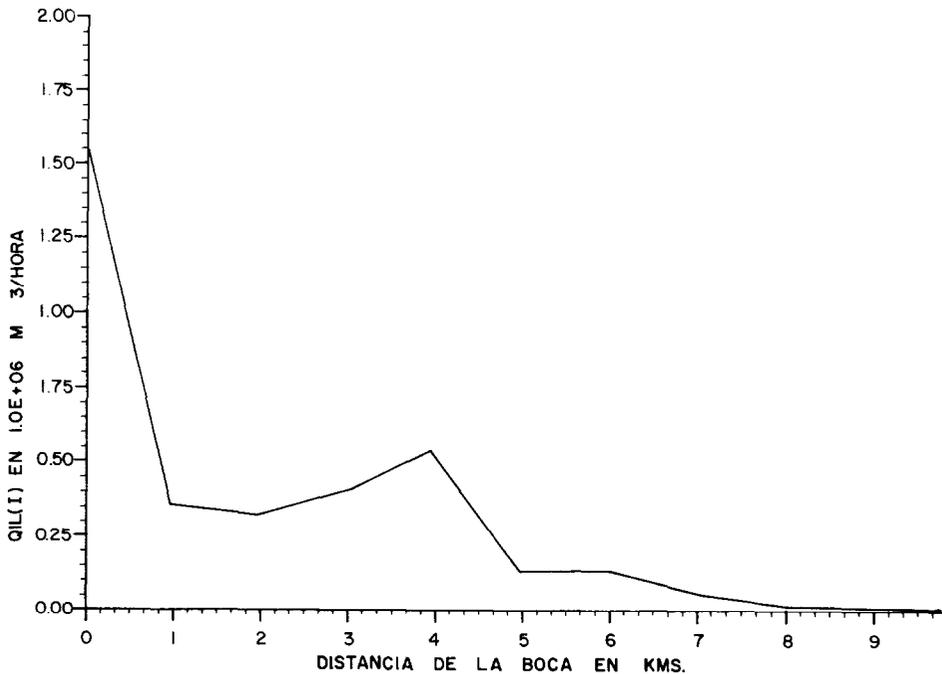


Figura 7. QIL(I) contra I para el tercer día de cálculos.

MODELO TRANSITORIO DE DISPERSION.

Considérese ahora la concentración de un contaminante, $Z(I,J)$ en el segmento I al tiempo J . La masa total de contaminante en ese segmento es igual a $Z(I,J) * V(I,J)$. La razón de cambio de masa del contaminante en el segmento será igual a: (1) La suma de los flujos de contaminante desde el segmento en la izquierda y del segmento a la derecha (o bien desde abajo o arriba, dependiendo del sentido de la esquematización del estero); (2) menos la suma de los flujos de contaminante fuera del segmento I hacia los dos segmentos adyacentes; (3) más el término de origen, $QF(I,J)$, el cual representa la razón de introducción de masa del contaminante al segmento de una fuente externa al estero, puede ser por ejemplo una descarga de agua; y (4) menos un término de pérdidas $QP(I,J)$, que representa la razón de pérdida de masa de contaminante del segmento debido a descomposición o adsorción a materiales de fondo.

Si designamos:

$$(16) \quad Q\phi(I,J) = QI(I+1,J) + QIR(I-1,J)$$

lo cual es la suma de los flujos de intercambio fuera del segmento I hacia los dos segmentos adyacentes al paso de tiempo J , entonces lo anteriormente establecido del balance de contaminante puede expresarse por:

$$(17) \quad \frac{\partial(V(I,J) * Z(I,J))}{\partial T} = QIL(I,J) * Z(I-1, J) + QIR(I,J) * Z(I+1,J) - Q\phi(I,J) * Z(I,J) + QF(I,J) - QP(I,J)$$

Existen varias formas de obtener una solución numérica a la ecuación anterior. Algunas son más estables que otras. También unas requieren más tiempo de computación que otras. El método más simple es por representación de diferencias hacia delante. Esta puede ser expresada como:

$$(18) \quad Z(I,J+1) = Z(I,J) * V(I,J/V(I,J=1)) + \frac{DELTA}{V(I,J+1)} + (QIL(I,J) * Z(I-1, J) + QIR(I,J) * Z(I+1, J) - Q\phi(I,J) * Z(I,J) + QF(I,J) - QP(I,J))$$

Este método tiende a volverse inestable a menos que se tomen pasos de tiempo muy pequeños. Existen también varios métodos de predicción-corrección para estabilizar la solución. Semejantemente algunos de los mejores son algo costosos en términos de tiempo de computación. Hemos visto que un método simple de predicción-corrección puede servir bastante bien para el tipo de gradientes temporales y espaciales encontrados

en el estero. Esta manera de enfocar el problema involucra considerar la solución de la ecuación (18) como una primera aproximación a $X(I, J+1)$. Designamos entonces:

$$(19) \quad Z(I, J+1/2) = 0.5 * (Z(I, J) + z(I, J+1))$$

y luego encontrar una segunda aproximación a $Z(I, J+1)$ usando un esquema de diferencias centrales expresadas por:

$$(20) \quad Z(I, J+1) = Z(I, J) * V(I, J)/V(I, J+1) + \frac{DELTA}{V(I, J+1)} * \\ (Q_{IL}(I, J) * Z(I-1, J+1/2) + Q_{IR}(I, J) * Z(I+1, J+1/2) - \\ Q_{\emptyset}(I, J) * Z(I, J+1/2) + Q_F(I, J) - Q_P(I, J))$$

Nótese que teóricamente esta solución sería más correcta si los términos de intercambio de flujo, de origen y pérdida fueran expresados para el tiempo $J+1/2$. Sin embargo, esos términos varían suficientemente despacio de manera que no se hace necesaria esa modificación. También, este sistema de aproximaciones sucesivas puede ser repetido hasta el incremento de tiempo en que dos aproximaciones sucesivas no difieran más que una cantidad preestablecida. El tamaño de los incrementos de tiempo deben ser suficientemente pequeños. Para el estero la solución parece estabilizarse con incrementos de tiempo de una hora.

La solución requiere ciertas condiciones iniciales y condiciones de borde. Para el caso de una descarga continua de contaminante en un segmento, digamos el segmento k , entonces $Q_F(I, J)$ será cero en cualquier parte excepto para $I=k$. La solución puede comenzar al tiempo inicial de descarga del contaminante. En este caso la concentración inicial, $Z(I, J)$ será cero. Si el contaminante fuera introducido como una sola fuente instantánea local dentro del segmento k entonces la condición inicial será que $Z(I, 1)$ igual a cero en cualquier parte excepto para $I=k$. En este segmento, $Z(k, 1)$ se asume que es igual a la masa del contaminante introducido dividida por el volumen del segmento k al tiempo de introducción. No esperamos que la solución sea válida durante la primera parte de la integración, ya que de hecho toma cierto tiempo para que el contaminante se mezcle dentro del volumen del segmento.

Independientemente del tipo de descarga, deben especificarse ciertas condiciones. Estas deben ser en ambos límites del estero, en la cabeza y la boca para cerrar la solución. Como el estero es cerrado en su parte interna, la solución debe estar completamente reflejada en ese límite. Esta condición se satisface en el modelo numérico asumiendo que un pseudo segmento existe en tierra adyacente a su límite más interno. Llamamos este segmento $N+1$. Se asume

también que la concentración en este pseudo segmento es igual a la concentración del segmento más interno. Esto es:

$$(21) \quad Z(N+1, J) = Z(N, J)$$

nótese también que todos los flujos a través de este límite deben ser cero. Entonces:

$$(22) \quad QIL(N+1, J) = QIR(N, J) = 0.0$$

esas condiciones se aplican para todos los valores de J, esto es para todos los tiempos.

En el límite hacia el mar debe hacerse otra consideración concerniente a la concentración en el primer segmento. Este es, el segmento en las aguas costeras adyacentes al estero. La situación en este límite abierto en la boca del estero puede ser establecida como sigue. El contaminante es transportado por procesos advectivos y difusivos a través de la boca hacia las aguas costeras adyacentes. Sin embargo solo en ciertos casos especiales puede ser considerado el océano como una fuente infinita de pérdida del contaminante. En el caso más general debe asumirse que algo del contaminante que alcanza el océano regresa al estero. Entonces el límite hacia el mar puede ser considerado como una frontera parcialmente reflexiva. La expresión numérica de esta condición es dada por:

$$(23) \quad Z(1, J) = R * Z(2, J)$$

donde \bar{R} es un coeficiente de reflexión el cual tiene un valor entre 0.0 y 1.0. Carter (1976) ha mostrado que la solución en el interior del estero es esencialmente la misma para \bar{R} variando en un rango de 0.25 a 0.75.

Este modelo fue usado para simular la descarga de un trazador de tinta fluorescente, introducido como una fuente instantánea y local. El trazador usado fue rodamina WT. La fuente instantánea estuvo compuesta por 1.92 kilogramos en peso seco del trazador. La descarga fue introducida en una posición cerca del punto en 'L' del estero, el 10. de abril de 1977. Esta tinta es muy estable en el agua de mar y por ello asumimos que el término de pérdida, $QP(I, J)$ en el modelo es cero durante los veinte días de simulación. Como el trazador fue introducido como una fuente instantánea, $QF(I, J)$ es también cero. Las condiciones iniciales son que $Z(I, 1) = 0.0$ para todos los segmentos excepto $I=q$. Para este segmento la concentración inicial del trazador se asume igual a 1.42 kilogramos dividido por el volumen del segmento en marea media.

El modelo fue usado en su forma no estable para calcular valores de flujos de intercambio con la salinidad y la razón de evaporación en el tiempo. Las variaciones observadas en el volumen de marea media del estero fueron del mismo orden que el límite de precisión en los datos. Ocurrió precipitación durante los días 2 y 3 de abril. La cantidad de

precipitación estuvo en el mismo orden que la razón de cambio en el volumen de marea media. La mejor aproximación entre la concentración de tinta calculada y observada fue obtenida cuando estos dos términos fueron deshechados en el modelo.

COMPARACION DE CONCENTRACIONES DE TINTA OBSERVADAS Y CALCULADAS

Se midió la fluorescencia emitida la rodamina WT. El aparato utilizado para estas observaciones en el campo fue un fluorímetro Turner III con puerta de flujo continuo. El equipo de muestreo fue construido de acuerdo al diseño de Chesapeake Bay Institute. Este equipo permitió muestreos continuos a profundidad predeterminada mientras el bote de investigación continuaba en movimiento. Los muestreos fueron hechos a lo largo del eje del estero de la boca a la cabeza y viceversa. Esto fue realizado durante once días, entre el 3 de abril al 20 de abril de 1977. En adición se realizaron mediciones a cada metro de profundidad en las estaciones de muestreo mostradas en la figura (1) del reporte presentado al Congreso, (Abril, 1978).

En la interpretación de las lecturas del fluorímetro a concentraciones de tinta fluorescente entran dos factores. Uno de estos es la calibración en el laboratorio de la respuesta del fluorímetro como función de una concentración conocida. El segundo factor es la lectura previa o antecedente del fluorímetro cuando hace pasar agua del estero sin concentración alguna de tinta. El valor de la lectura natural proviene de dos fuentes, la fluorescencia emitida por pigmentos de ocurrencia natural y la dispersión de la luz incidente en material suspendido. Las variaciones en tiempo y espacio de las lecturas naturales son un factor limitante para determinar la precisión con que puede ser medida la concentración de tinta. En este estudio estas variaciones originaron un incerteza en las mediciones de ± 0.03 ppb.

La intensidad de la fluorescencia para una concentración dada depende de la temperatura así como en la concentración misma. Se realizaron también mediciones de temperatura simultáneamente a las lecturas del fluorímetro y se usó el método de Carter (1974) para corregir estas lecturas por variaciones de temperatura a partir de la temperatura de calibración de 20°C.

Los datos de concentraciones de tinta fueron tratados en forma similar a los datos de salinidad para obtener concentraciones promedio por segmento en un ciclo de marea. La misma cantidad de tinta es perdida por la boca cada ciclo de marea entonces la cantidad de masa total de tinta en el estero debe decrecer con el tiempo. Esto fue usado para alisar las variaciones con tiempo en los datos dentro de los límites de incerteza descritos previamente.

HIDROGRAFIA FISICA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA: II

La figura 8, presenta para cada segmento una gráfica de las variaciones con tiempo de concentraciones observadas y calculadas. Excepto durante los primeros estadios del experimento en el segmento más interno la diferencia entre estos dos valores no excede del rango de incerteza en la determinación de la concentración de tinta a partir de lecturas del fluorímetro.

Entonces parece ser que un modelo simple cinemático unidimensional puede ser usado para calcular los flujos de intercambio y las variaciones con tiempo de la concentración promedio por segmentos de esteros similares al estero de Punta Banda.

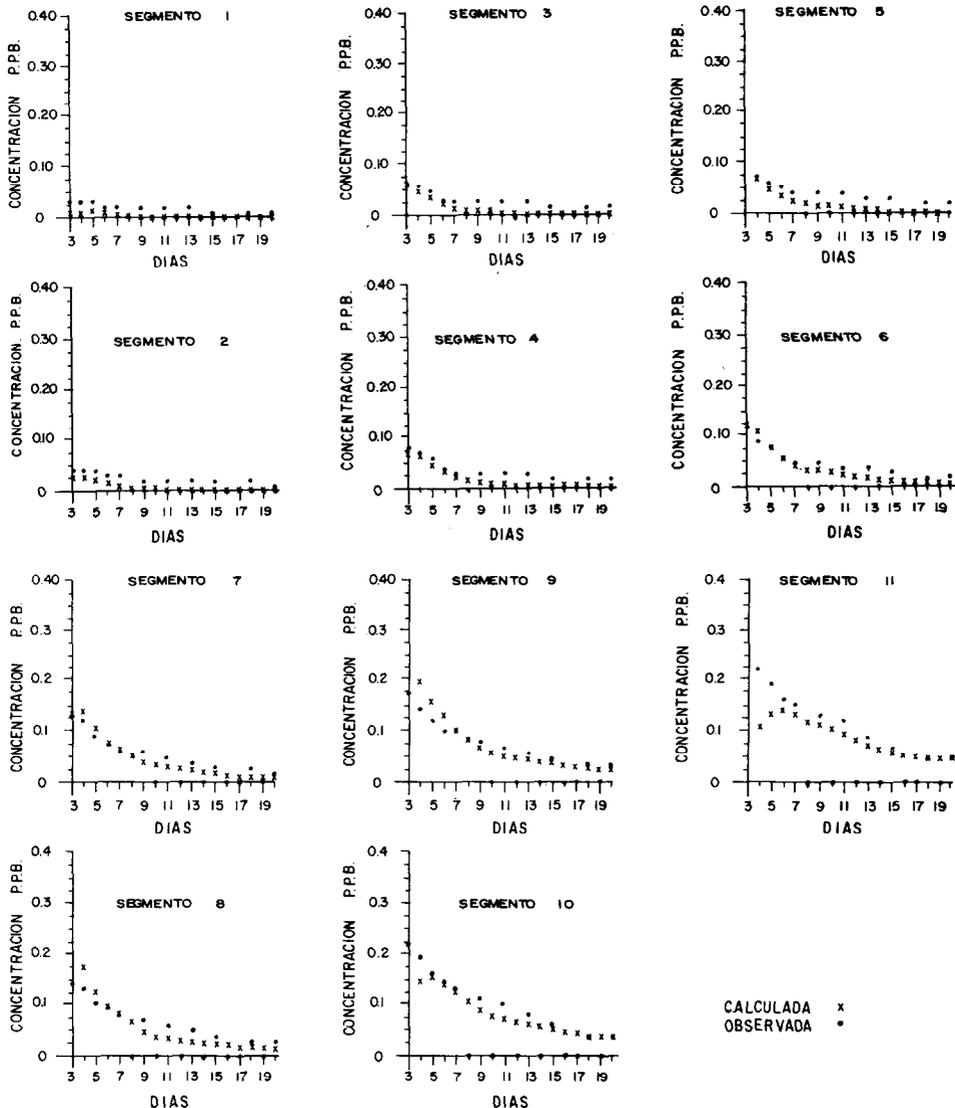


Figura 8. Concentraciones calculadas y computadas de tinta como función de tiempo para cada segmento.

BIBLIOGRAFIA.

Carter, H. H., 1974. The measurement of rodamine traces in natural systems by fluorescence rapp. P-V Reun Cons. Int. Explor. Mer. 167:193-200.

Carter, H. H., 1976. Simple one dimensional Kinetic model results for the Bush River and Romney Creek, Chesapeake Bay Institute Spacial Report 99, Baltimore Md. 37 p.

U.S. Geological Survey 1942. Studies an Evaporation: Lake Hafner Naval Electronics Laboratory, Washington D.C.

Recibido: octubre 11 de 1978.