

## Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica

C.L. Brenes<sup>1</sup>, S. León<sup>2</sup> y J. Chaves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Oceanografía, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, Apdo 86-3000.

Fax: (506) 260 11 97, correo electrónico: cbrenes@una.ac.cr

<sup>2</sup>Laboratorio de Química Marina, Universidad Nacional.

(Recibido 14-VII-2000. Corregido 19-III-2001. Aceptado 03-V-2001)

**Abstract:** The time-space behavior of thermohaline properties of the water masses in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary in the Costa Rican Pacific coast, was studied by sampling monthly from April 1992 to April 1993. The saline field has a seasonal maximum during April, a month before the maximum temperature is observed. Minimum values were observed during October and November, in the rainy season. A defined surface saline front is located towards the east of Negritos Islands; it is produced by the interaction of freshwater from the Tarcoles River and the oceanic waters that enter through the occidental coast of the gulf. The vertical distribution of temperature and salinity indicates a gulf whose internal area is highly stratified in the rainy season, and much less stratified, or even well mixed in the dry season. The outer area of the Gulf is stratified throughout the year.

**Key words:** estuary, water masses, thermohaline characteristics, stratification.

El estudio de ambientes estuarinos ha recibido una atención particularmente destacada en los últimos quince años. Parte de este interés se deriva del hecho de que esta zona costera posee una considerable importancia dentro del desarrollo de muchas actividades humanas. Su utilización como puertos naturales, como reservorios de desechos industriales, como sitios para acuicultura, para pesca comercial y para actividades recreativas, justifican con creces su papel predominante dentro de las investigaciones marinas actuales. Por ser áreas de excepcional productividad primaria y por su carácter de escudo protector para muchas especies, los sistemas estuarinos son trascendentales dentro del desarrollo de un considerable número de poblaciones marinas (Yañez 1986).

Como estuario tropical, el Golfo de Nicoya comenzó a ser estudiado desde hace cuatro décadas. Los estudios iniciales de Peterson (1958), relacionados con las variaciones estacionales de las principales propiedades físicas del estuario a lo largo de un transecto longitudinal, fueron posteriormente complementados por Klemas *et al.* (1983), Voorhis *et al.* (1983), Valdés *et al.* (1987), Lizano y Vargas (1993), y más recientemente por Brenes y León (1996). En este último trabajo se analizó la influencia de las aguas costeras sobre el comportamiento de las propiedades físicas del Golfo, principalmente en su parte externa, mientras que en el trabajo de Lizano y Vargas (1993) se describen las variaciones temporales y espaciales de los

campos termohalinos en la parte interna del Golfo.

Unicamente en los trabajos de Epifanio *et al.* (1983) y Valdés *et al.* (1987), se encuentran algunas descripciones acerca de las variaciones temporales de los principales nutrientes y oxígeno disuelto en dicho Golfo. En el primer caso el muestreo se realizó durante un mes lluvioso y uno seco (marzo 1980, junio 1981), mientras que el trabajo de Valdés *et al.* (1987) abarcó un período superior a un año, y se limitó a un transecto a lo largo de la costa este, donde la influencia sobre la distribución de nutrientes de los ríos Tempisque y Grande de Tárcoles es importante.

En el presente trabajo se analizan los resultados de un año de estudio, durante el cual se establecieron las variaciones espaciales y verticales de las principales propiedades físicas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

En la Fig. 1 se presenta la ubicación de las estaciones de muestreo. Su distribución geográfica se estableció pensando en poder deter-

minar la influencia de los principales ríos que desembocan en el Golfo de Nicoya (Tempisque, Barranca y Tárcoles), de las aguas costeras adyacentes y de la topografía de la zona, donde el fondo y la línea de costa producen un efecto importante en el comportamiento de los parámetros estudiados.

Se realizaron trece muestreos mensuales a partir de abril de 1992 hasta marzo de 1993. Los levantamientos hidrográficos se realizaron siempre con el inicio de la pleamar. Utilizando botellas Niskin y dependiendo de la profundidad local, se muestreó la columna de agua a profundidades estándar (0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 m). La salinidad se determinó con un salinómetro inductivo. La temperatura y el oxígeno se midieron con un oxígeno portátil.

#### RESULTADOS

La batimetría que exhibe el Golfo ha permitido dividir a este cuerpo de agua en dos regiones claramente diferenciadas. Una parte interna con profundidades entre los 0 y 20 m, que se

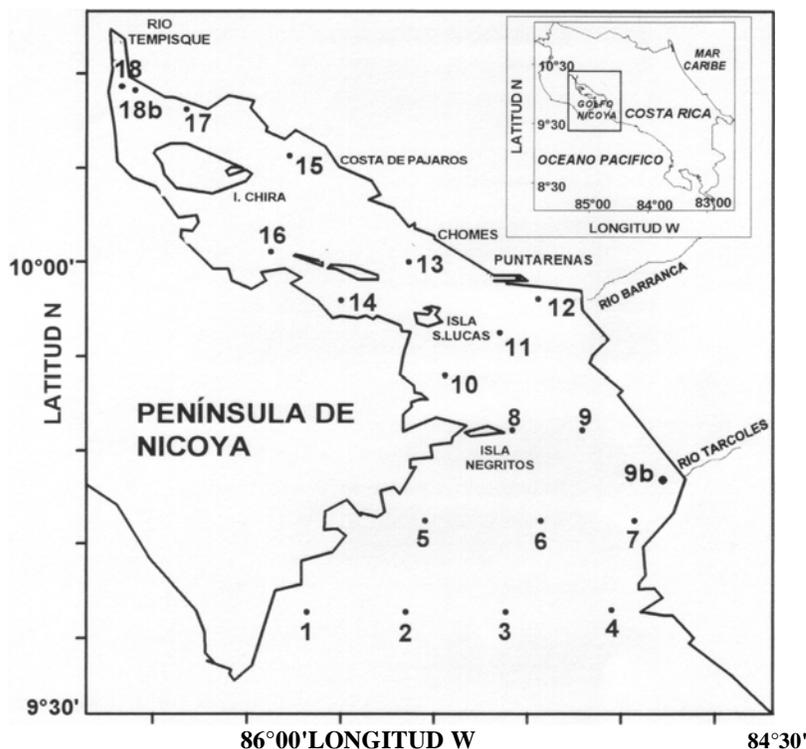


Fig. 1. Area de estudio y posición de estaciones.

extiende desde la desembocadura del Río Tempisque hasta un límite imaginario definido por una línea recta entre Puntarenas e Isla San Lucas. La parte externa con profundidades entre los 20 y 200 m, que abarca desde el límite anterior hasta otra línea imaginaria entre Cabo Blanco y Punta Judas (Fig. 2).

La Fig. 3 contiene las distribuciones de temperatura y salinidad en la superficie y a cinco metros para el período de muestreo. Para generarla se utilizó el transecto ubicado a lo largo del eje central del Golfo (estaciones hidrográficas 18, 17, 13, 11, 9, 6, 3). En un ambiente estuarino de carácter tropical como el Golfo de Nicoya, las variaciones estacionales de parámetros como la temperatura superficial son pequeñas. La temperatura superficial del mar depende

solar que recibe, por eso es mayor en la época seca que en la época lluviosa. Sin embargo, en latitudes intertropicales, la poca diferencia de insolación verano-invierno sumado a la gran capacidad que posee el agua de mar para almacenar calor sin mostrar grandes cambios en su temperatura, hace que las variaciones temporales de este parámetro físico no sean muy grandes dentro de dichos ambientes.

Las variaciones temporales de la temperatura superficial en la parte más interna del Golfo (hasta unos 30 km de la desembocadura del Río Tempisque) son aún menos marcadas. Adicionalmente, la poca profundidad de esta zona, propicia que los procesos de mezcla inducidos por el viento y la onda de marea mantengan una condición térmica casi homogénea en la columna de agua durante todo el año (Fig.

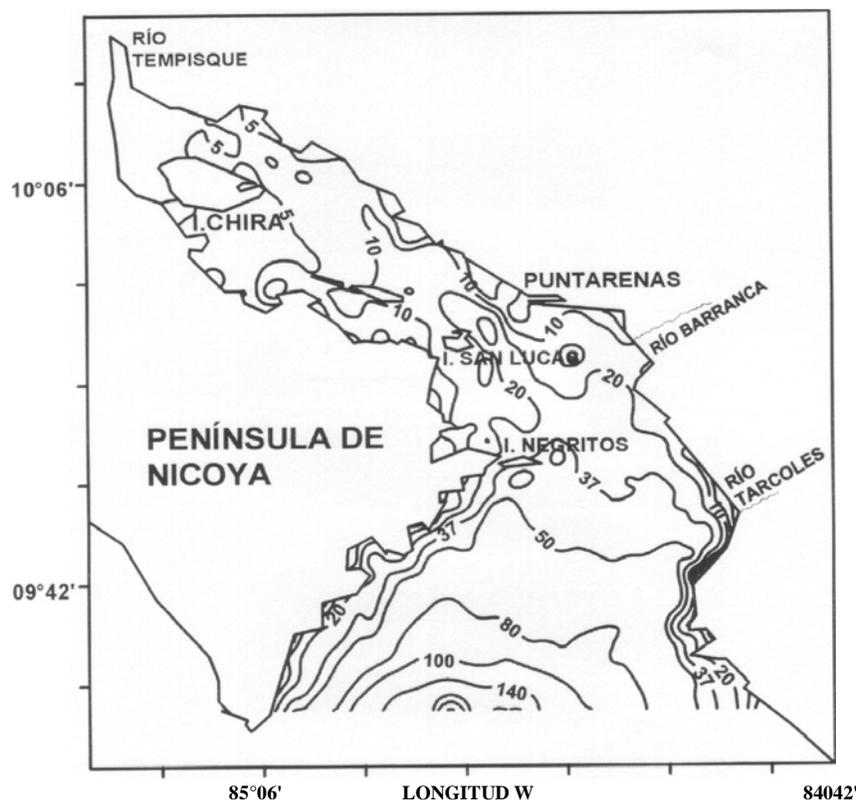


Fig. 2. Batimetría del Golfo de Nicoya (m).

principalmente de la cantidad de radiación

3a y 3b).

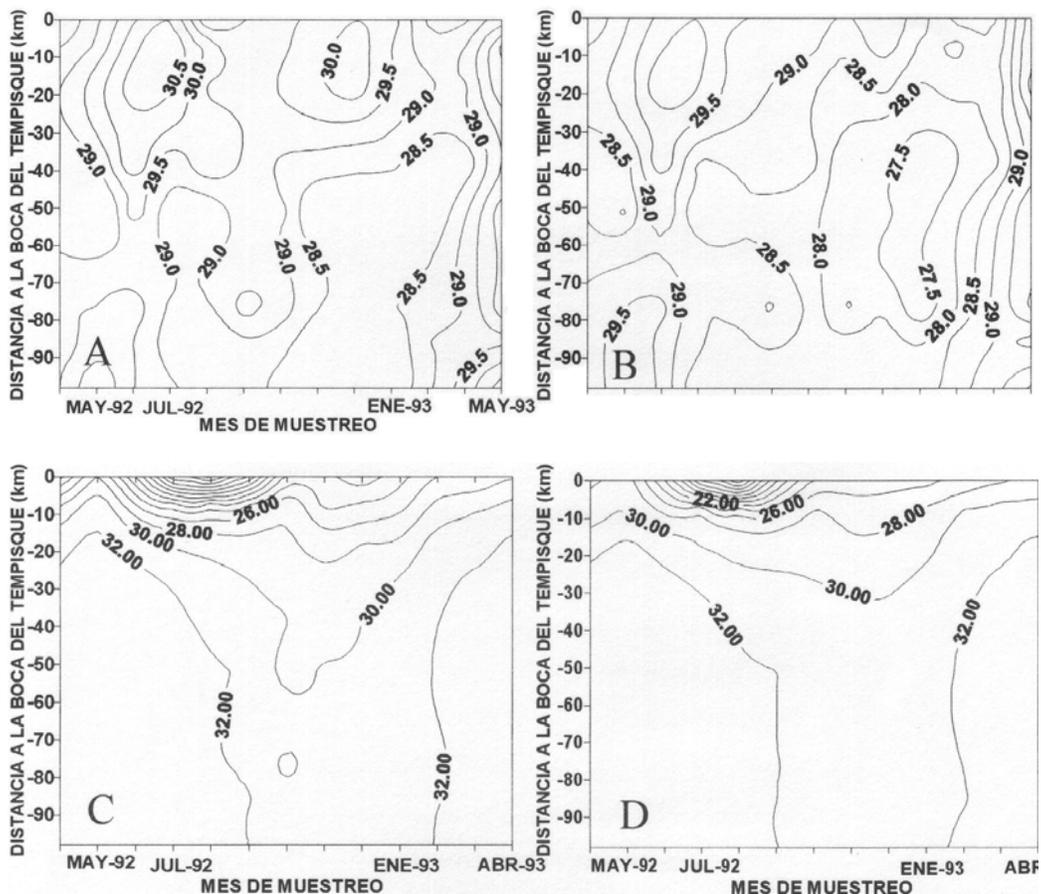


Fig. 3. Variación espacio-temporal de la temperatura superficial en °C (A), la temperatura a 5 m (B), la salinidad superficial en ‰ (C) y la salinidad a 5 m (D), a lo largo de un transecto central.

Para la parte externa, sin embargo, es posible establecer un máximo entre mayo y junio, al final de la época seca y un mínimo entre noviembre y enero, muy definido en la parte central del Golfo de Nicoya a unos 60 km de la desembocadura del Río Tempisque. Esta zona se mantiene por lo general 1°C por debajo de las temperaturas del área interna (Fig. 3a y 3b).

Caso contrario ocurre con los campos salinos, en los cuales se evidencia una marcada variación temporal, sobre todo en la parte interna del Golfo, donde la influencia del Río Tempisque sobre el campo salino es muy fuerte. El fuerte gradiente espacial salino observado en los primeros 10 km durante los inicios de la época lluviosa (junio-julio), está

asociado al frente salino producido por la convergencia del agua dulce del Río Tempisque con las aguas de origen marino arrastradas por las corrientes y las mareas. Un máximo estacional es claramente observado entre abril y mayo, un mes antes del máximo de temperatura. Este máximo salino se extiende a lo largo de todo el Golfo, incluyendo las áreas más próximas a la desembocadura del Río Tempisque. La parte más externa y por lo tanto la menos influenciada por descargas fluviales, mantiene un rango de salinidades entre 32 ‰ y 30 ‰. El mínimo salino está en fase con el de temperatura, de modo que durante octubre se tienen las salinidades más bajas en el Golfo.

La forma de las isohalinas en las Fig. 3c y 3d, permite visualizar claramente la importancia que tiene sobre la dinámica del estuario, el flujo de agua dulce proveniente del Río Tempisque. Durante el último trimestre del año, dicho flujo empuja las isohalinas hacia la parte externa del Golfo, impidiendo la entrada de agua más salada a las áreas más internas. En esta época, la isohalina de 30 ‰ se localiza a 60 km de la desembocadura del citado río. A partir de febrero y hasta mayo, la dinámica es gobernada mayormente por la onda de marea y los vientos, notándose la invasión de las aguas más salinas (32‰) hasta la parte interna del Golfo, a menos de 15 km de la desembocadura del Río Tempisque.

Este comportamiento está en concordancia con los ciclos estacionales de los campos termohalinos superficiales de las aguas costeras adyacentes. En abril la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) ocupa su posición más al sur, y en setiembre su desplazamiento latitudinal alcanza el extremo norte (10°N). El campo nuboso que caracteriza la presencia de la ZCIT es el responsable del régimen de lluvias que afecta esta zona del Pacífico costarricense, y por lo tanto del mayor grado de dilución de las aguas del Golfo durante los últimos meses del año. En la Fig. 4 se presenta el registro de precipitaciones para la Estación de Puntarenas, correspondiente al año de 1992. Esta estación meteorológica refleja bastante bien el comportamiento de las lluvias en el Golfo de Nicoya. Esta variación mensual de la precipitación, se ve reflejada también en la Fig. 3. Al analizar la influencia del Río Tempisque sobre el comportamiento del campo salino a lo largo del estuario, su pluma se extiende dentro del estuario varias decenas de kilómetros principalmente en la época lluviosa, cuando su caudal se ve aumentado considerablemente. En toda esta región el gradiente horizontal salino es muy pronunciado. Para estudiar las distribuciones termohalinas superficiales en todo el Golfo, se utilizaron los meses donde se encontraron los máximos y mínimos. Ellos representan los casos extremos, de manera que durante el resto del período de muestreo se tiene una condición más o menos de transición.

Los campos superficiales de temperatura (Fig. 5) presentan para ambos meses (mayo y octubre) un comportamiento similar. La forma de las isotermas evidencia la influencia de las aguas costeras en toda la zona externa del Golfo. Las Islas Negritos juegan un papel importante en la distribución de dicho parámetro al comportarse como una barrera física para las aguas oceánicas que se desplazan por el extremo occidental del Golfo, y para la pluma de agua dulce del Río Grande de Tárcoles que se mueve desde el extremo oriental.

El frente salino que se genera por la convergencia de estos dos tipos de agua diferentes, es mucho más claro en las distribuciones superfi-

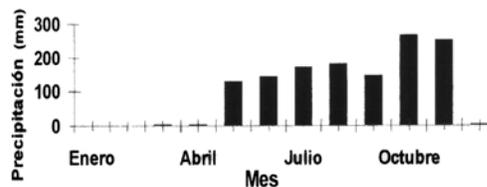


Fig. 4. Promedio mensual de la precipitación en la Estación Meteorológica de Puntarenas (ver Fig. 1), correspondiente a 1992 (Instituto Meteorológico Nacional).

ciales de salinidad (Fig. 5), especialmente durante la época lluviosa, cuando el caudal del Río Tárcoles aumenta significativamente, produciendo un núcleo de aguas relativamente poco salinas al este de Islas Negritos. Para la parte interna del Golfo, a pesar de que en ambos meses se observa un gradiente espacial salino significativo, la mayor influencia del Río Tempisque ocurre cerca de la etapa final de la época lluviosa, cuando la isohalina de 30 ‰ se observa al sur de Isla San Lucas. Esta misma isohalina durante abril se introduce en el Golfo hasta alcanzar áreas bastante internas, localizándose al sur de Isla de Chira.

Los campos salinos descritos anteriormente, coinciden plenamente con los resultados reportados por Lizano y Vargas (1993) para la parte interna del Golfo.

Las distribuciones espaciales de ambas propiedades físicas, nos permiten inferir preliminarmente un patrón superficial de circulación, en el cual las aguas menos densas se desplazan hacia el mar abierto por el costado oriental del

Fig. 5. Distribuciones espaciales de temperatura superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ) en mayo de 1992 (A) y octubre de 1993 (B), y salinidad superficial ( $\text{‰}$ ) en abril de 1992 (C) y octubre de 1992 (D).

Golfo, mientras que las aguas costeras penetran por el extremo opuesto y parte de ellas sufre una deflexión hacia el este cuando alcanzan las Islas Negritos. El Golfo presenta por lo tanto, una asimetría este-oeste de las propiedades termohalinas del agua en su parte externa. Esta asimetría es producida por la descarga de agua dulce a lo largo del borde este del Golfo debido a los ríos Tárcoles y Barranca.

Para estudiar la estratificación del Golfo durante las épocas seca y lluviosa, se presenta

el transecto central (Fig. 6). Los fuertes vientos que durante los meses secos inducen intensos procesos verticales de mezcla, son los responsables de que las distribuciones verticales de temperatura en dicho período presenten una débil estratificación. En época lluviosa la estratificación aumenta en todo Golfo, no solo por un debilitamiento de los vientos, sino por el mayor aporte de agua dulce.

Las variaciones longitudinales durante todo el año, están dominadas por oscilaciones verti-

Fig. 6. Distribuciones verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en mayo de 1992 (A) y octubre de 1993 (B), y salinidad ( $\text{‰}$ ) en abril de 1992 (C) y octubre de 1992 (D).

interna del Golfo. Durante el invierno, esta misma región está muy estratificada. En este último período el frente superficial salino que se determinó al este de Islas Negritos (Fig. 5), puede ser observado a través de la inclinación ascendente de las isohalinas cortando la superficie.

#### RESUMEN

Se estudia el comportamiento espacio-temporal de las propiedades termohalinas de las masas de agua en el Golfo de Nicoya, un estuario tropical del Pacífico costarricense. Se utilizaron datos recogidos mensualmente durante el período comprendido entre abril de 1992 y abril de 1993. El campo salino presenta su máximo estacional durante el mes de abril, un mes antes del máximo de temperatura superficial del mar. El mínimo de salinidad se observó en octubre mientras que las temperaturas superficiales mostraron sus valores más bajos entre noviembre y enero. Un frente salino superficial muy bien definido es encontrado al este de las Islas Negritos, producto del encuentro de las aguas dulces provenientes del Río Grande de Tárcoles y las aguas de carácter oceánico que se introducen por la costa occidental del Golfo. Finalmente, el análisis de las distribuciones verticales de temperatura y salinidad muestran a un Golfo cuya parte interna es altamente estratificada en época lluviosa, y ligeramente estratificada o bien mezclada durante la época seca. La parte externa del Golfo presenta una estratificación permanente durante todo el año.

#### REFERENCIAS

- Brenes, C.L. & S. León. 1996. Influence of coastal waters on some physical and chemical oceanographic characteristics of Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 3: 65-72.
- Epifanio, C., D. Maurer & A. Dittel. 1983. Seasonal changes in nutrients and dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya, a tropical estuary on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia* 101: 231-238.
- Klemas, V., S. Ackleson, M. Murillo & J. Vargas. 1983. Water Quality Assessment of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. Progress Report. Univ. of Delaware. 95 p.
- Lizano, O.G. y J.A. Vargas. 1993. Distribución espacio-temporal de la salinidad y la temperatura en la parte interna del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 12: 3-16.
- Maurer, D., C. Epifanio & K. Price (eds). 1980. Ecological Assessment of Finfish and Megabenthic Invertebrates as Indicators of Natural and Impacted Habitats in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. Progress Report. Univ. of Delaware. 305 p.
- Peterson, C. 1958. The Physical Oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a Tropical Estuary. *Bull. Inter. Am. Trop. Tuna Com* 3: 139-188.
- Valdés, J., C.L. Brenes, E. Solís & M. Mendelewits. 1987. Caracterización físico-química de las aguas del Golfo de Nicoya. *Ing. Ciencia Química* 2: 28-36.
- Voorhis, A. C., Epifanio, D. Maurer, A. Dittel & J. Vargas. 1983. The estuarine character of the Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia* 99: 225-237.
- Yañez-Arancibia, A. 1986. Ecología de la zona costera. AGT Editor, México. 189 p.