

# un modelo para el régimen de intercambio dispersivo en el estrecho de Puntarenas<sup>1</sup>

LUIS MURILLO \*

## RESUMEN

*Se estudia el régimen de intercambio dispersivo causado por las mareas en el Estero de Puntarenas usando modelos de cajón sencillos. Se establece una teoría de mezclado que permite una descarga continua de agua dulce a lo largo del Estero. El canal principal se divide en cinco secciones con longitudes inferiores a las respectivas distancias de excursión de la marea para poder asumir con mayor certeza mezclado completo en cada sección. Las velocidades medias para cada sección toman valores que van de 11,6 cm/s. a 22,1 cm/s. Usando la teoría de O'Brian para la relación entre el área transversal del Estero y el prisma de marea se estima que el canal principal del Estero está estabilizado. Usando la salinidad y la teoría de mezclado continuo se estima la descarga neta de agua dulce para cada sección para el invierno de 1983. Se cuantifica el decaimiento de desechos pasivos y conservativos originados en descargas punto y continuas en las cinco secciones. Se estima un tiempo de permanencia de 60 horas para los desechos originados en descargas punto en todas las secciones. Luego de este tiempo las concentraciones se reducen a menos del 10<sup>0</sup>/o en cada sección. Matemáticamente el modelo se puede también expandir a casos en que los contaminantes decaen temporalmente de acuerdo con una reacción de primer orden.*

## INTRODUCCION

El Estero de Puntarenas está localizado en el interior del Golfo de Nicoya, Costa Rica. Tiene unos 8 Km. de largo, 604 metros de ancho y una profundidad media de 3 metros. Al estar el Estero

localizado al lado de la ciudad de Puntarenas, recibe una descarga municipal no tratada, distribuida, originada en alrededor de 50 000 habitantes. En su extremo interior sufre una descarga de desechos industriales originados en una fábrica de fertilizantes.

Es de gran interés conocer la capacidad de desagüe de este cuerpo de agua costero para su mejor administración y desarrollo. El presente trabajo utiliza **modelos de cajón** (*Box Models*) para cuantificar el **régimen de intercambio dispersivo** originado en las mareas. Existen complejos modelos numéricos que usan las ecuaciones de conservación de masa y momento para describir cuantitativamente los procesos físicos que intervienen en la dispersión causada por las mareas (Tracor, 1971). Su desarrollo es uno de los triunfos más significativos de la hidrodinámica costera de los últimos años. El autor ha usado dos de estos modelos en el Golfo de Nicoya en su totalidad (Murillo, 1981, 1983). Sin embargo, el uso de estos modelos requiere de gran cantidad de datos de mucha calidad y equipos de computación muy complejos. Estas características convierten a los modelos de cajón en la solución ideal para cuerpos de agua costeros pequeños como el Estero. Bien utilizados estos últimos modelos dan suficiente información para permitir cuidadosamente las descargas de contaminantes sin dislocar el delicado balance ecológico (Callaway, 1981).

En la presente investigación se desarrolla un modelo capaz de predecir los efectos en el mezclado de una descarga **distribuida** de agua dulce (no puntual como es asumido por los modelos desarrollados hasta la fecha), originada en los múltiples afluentes laterales que tiene el Estero de Puntarenas. El Estero se divide en varias secciones en las que se asume mezclado completo y se calcula para cada una de ellas la evolución temporal de las con-

1: Esta investigación fue posible gracias a la ayuda prestada por la Universidad de Costa Rica, su Vicerrectoría de Investigación y el Centro de Investigaciones Marinas (CIMAR).

\* M.S.c. Centro de Investigaciones Marinas, CIMAR, Universidad de Costa Rica.

centraciones de los contaminantes conservativos que se descarguen sin interactuar químicamente con la flora o la fauna del Estero. Se dan estimaciones para las condiciones de equilibrio para el caso de las descargas constantes.

**CONSIDERACIONES TEORICAS**

**Teoría de dilución.**

En esta investigación se asume que el Estero se compone de cinco secciones (j = 1,2,3,4 y 5), cuyos volúmenes v<sub>j</sub> corresponden a los volúmenes de las secciones cuando el nivel del mar se encuentra a la altura baja promedia<sup>2</sup>. El volumen de agua que trae consigo la marea y que lleva el nivel del agua de cada sección de su valor mínimo a su máximo valor se llama **prisma de marea** (p<sub>j</sub>) y se calcula para cada sección como el producto de su área horizontal (Ah) por la amplitud de la marea (A). Investigaciones anteriores (Murillo, 1981) demuestran que la amplitud de la marea en todo el Golfo de Nicoya se encuentra dominada por la componente armónica semidiurna (M<sub>2</sub>), que tiene un período (T) de 12,42 horas (44 700 segundos). Esto en el Estero redundo en un valor de la amplitud que es constante e igual a 2,3 m. (Su desviación estándar para datos horarios promediados mensualmente durante un año típico como 1978 es de 0,03 m). Luego, durante la marea menguante, el volumen p<sub>j</sub> sale de nuevo de la sección. Esta acción de flujo y reflujo de marea en el Estero es la que pretendemos modelar en esta investigación con modelos de cajón.

En cada sección el agua traída por la marea se mezcla turbulenta y **completamente** con el volumen remanente de bajamar (v<sub>j</sub>) y con el agua dulce descargada por los riachuelos (RT). Se define la razón de intercambio (r<sub>j</sub>) como la razón del volumen del prisma entre el volumen total de la sección incluyendo el agua dulce V<sub>j</sub>, o sea

$$r_{jv} = P_j / (p_j + v_j + RT_j) = p_j / V_j \tag{Ecuación 1}$$

$$V_j = p_j + v_j + RT_j \tag{Ecuación 2}$$

2: Según datos suministrados al autor generosamente por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. Los niveles del mar se basan en lecturas horarias hechas durante los años 1969-1978.

El parámetro RT<sub>j</sub> representa la descarga neta de agua dulce e incluye precipitación, evaporación y riachuelos, durante el período T de 12, 42 horas, en la sección j. Como condición inicial de esta teoría de dilución asumimos que la salinidad de la primera sección es cero y que, subsecuentemente, luego de un número infinito de períodos T, en que la marea trae consigo agua salada con salinidad S<sub>0</sub> y la mezcla con el volumen V<sub>j</sub>, se alcanza un equilibrio (*Steady State*) en el que la salinidad tiene su valor final S<sub>1</sub> (j = 1). Para el primer período tenemos, usando conservación de sal,

$$S_{1,1} = p_1 * S_0 / (p_1 + v_1 + RT_1) = r_1 * S_0$$

para el segundo período

$$S_{1,2} = (p_1 * S_1 + v_1 * S_{1,1}) / (p_1 + v_1 + RT_1) = r * S_0 + R_1 * S_0. \tag{Ecuación 3}$$

con R<sub>1</sub> = v<sub>1</sub> / V<sub>1</sub> < 1, en general R<sub>j</sub> = v<sub>j</sub>/V<sub>j</sub>

para el tercer período tenemos que:

$$S_{1,3} = r * S_0 + R * r S_0 + R^2 * r, \text{ con } r = r_1, R = R_1.$$

Siguiendo este procedimiento hasta el período equivalente a n + 1 obtenemos:

$$S_{1, n+1} = r * S_0 * (1 + R + R^2 + R^3 + ..... R^n); \tag{Ecuación 4}$$

pero como R < 1, la suma entre paréntesis converge a 1/(1 - R) y S<sub>1</sub> = ( r \* S<sub>0</sub>) / (1 - R)

Para la segunda sección asumimos la condición inicial S<sub>0</sub> = S<sub>1</sub>. El mismo algoritmo usado anteriormente para la sección 1 nos da para la sección 2 con la anterior condición inicial:

$$S_2 = (r_2 * S_1) / (1 - R_2) \text{ y para la } j - \text{va sección obtenemos similarmente:}$$

$$S_j = (r_j * S_{j-1}) / (1 - R_j) \tag{Ecuación 5}$$

Según la figura No. 1, j = 1 en la boca del

Estero y  $j = 5$  en su extremo interior (Chacarita de Puntarenas).

**DESCARGAS DE AGUA DULCE**

Para cada sección la ecuación 5 da un método para calcular las descargas de agua dulce, pues substituyendo la ecuación 2 se obtiene:

$$S_j = (r_j / (j - R_j)) * S_j - i = (p_j / (p_j + RT_j)) * S_{j-1}$$

Ecuación 6

de donde se despeja:  $(P_j / (P_j + RT_j))$

$$RT_j = p_j * ((S_{j-1} - S_j) / S_j)$$

Ecuación 7

**Intercambio dispersivo**

Así como las mareas mezclan el agua dulce con el agua salada dando un perfil longitudinal de salinidad resultante, así también las mareas mezclarán cualquier contaminante que se descargue en el Estero. Los siguientes argumentos se proponen para el caso más crítico en que  $RT_j$  sea igual a cero en todas las secciones ( $j = 1, 2, 3, 4$  y  $5$ ). Los resultados así obtenidos serán pues bastante conservativos en vista de que las descargas de agua dulce en el invierno pueden alcanzar el 33% del volumen del prisma para algunas secciones (ver cuadro No. 3). Claro está que introduciendo los valores  $RT_j$  particulares de cualquier época del año, se podrán hacer los cálculos correspondientes más exactamente sin dificultad alguna. Para esto servirá la ecuación 7.

**DESCARGA PUNTUAL**

Si la descarga se ejecuta una sola vez y en un solo lugar la llamamos **descarga puntual**. Sea  $M_o$  la descarga puntual en la sección  $j$  durante el período  $T$ . Entonces la concentración inicial resultante en la sección ( $C_j$ ) será igual a:

$$C_{j,o} = M_{j,o} / V_j \text{ ó } C_o = M_o / V$$

con

$$C_{j,o} = C_o; M_{j,o} = M_o \text{ y } V_j = V.$$

Luego del segundo período la masa neta remanente del contaminante conservativo será:

$$M_1 = M_o - p * C_o = M_o * (1 - (p/V)), \text{ p} = p_j.$$

Luego del tercer período:

$$M_2 = M_1 - p * C_1 = (1 - (p/V)) * (1 - (p/V)) * M;$$

luego del período equivalente a  $n + 1$

$$M_n = (1 - r)^n * M_o$$

Ecuación 8

y

$$C_n = (M_n / V) = (1 - r)^n * C_o$$

Ecuación 9

**DESCARGA CONTINUA**

Si la descarga de contaminantes se realiza continuamente en el tiempo, a una razón de  $M_o/T$  luego del segundo período subsecuente:

$$M_1 = M_o - p * C_o + M_o \text{ y } C_1 = M_1 / V.$$

Luego del tercer período:

$M_2 = M_1 - p * C_1 + M_o$ , y así sucesivamente. Para el período correspondiente a  $n + 1$  obtenemos:

$$M_n = M_{n-1} + M_o - p * C_{n-1}$$

Ecuación 10

y

$$C_n = C_o + (1 - r) * C_{n-1} = C_o + q * C_{n-1},$$

Ecuación 11

$$q = 1 - r.$$

Esta relación recursiva la utilizamos para encontrar nuestra condición de equilibrio final (*steady state*). Substituyendo 10 y 11 se llega, luego de poca álgebra, a:

$$M_n = M_o * (1 + q + q^2 + \dots + q^{n-2}) + M_o * (2 - \frac{p}{V}) * (1 - \frac{p}{V})^{n-1}$$

En el caso límite, cuando  $n$  se hace muy grande, como  $q < 1$ , la suma en  $q$  converge a  $1 / (1 - q)$  y

$$M_n = M_{final} = M/(1-q) = M_o * (V/p) = M_o/r. \quad \text{Ecuación 12}$$

Similarmente,

$$C_{final} = C_o * (V/q) = C_o/r \quad \text{Ecuación 13}$$

**DESCARGAS NO CONSERVATIVAS**

En el caso de que las sustancias descargadas en el Estero decaigan temporalmente de acuerdo con una reacción química global de primer orden, la masa remanente en cada sección se deberá multiplicar por el factor de decaimiento temporal (FDT). Este se puede calcular suponiendo que el decaimiento se lleva a cabo independientemente de la acción dispersiva de las mareas. Sea la relación

$$dM/dt = -K * M, \text{ entonces } M(t) = M_o * \exp(-K * t), \text{ o sea, el factor FDT es:} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\text{FDT} = \exp(-K * t). \quad \text{Ecuación 15}$$

El factor FDT se deberá calcular por separado para cada uno de los contaminantes descargados y aplicar multiplicativamente al gráfico de la figura No. 2 o a las ecuaciones 8, 9, 12 y 13.

**APLICACION DEL MODELO**

**Segmentación del estero**

El Estero de Puntarenas se divide en cinco secciones, cada una con longitud variable e inferior a la correspondiente distancia de excursión de la marea (ver figura No. 1 y cuadros No. 1 y 2). Las distancias de excursión de la marea se calculan mediante:

$$X_j = v_j * (T/2), T = 44\ 700 \text{ segundos,} \quad \text{Ecuación 16}$$

donde  $v_j$  es la velocidad media en el extremo occidental de cada sección. La velocidad media se calcula de acuerdo con:

$$V_j = (P_j * 2) / (xA_j * T) \quad \text{Ecuación 17}$$

con

$$P_j = \sum_j^5 P_i \quad \text{Ecuación 18}$$

$P_i$  : prisma de marea de la sección  $i$

$xA_j$  : área transversal de la sección  $j$ .

Los prismas de marea se calculan de acuerdo

$$p_j = Ah * A, \quad \text{Ecuación 19}$$

donde

$Ah$  : área horizontal de la sección (nivel medio de marea) y

$A$  : amplitud de la marea (2,31 m) <sup>3</sup>

Las velocidades máximas (Cuadro No. 2) se calculan de acuerdo con

$$V_{j,max} = (P_j * \pi) / (xA * T) \quad \text{Ecuación 20}$$

En la ecuación 20 se usó el hecho de que la velocidad de la marea varía sinusoidalmente con el tiempo (Murillo, 1981) de acuerdo con:

$$v = V_{max} * \text{sen}((2/T) * t) \quad \text{Ecuación 21}$$

**Descargas de agua dulce**

Usando la ecuación 7 podemos calcular las descargas de agua dulce. En el cuadro No. 3 se encuentran los resultados obtenidos para el mes de octubre de 1982 ( $S_o = 29\text{‰}$ ). Los valores indicados en el cuadro para la salinidad son promedios verticales. La estación 1 se usa como función de entrada para iniciar los cálculos.

Es notable que la descarga neta de agua dulce aumenta paulatinamente desde la sección 5 hasta la sección 3, para disminuir en la sección 2 y volver a aumentar levemente en la sección 1. Esto se explica notando el menor número y tamaño de los riachuelos que descargan en las secciones 2 y 1. Desde luego que estos cálculos pueden hacerse para otros meses y otras condiciones diferentes de salinidad

3: De acuerdo a los datos suministrados por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica para el año típico de 1978.

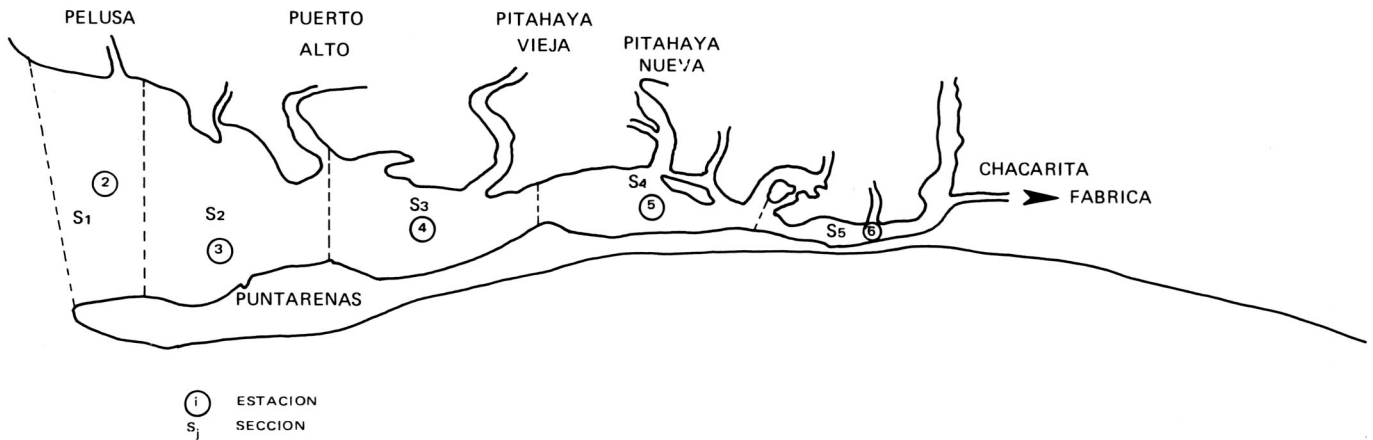


FIGURA N<sup>o</sup>. 1 Estero de Puntarenas

CUADRO No. 1.

Sección j	Profundidad media (a) h (metros)	Anchura media (a) b (metros)	Prisma de marea P <sub>j</sub> (metros <sup>3</sup> )	Volumen en bajamar v <sub>j</sub> (metros <sup>3</sup> )	Razón de intercambio r <sub>j</sub>	Tiempo de resistencia t <sub>j</sub> = T / r <sub>j</sub> (horas)
1	2,24	1125	5,54 x 10 <sup>6</sup>	5,38 x 10 <sup>6</sup>	0,50	24,8
2	2,11	813	4,62 x 10 <sup>6</sup>	4,22 x 10 <sup>6</sup>	0,52	23,6
3	2,20	513	2,85 x 10 <sup>6</sup>	2,71 x 10 <sup>6</sup>	0,51	24,2
4	1,31	375	1,99 x 10 <sup>6</sup>	1,13 x 10 <sup>6</sup>	0,64	19,5
5	1,28	195	0,828 x 10 <sup>6</sup>	0,46 x 10 <sup>6</sup>	0,64	19,3
Totales	1,83	604	15,83 x 10 <sup>6</sup>	13,9 x 10 <sup>6</sup>	0,53	23,33

(a) Con respecto del nivel de alturas del agua en bajamar.

(2) Promedio de valores horarios para el año de 1978.

(1), (2) Los cálculos se hicieron basándose en datos de amplitud de marea suministrados al autor por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica. Se usó el nivel de referencia de 1,4 m bajo el nivel medio del mar (Bajamar de Sicigias).

CUADRO No. 2

SECCION	Area transversal xA = h * b (m <sup>2</sup> )	Velocidad media P <sub>j</sub> * 2 / T * xA (cm / s.)	Velocidad máxima v * π/2 (cm / s.)	Distancias de excursión medias X <sub>j</sub> (Km)
1	2,52 x 10 <sup>3</sup>	14,1	22,1	3,2
2	1,72 x 10 <sup>3</sup>	13,4	21,0	3,0
3	1,13 x 10 <sup>3</sup>	11,2	17,6	2,5
4	0,49 x 10 <sup>3</sup>	12,9	20,2	2,9
5	0,25 x 10 <sup>3</sup>	7,4	11,6	1,7

NOTA: Cálculos hechos para el canal principal. Los cálculos se basan en datos suministrados al autor por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica para el año 1978. Las amplitudes de marea se tomaron en el Muelle Viejo de Puntarenas cada hora.

**Capacidad de descarga crítica**

**DESCARGA PUNTUAL**

La ecuación 8 nos dice que:

$$M_n = (1 - r)^n * M_o, \text{ por lo tanto}$$

$$M_n - M_{n-1} = -(1-r)^{n-1} * M_o, \text{ Ecuación 22}$$

durante  $t = T$ . En una escala de semanas lo anterior se puede aproximar como:

$dM/dt = -(\text{coef}) * M$ , lo que corresponde a una disminución exponencial de la masa remanente. El coeficiente de decaimiento será:

$$\text{coef} = (1 - r)^{n-1} * r, \text{ Ecuación 23}$$

Es claro que cuando el número de períodos  $n$  crece indefinidamente, en nuestro caso luego de varias semanas, la masa remanente  $M_n$  tenderá a cero. La figura No. 2 grafica este comportamiento de  $M_o$  para  $r_1 = 0,50$  y  $r_5 = 0,64$  (los coeficientes de intercambio de las secciones 1 y 5 respectivamente). En el gráfico se puede notar que, para todas las secciones, la masa de contaminante pasivo decaerá a menos de la mitad de la cantidad inicial luego del primer período de 12,4 horas, en condiciones críticas y sin reincidencia del contaminante descargado.

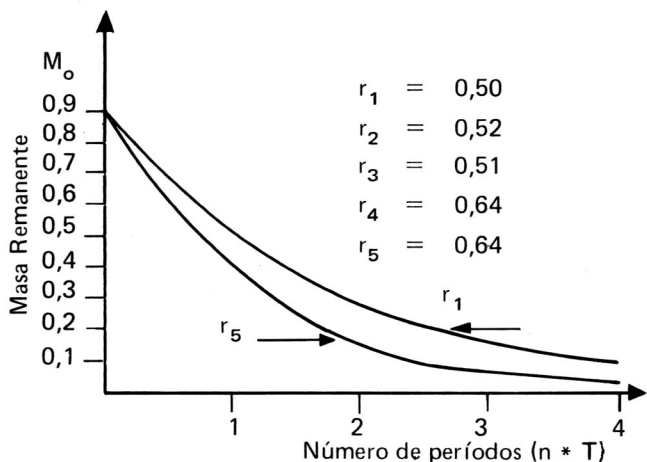


FIGURA No. 2 Relación masa remanente/descarga puntual.

**DESCARGA CONTINUA**

Cuando la descarga es contínua en una de las

secciones del Estero, las ecuaciones 12 y 13 nos dan las condiciones existentes en el estado de equilibrio cuando las condiciones de descarga de agua dulce son críticas. Como el Estero de Puntarenas posee coeficientes de intercambio tales que sus valores se encuentran entre 0,5 y 0,64, notamos que la cantidad acumulada será aproximadamente el doble de la descarga inicial en cada sección. Es decir, cualquier cantidad de contaminante descargado a una razón de  $M_o/T$ , se acumulará en la sección del Estero hasta alcanzar una concentración media igual a:

$$C_f = (1/r) * (M_o/V) = (1/r) * C_o = (1,6 - 2) * C_o$$

Las concentraciones de las secciones restantes se podrán calcular usando la ley de la conservación de contaminante (multiplicado por el FDT en caso de decaer con el tiempo) según:

a- Si la sección se encuentra hacia el mar del punto de descarga, entonces, en condiciones de equilibrio:

$$P_j * C_j + (RT_j) * C_j - P_j * C_{j-1} = M_o, \text{ Ecuación 24}$$

con  $M_o$  como la masa neta de contaminante transportada hacia el mar durante el período  $T$  (que deberá ser la misma para todas las secciones e igual a la masa neta descargada durante el tiempo  $T$ ). Para las condiciones críticas  $RT = 0$ , de la ecuación 24 deducimos:

$$C_{j-1} = C_j * ((P_j + RT_j) / P_j) - (M_o/p_j)$$

Esta última ecuación, con la ayuda del Cuadro No. 3 para el mes del año de que se trate, nos dará un estimado de la distribución de concentraciones.

Debido a la gran capacidad de desagüe del Estero ( $r_j$  siempre mayores que 0,5), el equilibrio se alcanzar  luego de unos pocos períodos (5-6). El error cometido al asumir que el equilibrio se alcanza en el quinto período se puede estimar revisando los argumentos que llevaron a la ecuación 13. En efecto, el resto de la serie convergente se puede escribir como:

$$R_n = M_o (q^{n-1} / (1-q)) + M_o * (2-(p/v)) * (1-(p/v))^{n-1} \text{ Ecuación 25}$$

de donde,

$$\frac{R_n}{\frac{M_o v}{p}} = \frac{R_n * p}{M_o * v} = (1 - \frac{p}{v})^{n-1} + (2 - \frac{p}{v}) * (1 - \frac{p}{v})^{n-1} * \frac{p}{v}$$

CUADRO No. 3.

SECCION	S <sub>J-1</sub>	S <sub>j</sub>	RT <sub>j</sub> (Octubre de 1983)
1	29,0	25,5	0,76 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
2	25,5	22,25	0,675 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
3	22,25	17,00	0,880 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
4	17,00	13,00	0,612 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
5	13,00	9,75	0,276 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

NOTA: Las salinidades se dan en partes por mil. Los datos fueron obtenidos con un salinómetro JSI modelo 33 usado en la investigación No. 02-07-14-20 del Centro de Investigaciones Marinas (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica.

Quando calculamos las concentraciones del estado de equilibrio, como  $0,5 \leq p/v \leq 0,64$ , el error cometido al asumir que el equilibrio se alcanza en  $n = 4$  (quinto período) estará comprendido

entre 8,7% ( $r = .64$ ) y 22% ( $r = 0,5$ ). Claro está que como RT generalmente no es cero, las concentraciones decaerán aún más rápidamente.

b- Si la sección se encuentra hacia el interior del punto de descarga, utilizando el argumento que nos llevó a la ecuación 7 pero ahora para el contaminante, obtenemos:

$$C_j = (P_j/p_j + RT_j) * C_{j-1} \tag{Ecuación 26}$$

para el caso crítico  $C_j = C_{j-1}$ , lo que concuerda con los cálculos de otros investigadores (Kuo, 1976).

### El criterio de estabilidad de los canales principales

Usando los datos del cuadro No. 2 para el prisma de marea y el área transversal de la sección 1 podemos predecir la relativa estabilidad de los canales del Estero puntarenense. Usando la teoría de O'Brian (O'Brian, 1969) construimos la figura No. 3. Tradicionalmente este tipo de cálculo se ha hecho en pies según el sistema inglés de unida-

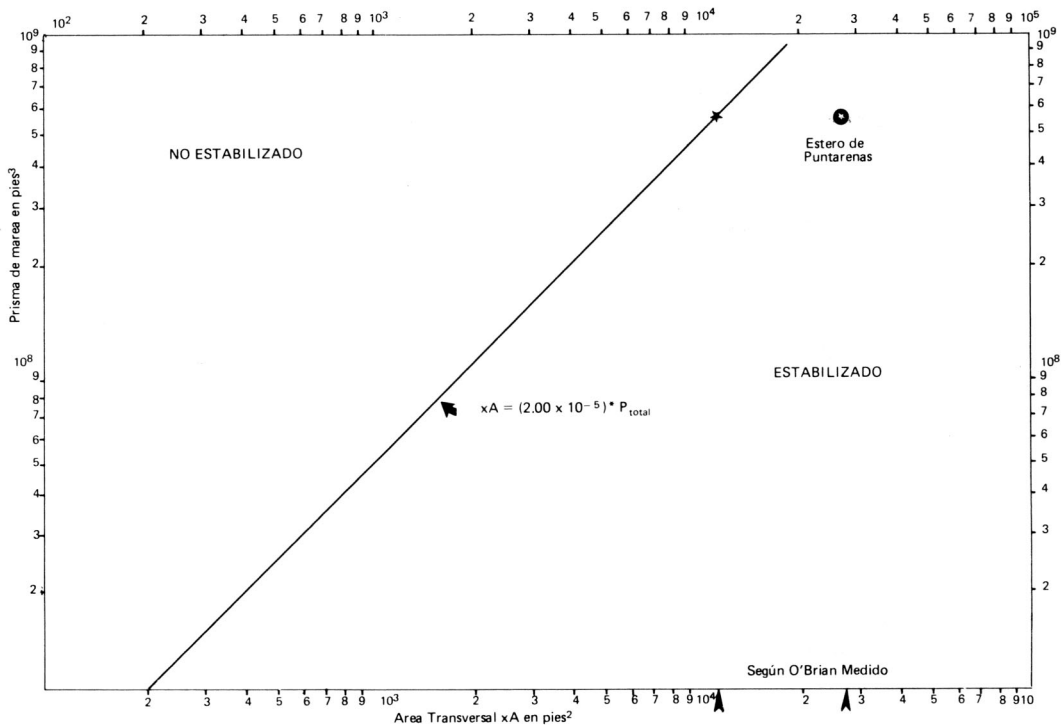


FIGURA No. 3. El criterio de estabilidad de O'Brian.

des, así que aquí se han reducido los valores requeridos del cuadro No. 2 a pies. Las ensenadas como el Estero, que se encuentren a la derecha de la curva de equilibrio de O'Brian, serán estables. Como el Estero se encuentra protegido de la actividad del oleaje no hemos corregido los cálculos respecto a la energía del oleaje. Como la variabilidad anual de del prisma es casi nula (existe una variación máxima del 6,50/o) la condición de estabilidad de la batimetría del Estero es válida durante todo el año.

### CONCLUSIONES FINALES

Se presenta un modelo de gran utilidad para cuantificar la capacidad de desagüe del Estero de Puntarenas y medir indirectamente las descargas de agua dulce. El modelo puede aplicarse a cualquier otro cuerpo de agua similar en cualquier época del año. Las aplicaciones posibles incluyen demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, desechos industriales pasivos, nitratos, fosfatos, amoníaco y algunos pesticidas.

### LITERATURA CONSULTADA

1. Callaway, R. J. *Flushing Study of South Beach Marina, Oregon*. **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division**. ASCE. Vol. 107 (WW2), proc. paper 16277, p: 47-58, may, 1981.
2. Ketchum, B.H. *The Exchanges of Fresh and Salt Waters in Tidal Estuaries*. **Journal of Marine Research**, vol. 10 (1), p: 18-38, February, 1951.
3. Ketchum, B.H. *The Flushing of Tidal Estuaries. Sewage and Industrial Wastes*. Vol. 23 (2), p: 198-209, July, 1951.
4. Kuo, A.Y. *A Model of Tidal Flushing for Small Coastal Basins*. **EPA Proceedings of the Conference on Environmental Modeling and Simulation**, proc. paper 600/9-76-016, p: 543-547, April 1976.
5. Murillo, LM. *Modeling Tidal Hydrodynamics and Dispersion in the Gulf of Nicoya, Costa Rica*. Thesis Corvallis: Oregon State University, 1981.
6. Murillo, LM. *Un Modelo Matemático para la Dispersión de las Mareas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica*. **Tecnología en Marcha**. Vol. 5 (4), ene. mar, 1983.
7. O'Brian, M.P. *Equilibrium Flow Areas of Tidal Inlets on Sandy Coasts*. **Journal of the Waterways and Harbour Division**. ASCE. Vol. 95 (WM), proc. paper 6405, p: 43-52, February 1969.
8. Peterson, C.L. *The Physical Oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a Tropical Estuary* (La Oceanografía Física del Golfo de Nicoya; Costa Rica; un Estero Tropical). **Boletín de la Comisión Interamericana de Atún Tropical**. Vol. 4 (4), p: 139-216, 1960.
9. Slotta, L. *Tang, S.S. Chetco River Tidal Hydrodynamics and Associated Marine Flushing. Final Report*. Corvallis: Oregon State University. Ocean Engineering Program, School of Engineering, 1976. pp 1-55.
10. Tracor Inc. **Estuarine Modeling: Assesment, Water Pollution Control Research Series, 16070 D2V 02/71**, Washington: Environmental Protection Agency, 1971.