

## DISTRIBUCION ESPACIO-TEMPORAL DE LA SALINIDAD Y LA TEMPERATURA EN LA PARTE INTERNA DEL GOLFO DE NICOYA

Omar G. Lizano y J. A. Vargas\*

**S**e realizó un estudio de la distribución de la temperatura y la salinidad en la parte interna del Golfo de Nicoya a lo largo de un año. Se presentan los resultados de estos análisis en la superficie y fondo, para los dos ciclos de marea, y para las dos estaciones del año. Se encuentra que la dinámica de la parte interna del golfo continúa siendo gobernada por la descarga de los ríos que desembocan en él. Comparaciones con los resultados de investigaciones anteriores podrían indicar cambios en la dinámica del Golfo de Nicoya.

### INTRODUCCION

El Golfo de Nicoya es el estuario más importante en la costa Pacífica de Costa Rica, del cual se extraen gran cantidad de recursos marinos. Además de la excesiva explotación pesquera, el golfo está sometido a crecientes tensiones ambientales debido a las descargas de contaminantes de la actividad agrícola en las riberas del mayor contribuyente de agua dulce en su parte interna y al creciente desarrollo urbano e industrial en la zona.

El Golfo de Nicoya es un cuerpo de agua pequeño que se extiende 80 kilómetros al norte desde el Pacífico hacia la boca del Río Tempisque. Por su forma y su batimetría puede ser dividido en dos regiones distintas: parte interna del golfo, rodeado por zonas de manglar y con una profundidad menor de 20 metros, y la parte externa del golfo separado por un angosto paso entre San Lucas y Puntarenas. Esta

parte inferior se hace más profunda y ancha conforme se dirige mar afuera, como muestra la Figura 1A.

El primer estudio comprensivo sobre el Golfo de Nicoya fue realizado por Peterson en 1958, quien describió la variación estacional de las propiedades del agua como: temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto. El muestreo fue realizado longitudinalmente, a lo largo del eje del estuario. No se muestreó transversalmente. Peterson (1958) concluyó que el Golfo podría ser considerado como un sistema estuarial clásico manejado por la variación anual de la descarga de los ríos. Esto es, durante la estación lluviosa en la parte externa del Golfo se forma un flujo superficial mar afuera, el cual debe ser compensado por una aportación de agua salina fluyendo hacia la boca del estuario en los niveles más profundos. Según Peterson (1958) durante esta estación lluviosa, el Golfo es altamente estratificado y se desarrollan fuertes gradientes horizontales de salinidad y temperatura. Cuando la descarga de los ríos es pequeña, al final de la estación lluviosa, los vientos y la marea destruyen la estratificación y los gradientes horizontales de salinidad y temperatura, haciendo que el golfo se vuelva una entrada de mar más bien pasiva (Peterson, 1958).

Dado que en el estudio de Peterson (1958) no fueron hechas medidas de corrientes, no fue posible conocer la forma

\* Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

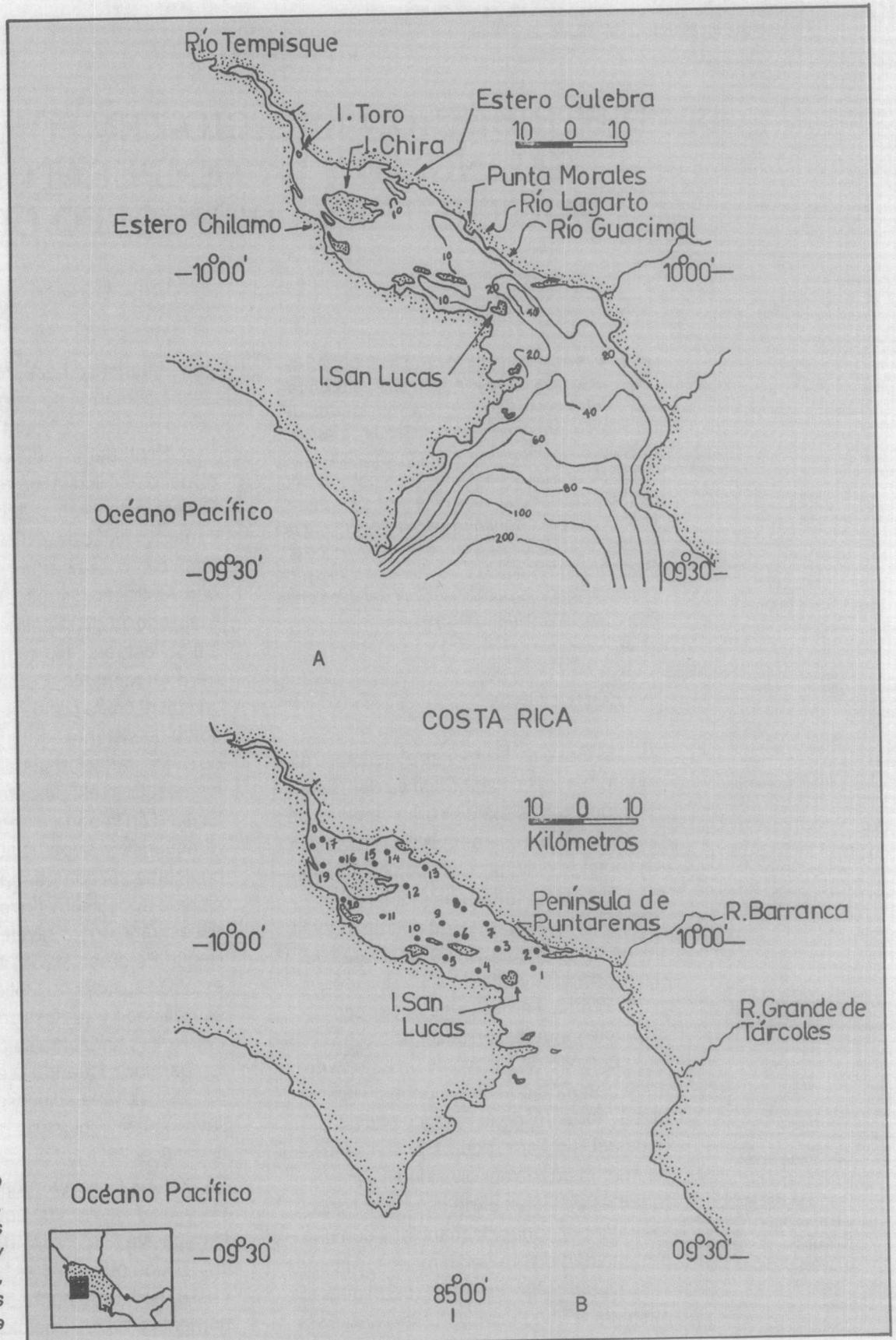
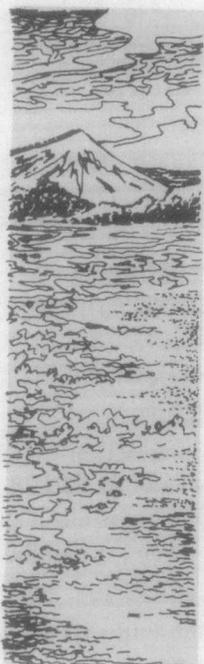


FIGURA 1. Golfo de Nicoya; A, características geográficas y estratigráficas; B, ubicación de las estaciones de estudio.



y cantidad en que era agregada o removida la sal y otros materiales dentro del Golfo. Por ello se realizó un nuevo estudio para caracterizar mejor este estuario. De esta manera Voorhis *et al.* (1983) consideran al Golfo como un estuario positivo (Pritchard, 1952), con una asimetría este-oeste de las propiedades del agua en la parte externa. Esta asimetría es producida por la descarga de agua dulce a lo largo del borde este del Golfo por los ríos Barranca y Tárcoles. El agua salobre desde la parte interna del Golfo se combina con la descarga de estos ríos y fluye hacia el sur a lo largo de su lado este en la parte externa del Golfo. Este flujo es compensado por un flujo hacia el norte de agua más salina por el lado oeste en toda la columna de agua, y por el fondo sobre el lado este.

Estudios sobre la marea en el Golfo de Nicoya (Murillo, 1981; Gutiérrez, 1990) indican que la componente dominante es la lunar semidiurna ( $M_2$ ), con un período de 12,4 horas y una amplitud promedio de 2,8 metros. La marea es manejada directamente por la marea oceánica externa (co-oscilante), pero su dirección y amplitud son determinadas por la forma y batimetría del Golfo (Voorhis *et al.*, 1983).

Otros estudios se han realizado en el Golfo de Nicoya con el propósito de obtener más información sobre las características físicas de sus aguas. Klemas (1981) y J. M. Jaquet (Kapetsky *et al.*, 1987) realizaron estudios de percepción remota en la parte externa del Golfo. Klemas (1981) dio énfasis al área donde desemboca uno de los mayores contribuyentes del agua dulce y una de las fuentes de mayor contaminación para el Golfo; el Río Grande de Tárcoles. Murillo (1983) estudió la capacidad asimilativa del Golfo ante las descargas de contaminantes, y también Murillo (1990) realizó una simulación de corrientes de marea en el Golfo mediante un modelo numérico.

La mayoría de estos estudios se han centrado en caracterizar principalmente la

parte externa del golfo, describiendo la distribución lateral de los parámetros físico-químicos, —como en el trabajo de Voorhis *et al.* (1983)—, o la distribución longitudinal de estos parámetros, —como en los trabajos de Peterson (1958) y Valdez *et al.* (1987)—. Este estudio representa el complemento de los trabajos anteriores por cuanto se suministra por primera vez, información sobre la temperatura, en la parte de mayor variación (entre Isla Chira y la depresión San Lucas-Puntarenas).

Los resultados de este estudio serán de gran utilidad para el desarrollo de proyectos en acuicultura y pesquería en el Golfo y como apoyo en los proyectos de investigación que se realicen en la zona.

## MATERIALES Y METODOS

Durante el período comprendido entre octubre de 1989 y noviembre de 1990 se realizaron mediciones de salinidad y temperatura en aproximadamente 20 estaciones en la parte interna del Golfo de Nicoya, mediante 20 cruceros oceanográficos (Figura 1B).

El muestreo fue dividido en dos partes: la parte más interna, comprendida entre Punta Morales e Isla Toro (Figura 1B, estación 10 a la 20), y la región comprendida entre Punta Morales y Puntarenas (estación 1 a la 6). Cada una de éstas regiones fue muestreada alrededor del mismo tiempo del ciclo de marea, y en días consecutivos, de tal forma que los datos pudieran correlacionarse y tener así una distribución semisinóptica de los parámetros físicos.

Perfiles de salinidad y temperatura fueron obtenidos en la columna de agua utilizando un instrumento electrónico: "Set Data Logger" (SDL) de la Csiro Instruments Inc, con capacidad para determinar salinidad, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto y pH del agua. Una



microcomputadora portátil Toshiba TR-80 fue utilizada como puente de comunicación con el SDL.

Se realizaron muestreos de anclaje al este de Isla Chira y en la depresión San Lucas-Puntarenas (estaciones 12 y 1) durante medio ciclo de marea para estudiar la variación temporal de los parámetros físicos, durante los ciclos de marea y durante las dos estaciones del año.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Estación seca

Durante la marea baja se genera un fuerte gradiente de salinidad al noreste de Isla Chira, producido por la mezcla de agua dulce descargada por el Río Tempisque y el agua más salada y densa que penetra a través de la depresión San Lucas-Puntarenas. Cambios en salinidad de hasta 10 g/kg se generan en una distancia relativamente corta (7 kilómetros) siguiendo al noroeste de Isla Chira (Figura 2).

Durante este ciclo de marea se encuentra un mezclado total en la columna de agua (superficie-fondo), como se nota comparando la Figuras 2 y 3. Muestreos de anclaje al este de Isla Chira evidencian la poca estratificación de estas aguas y una muy lenta variación temporal, en al menos, medio ciclo de marea. Durante esta época del año, la poca descarga de agua dulce sobre esta zona, y como señala Peterson (1958), la gran amplitud de marea y los fuertes vientos, destruyen la estratificación en el Golfo y lo convierte más bien en un estuario pasivo.

En la marea alta hay más penetración del agua más salina desde afuera del Golfo, generándose siempre un gradiente de salinidad en superficie, más débil en comparación con la marea baja, alrededor de Isla Chira (Figura 4). A diferencia de la marea baja, durante este ciclo sí se encuentra en esta región, una estratificación

en la columna de agua, como lo muestran las Figuras 4 y 5, nótese que en la parte más externa del Golfo se da un mayor mezclado y casi desaparece la estratificación en la columna de agua.

Durante estos dos ciclos de marea es evidente también, la asimetría del frente de salinidad a lo largo del eje del Golfo, al noreste de la Isla Chira, siendo mayor al norte, que con respecto al sur.

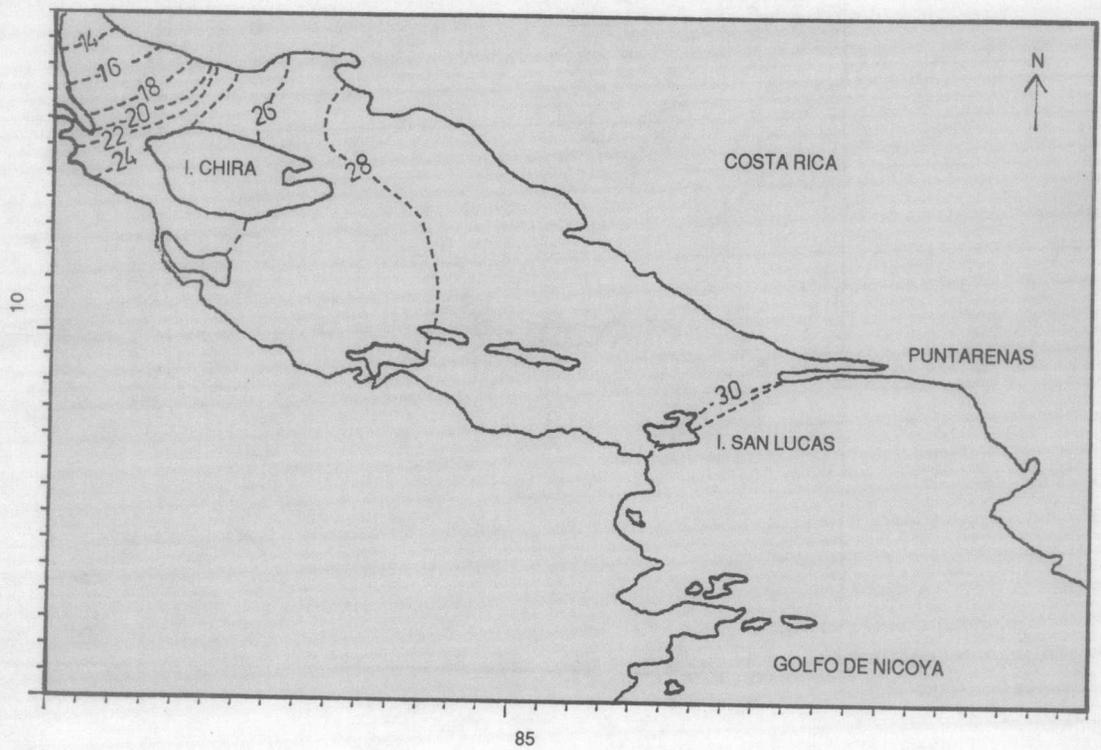
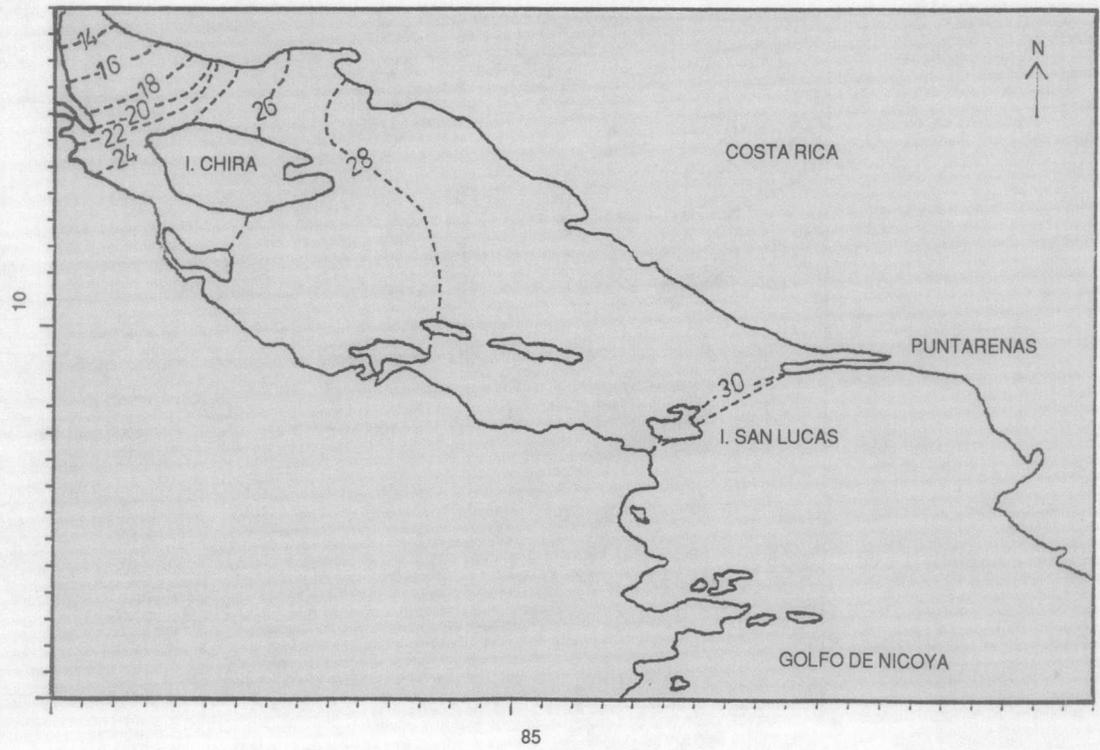
El análisis de la distribución de temperatura no muestra gradientes térmicos en la parte interna del Golfo (Figuras 6, 7, 8 y 9), lo que indica que la densidad de estas aguas es gobernada por los cambios en salinidad, más bien que por los cambios de temperatura. Algunos lentes de aguas más cálidas ( $<30^{\circ}\text{C}$ ) se muestran en superficie durante la marea baja al noroeste de la Isla Chira (Figura 6), por la descarga de las aguas más calientes que salen del Estero Chilamo, donde desemboca el Río Moroto, y al noreste donde desemboca el Río Abangares sobre el Estero Culebra.

Peterson (1958) reportó fuertes gradientes en temperatura durante su período de muestreo. El presente estudio no evidencia estos fuertes gradientes que tampoco son reportados por Voorhis *et al.* (1983), lo que podría sustentar la tesis de que el Golfo de Nicoya ha sufrido cambios en los últimos años.

### Estación lluviosa

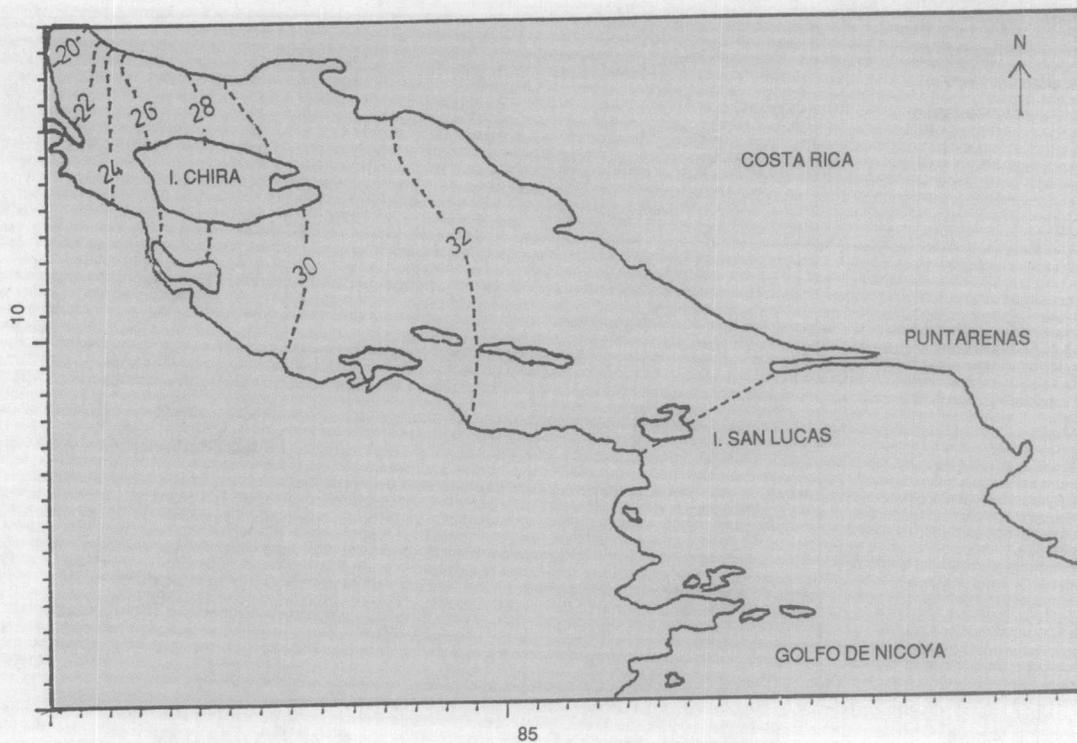
Durante el ciclo de marea baja se pueden alcanzar valores de salinidad de hasta 6 g/kg al norte de la Isla Chira (Figura 10). Este valor es muy inferior al mínimo reportado (15 g/kg) para esta época por otros investigadores (Voorhis *et al.*, 1983, Kapetsky *et al.*, 1987). Fuertes gradientes de salinidad se generan en casi toda la parte interna del Golfo, mostrándose también, la asimetría a lo largo del eje del Golfo, donde se nota la descarga significativa de agua dulce que sale del

**FIGURA 2.**  
Salinidad (%) en  
superficie.  
Estación seca -  
Marea baja.

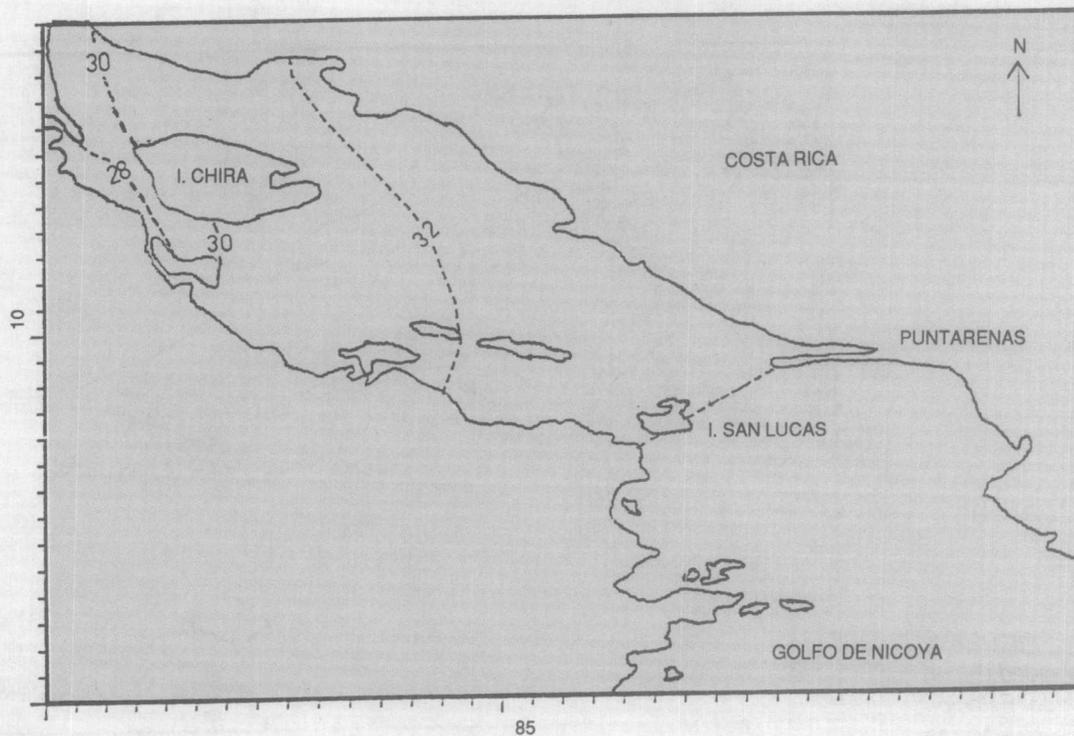


**FIGURA 3.**  
Salinidad (%) en  
el fondo. Estación  
seca - Marea  
baja.

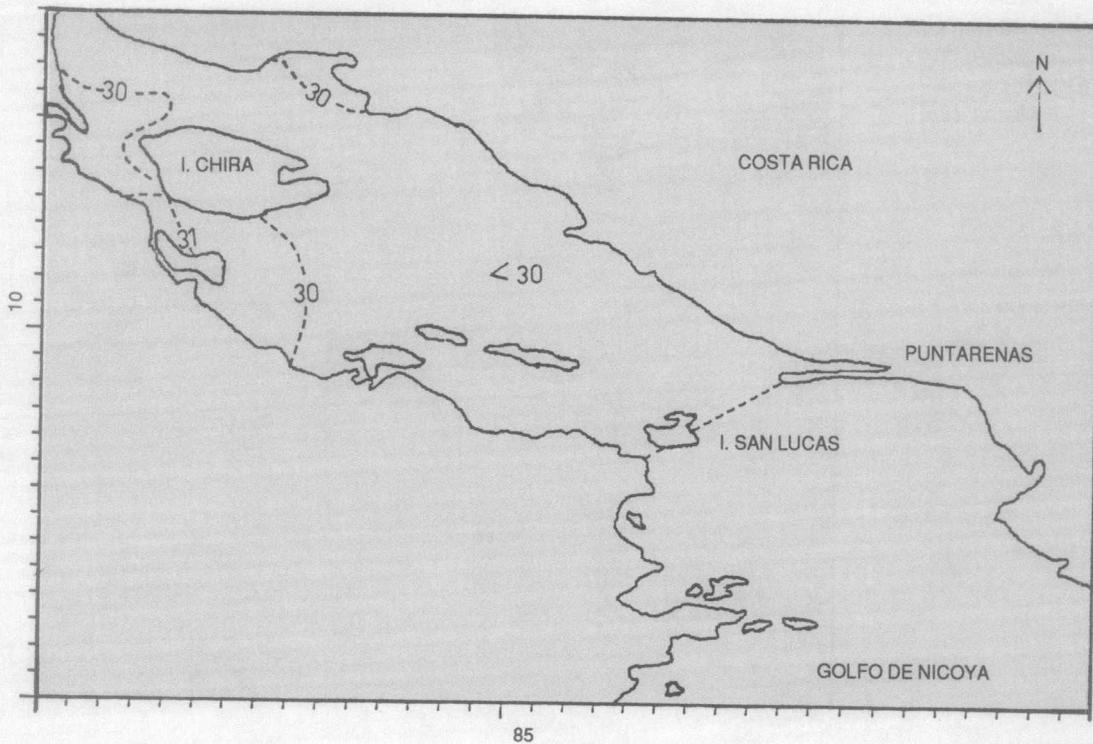
**FIGURA 4.**  
Salinidad (%) en  
superficie –  
Estación seca –  
Marea alta.



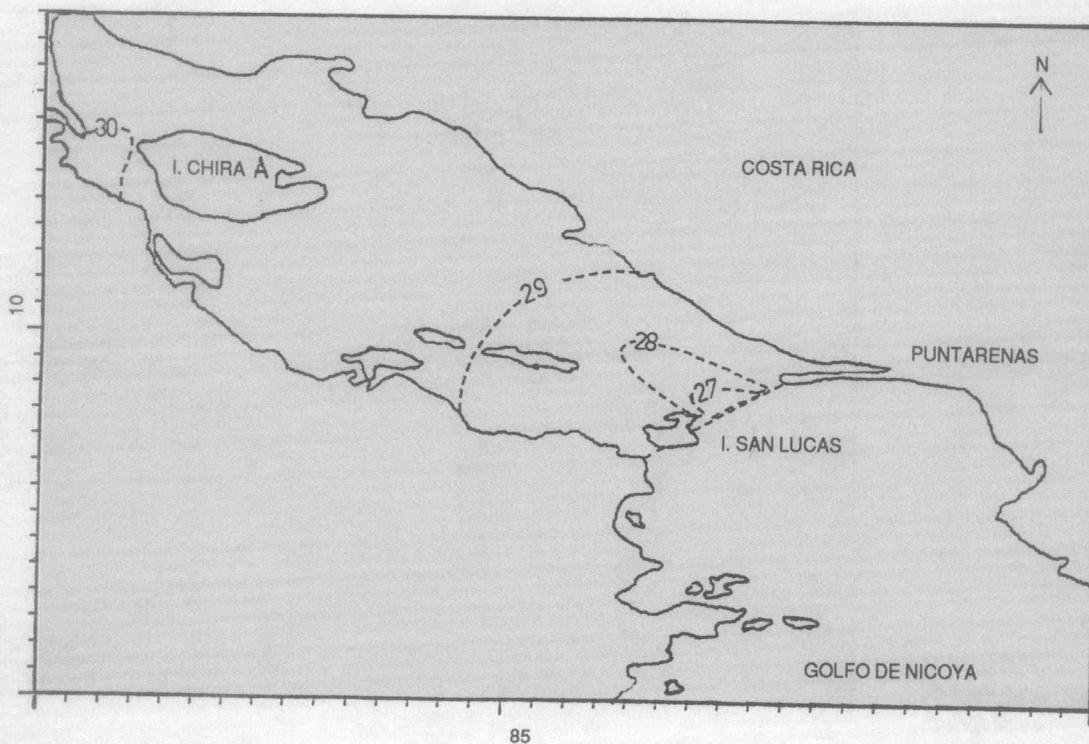
**FIGURA 5.**  
Salinidad (%) en  
al fondo – Esta-  
ción seca – Marea  
alta.



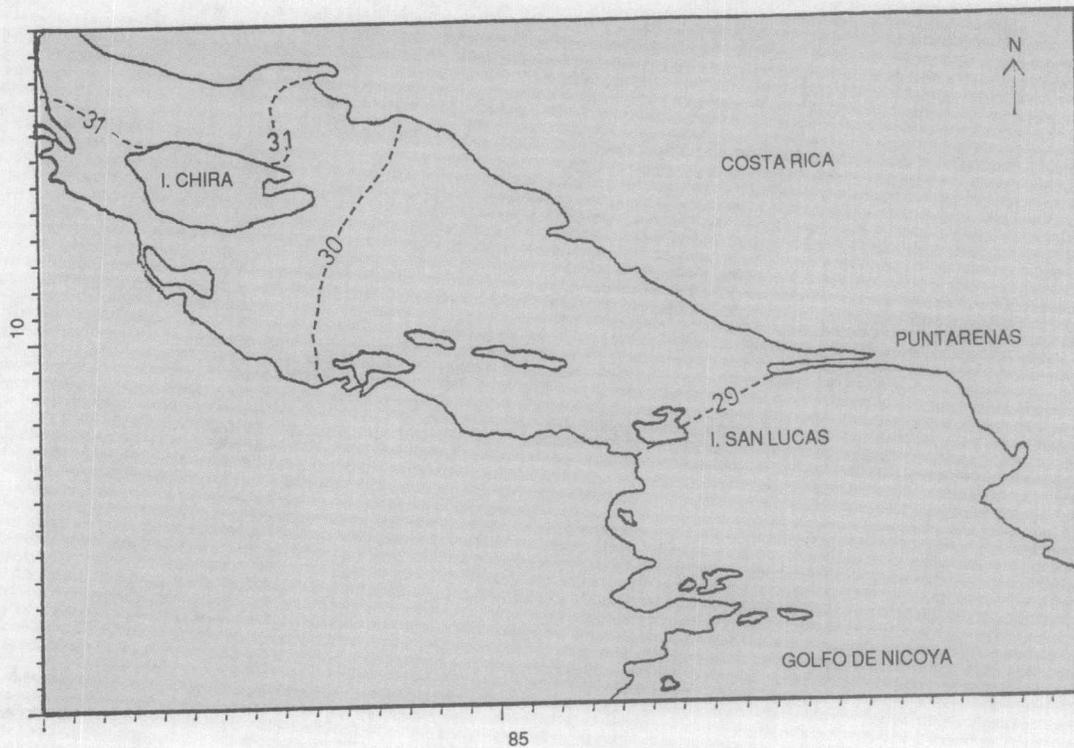
**FIGURA 6.**  
 Temperatura (°C)  
 en superficie.  
 Estación seca -  
 Marea baja.



**FIGURA 7.**  
 Temperatura (°C)  
 en el fondo.  
 Estación seca -  
 Marea baja.



**FIGURA 8.**  
*Temperatura (°C)*  
*en superficie.*  
*Estación seca -*  
*Marea alta.*



**FIGURA 9.**  
*Temperatura (°C)*  
*en el fondo.*  
*Estación seca -*  
*Marea alta.*

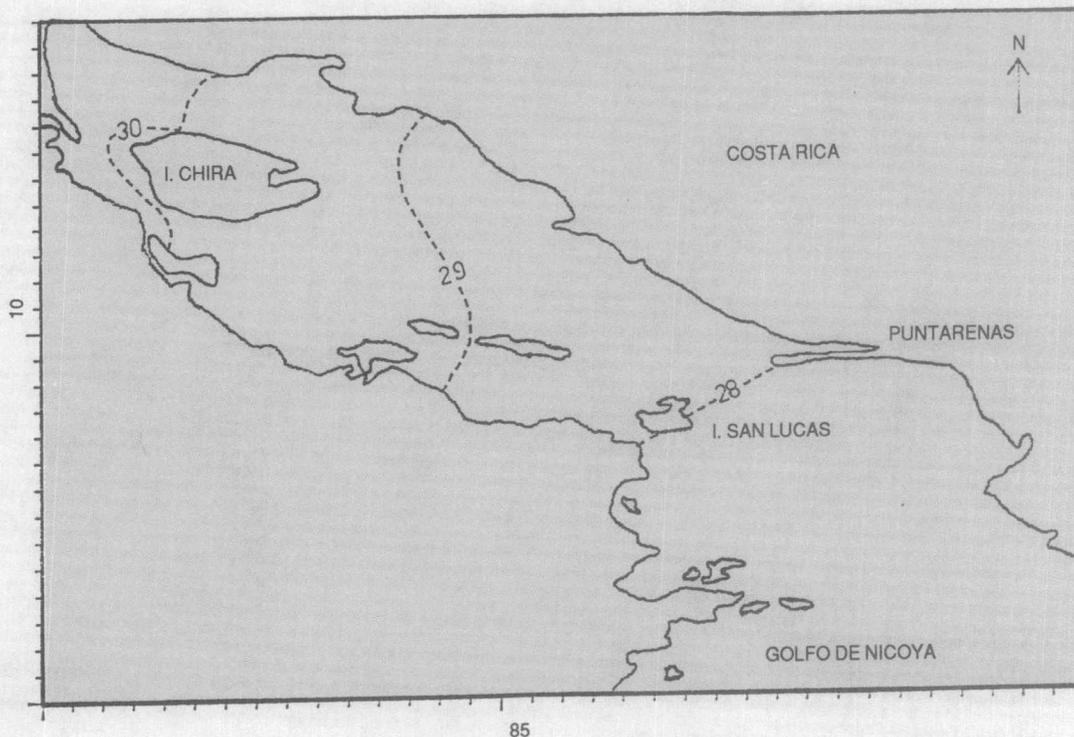
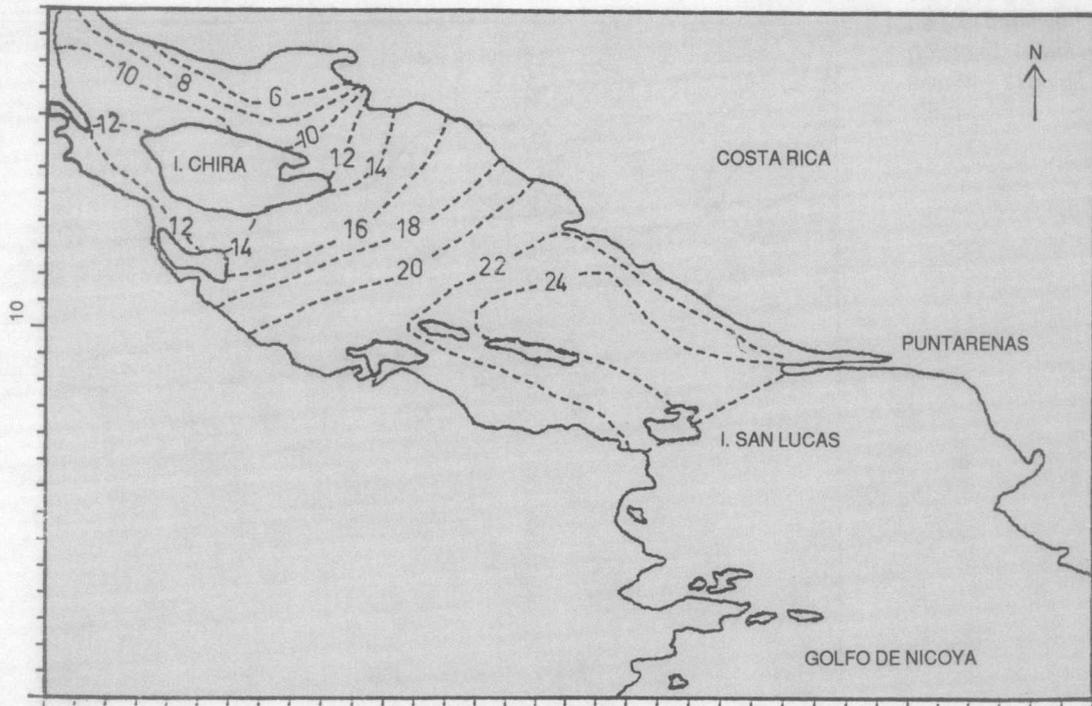


FIGURA 10.  
Salinidad (%) en  
superficie.  
Estación lluviosa –  
Marea baja.



Estero Culebra. Por otro lado, al suroeste de la Isla Chira se nota también la descarga de agua dulce que sale del Estero Chilamo (Figuras 10 y 11).

Al sur de Punta Morales es evidente también, la asimetría de salinidad provocada por las descargas de agua dulce de los ríos que llegan al borde de esa región (Ríos Lagarto y Guacimal) y el agua dulce que sale a través del Estero de Punta Arenas (Figuras 10 y 11). La cuña de agua salada que penetra por la depresión San Lucas-Punta Arenas también genera frentes a lo largo del eje del Golfo.

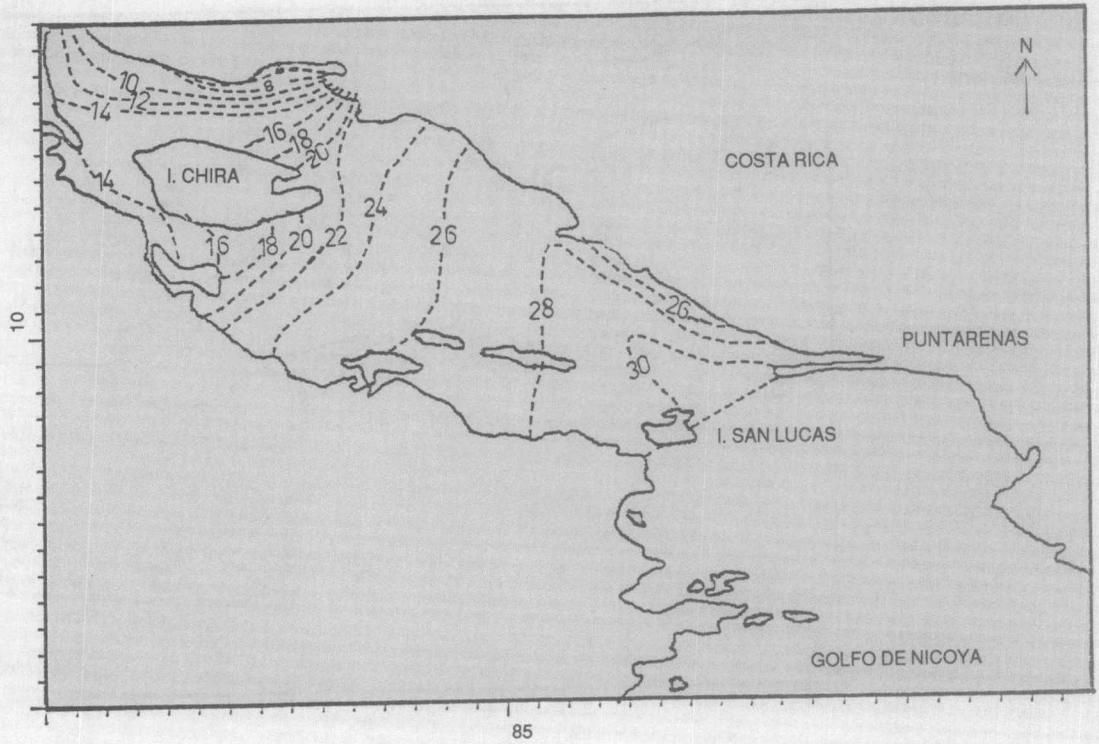
Durante la marea baja se establece una estratificación clara en la columna de agua, debido a la mayor descarga de agua dulce de los ríos en la parte interna del Golfo durante esta época del año, alcanzando diferencias en salinidad de hasta 7 g/kg, entre superficie y fondo en la depresión San Lucas-Punta Arenas (Figuras 10 y 11).

Durante la marea alta, los frentes de salinidad se presentan solo al norte de la

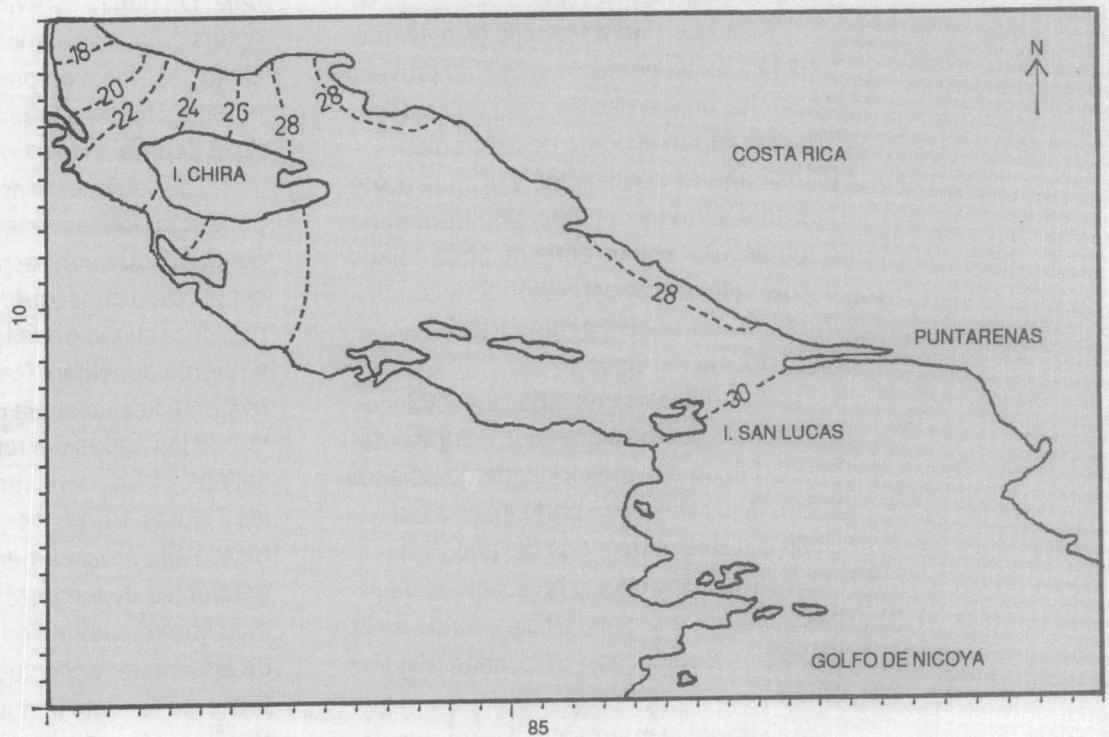
Isla Chira, mostrándose de nuevo una estratificación en la columna de agua en menor grado que con respecto a la marea baja. De nuevo es evidente la descarga de aguas dulces sobre los bordes norte del Golfo, y como siempre, la permanencia y penetración de aguas más salinas a través de la depresión (Figuras 12 y 13).

La distribución de temperaturas para esta época presenta un mayor contraste que con respecto a la estación seca, como consecuencia de la mezcla de mayor cantidad de masas de agua con diferente densidad. Para la marea baja es evidente la existencia de distintas masas, donde las aguas del fondo son más salinas y frías, como se nota comparando las Figuras 10, 11, 14 y 15. Durante la marea alta prácticamente desaparecen los gradientes de temperatura, denotando más homogeneidad de las masas de agua, que respecto lo que se presenta durante la marea baja (Figuras 16 y 17).

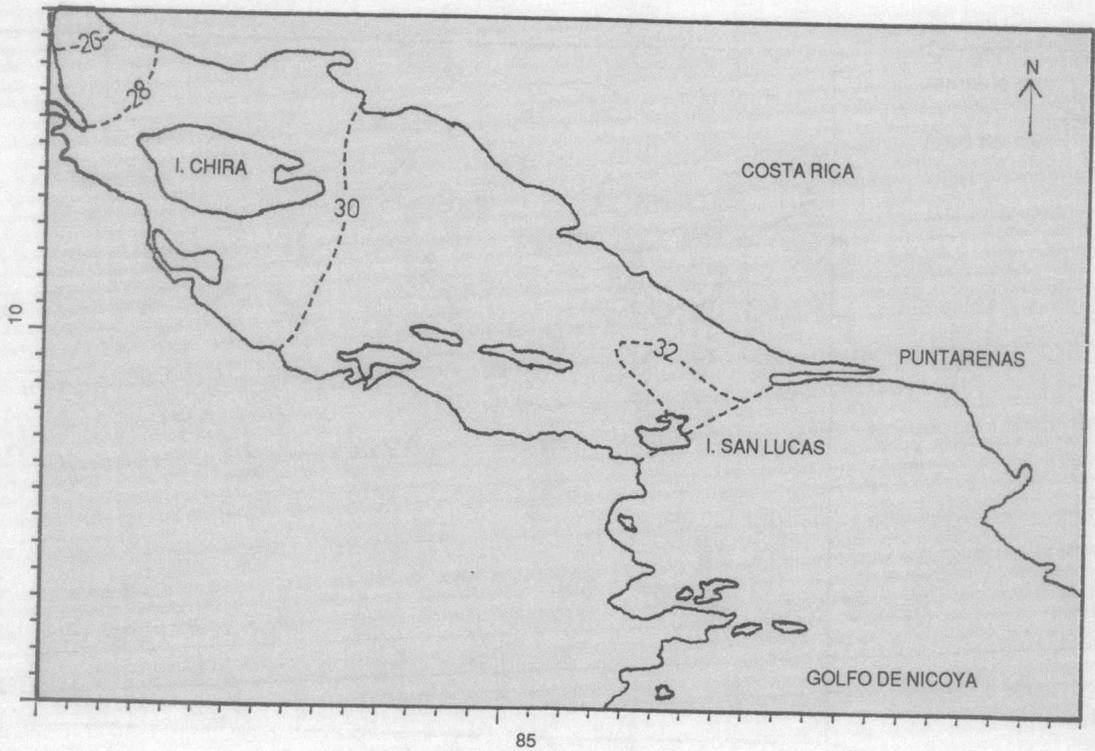
**FIGURA 11.**  
Salinidad (%) en  
el fondo. Estación  
lluviosa - Marea  
baja.



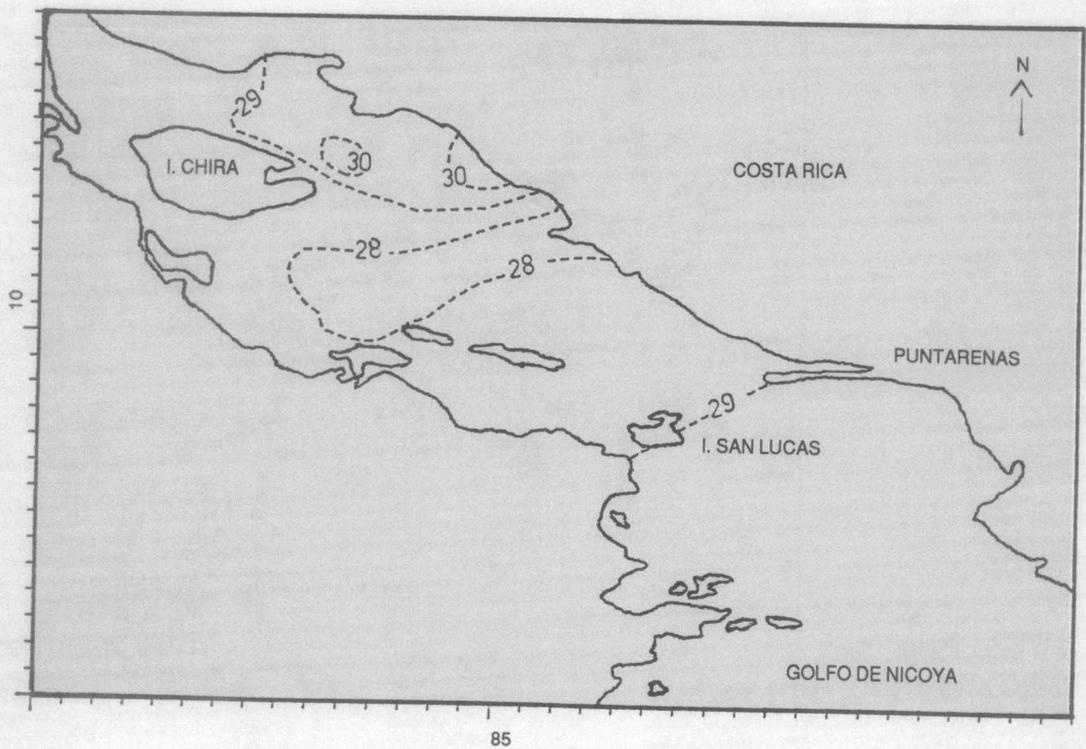
**FIGURA 12.**  
Salinidad (%) en  
superficie.  
Estación lluviosa -  
Marea alta.



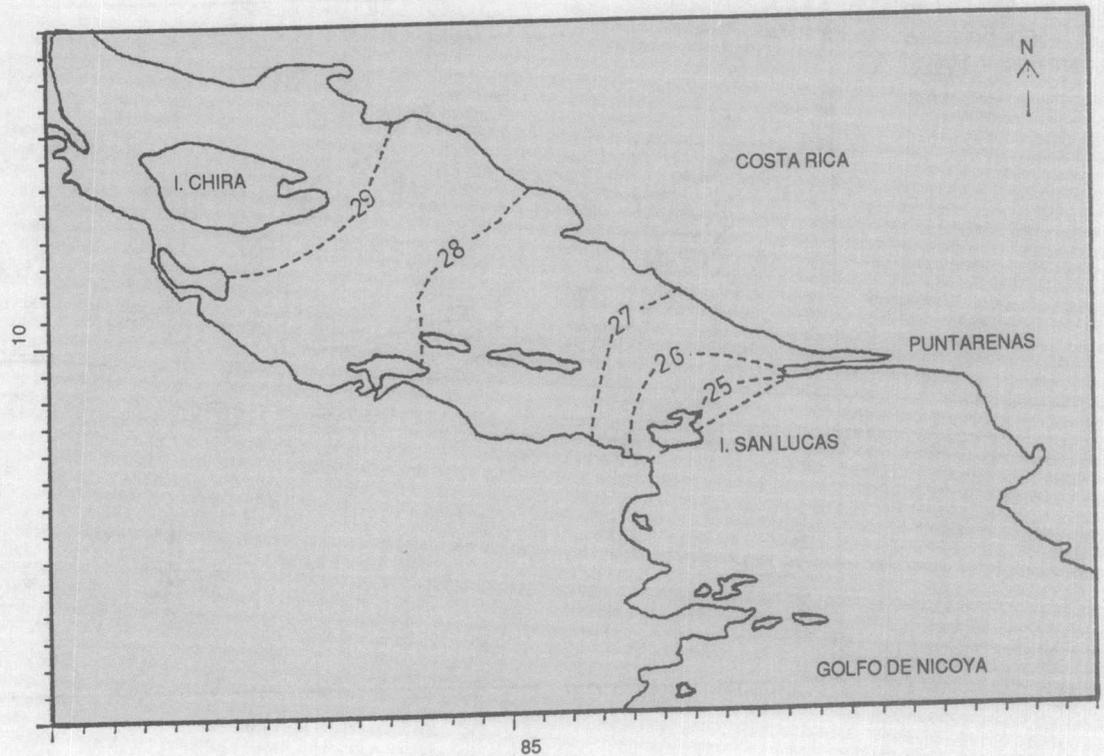
**FIGURA 13.**  
Salinidad (%) en  
el fondo. Estación  
lluviosa - Marea  
alta.



**FIGURA 14.**  
Temperatura (°C)  
Superficie.  
Estación lluviosa -  
Marea baja.



**FIGURA 15.**  
*Temperatura (°C)*  
*en el fondo.*  
*Estación lluviosa -*  
*Marea baja.*



**FIGURA 16**  
*Temperatura (°C)*  
*en Superficie*  
*Estación lluviosa -*  
*Marea alta.*

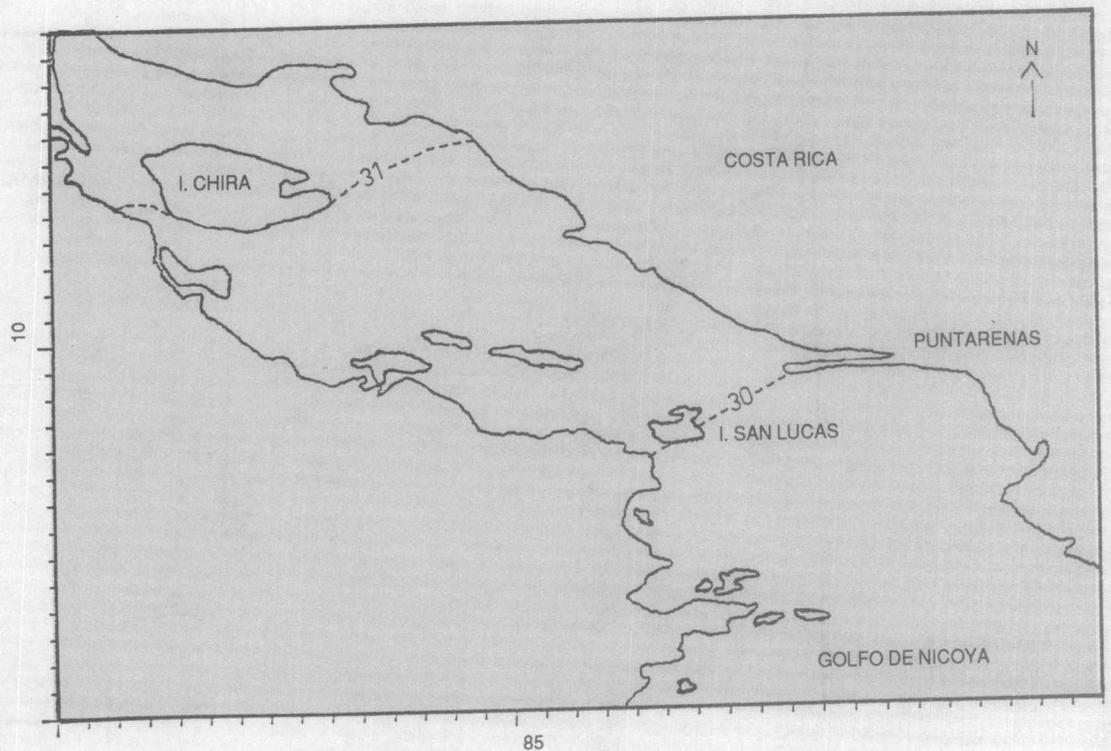
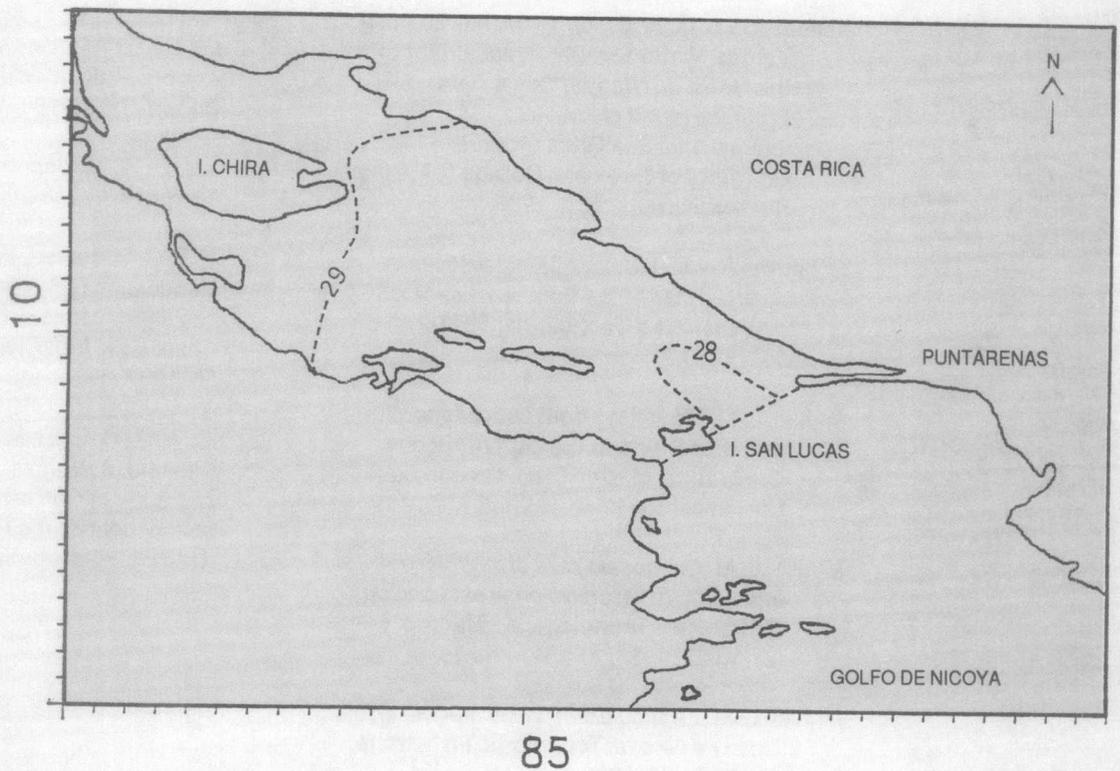


FIGURA 17.  
Temperatura (°C)  
en el fondo.  
Estación lluviosa -  
Marea alta.



## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio son una extensión de los trabajos de Peterson (1958) y Voorhis *et al.* (1983) por cuanto se muestra por primera vez la distribución lateral de la salinidad y temperatura en la parte interna del Golfo de Nicoya.

La estación seca es un período de poca estratificación de sus aguas y de cambios más bien lentos, generados por la poca descarga de agua dulce sobre el Golfo. Los frentes son generados alrededor de la Isla Chira principalmente, donde se siente la influencia de las aguas del Río Tempisque, mientras que en el resto del Golfo el proceso de mezcla es lento, pero muy homogéneo. La descarga del Río Tempisque aunque disminuye durante esta estación, aún es significativa como para caracterizar a este estuario como positivo, donde el flujo de agua que sale del estuario es mayor que el que entra.

La estación lluviosa se caracteriza por la generación de fuertes gradientes de salinidad tanto en la superficie como a través de la columna de agua debido a la

mayor descarga de los ríos que alcanzan el borde de la parte interna del Golfo y que lo tornan estratificado durante esta época.

Aunque los estudios anteriores de Peterson (1958) y Voorhis *et al.* (1983) no distinguen en sus resultados entre marea alta y marea baja, la condición promedio de salinidad que deduciríamos para el ciclo completo de marea con los resultados encontrados en este estudio, nos darían valores más bajos que los reportados en esos trabajos. Esto podría ser una muestra de una variación significativa en la aportación de agua dulce que se está haciendo a este estuario y un indicio de cambio en la dinámica existente en el Golfo de Nicoya, que sería conveniente seguir monitoreando.

## LITERATURA CITADA

- Kapetsky, J. M., L. McGregor y H. Nanne E. A *geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development*. FAO Fisheries Technical Paper 289. 51 p. 1987.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al aporte económico de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica a través del proyecto de investigación No. 808-88-423.



Klemas, U., S. G. Ackleson, M. M. Murillo y J. A. Vargas. **Water Quality Assessment of the Golfo de Nicoya, Costa Rica.** Progress report of the 1980-1981. International Sea Grant Program. University of Delaware, College of Marine Studies, Newark. 96 p. 1983.

Gutiérrez, A. y F. J. Soley. *Características del nivel del mar en los litorales costarricenses.* **Ciencia y Tecnología.** 12 (1-2): 117-131. 1988.

Murillo, L. M. **Modelling tidal hydrodynamics and dispersion in the Gulf of Nicoya, Costa Rica.** Master Tesis. Oregon State University. 1981.

Murillo, L. M. *Un modelo para el régimen de intercambio dispersivo en el estrecho de Puntarenas.* **Tecnología en Marcha.** 6 (2): 15-22. 1983.

Murillo, L. M. *La circulación de las mareas en el Golfo de Nicoya.* **Tecnología en Marcha.** 10 (4): 51-76. 1990.

Peterson, C. L. *The physical oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a tropical estuary.* **Bull. Inter. Am. Trop. Tuna Comm.** 3: 139-188. 1958.

Pritchard, D. W. *Estuarine hydrography.* **Adv. Geophys.** 1: 243-280. 1952.

Valdéz, J., C. L. Brenes, E. Solís y M. Mendelewicz. *Propiedades físico-químicas de las aguas del Golfo de Nicoya, Costa Rica.* **Ing. Cienc. Quím.** 11 (1): 21-25. 1987.

Voorhis, A. D., C. E. Epifanio, Don Maurer, A. I. Dittel y J. A. Vargas. *The estuarine character of Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific coast of Central America.* **Hydrobiología.** 99: 225-237. 1983.

Diseño Industrial

Arquitectura

MODULO

Diseño Gráfico y

Diseño Interior

Revista semestral, Dpto. Diseño Industrial. Apdo 159-7050 Cartago. Costa Rica.