

Dinámica de las aguas en la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del Río Tempisque

Omar G. Lizano

Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, Escuela de Física. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) y Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Fax: (506) 207-5619. Correo electrónico: olizano@cariari.ucr.ac.cr

(Rec. 23-I-1998. Rev. 31-IV-1998. Acep. 14-VI-1998)

Abstract: The water dynamics of the upper part of the Gulf of Nicoya were studied under high discharges of the Tempisque river. The salinity values close to freshwater found north of Chira island are the lowest reported for this zone, and have importance in mariculture planing. A salinity gradient is developed during low tide, indicating a strong stratification in the inner Gulf. High freshwater river discharge is coupled with an upstream bottom flow (salt wedge) that reaches the head of the estuary. Under high river discharges, surface and bottom salinity values are correlated with depth, where vertical shear and tidal pumping must explain the high salinity values found in the bottom inward flow. A fish distribution pattern is proposed based on the observed salinity distribution and some field data. Salinity gradients appear to influence the concentration of fish in several relatively deep areas in the inner Gulf of Nicoya.

Key words: estuarine dynamics, Tempisque river discharge, salinity distribution, fish resources, Nicoya Gulf, Costa Rica.

Desde los primeros estudios sobre dinámica del Golfo de Nicoya por Peterson (1960) se estableció que este golfo es un sistema estuarino clásico, el cual es manejado por la variación anual de la descarga de los ríos. Durante la estación lluviosa la descarga de los ríos en la parte interna del golfo (básicamente Río Tempisque) produce un flujo superficial hacia mar afuera, el cual es compensado por un flujo más salino hacia adentro del golfo por el fondo. Durante esta estación, el estuario muestra una gran estratificación vertical y fuertes gradientes horizontales, como lo demuestran también, los muestreos de Voorhis *et al.* (1983) y Lizano & Vargas (1993).

En general las campañas oceanográficas e-luden los muestreos bajo condiciones oceáni-cas y atmosféricas severas, por lo que siempre

encontraremos un sesgo hacia muestreos fuera de estas condiciones. Sin embargo, la información que bajo estas condiciones se produce, es valiosa e importante para entender la dinámica de algunos cuerpos de agua. Durante Octubre de 1995 se generó uno de los temporales mas severos en Guanacaste que produjo precipitaciones muy por encima del promedio e inundaciones sobre la cuenca del Río Tempisque. Justamente durante este temporal se realizó un muestreo en la parte interna del golfo para evaluar la dinámica de algunos parámetros fisico-químicos bajo estas condiciones, de manera que sirvieran como referencia para pronosticar condiciones similares en el golfo ante grandes descargas de los ríos. Este comportamiento es importante para determinar las condiciones apropiadas para el

desarrollo de mariculturas (Kapetsky *et al.* 1987) en el golfo. Su estudio además, sirve para evaluar cambios en la dinámica de sus aguas, como se menciona en Lizano & Vargas (1993), y relacionarlo con las posibles variaciones en la biodiversidad de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Contornos de profundidad fueron interpolados manualmente de los sondeos de la carta batimétrica no. 51 544 preparada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano (SGI) de los Estados Unidos. Estos contornos fueron digitalizados con una tabla digitalizadora Summagraphic II y el módulo Tosca del paquete Idrisi. Se realizó una interpolación con una rejilla de 30 m con los módulos de Idrisi, obteniéndose una imagen cuya matriz contiene 1 728 columnas por 1 058 filas. Esta imagen fue editada y procesada luego con módulos del programa Idrisi (Fig. 1).

El registro de la estación Guardia (74-19-01), en la Cuenca Hidrográfica No. 19, del Río Tempisque en Guanacaste, fue obtenida del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y graficada con programas de FORTRAN.

Durante la campaña de Octubre de 1995 se realizó dos muestreos en días consecutivos, uno durante marea baja y el otro durante marea alta. Se tomó muestras de agua con botellas oceanográficas Niskin en la superficie y el fondo en cada estación. La salinidad se midió con un refractómetro óptico cuya precisión es de 0.5 ppm (partes por mil).

Las coordenadas geográficas de cada estación fueron determinada con un posicionador de satélite (GPS), con una precisión de ± 30 metros.

Programas en FORTRAN fueron utilizados para graficar los contornos de profundidad y los valores de salinidad en la posición de muestreo.

Los datos de las campañas oceanográficas de 1990 de Lizano & Vargas (1993) fueron utilizados para realizar correlaciones entre profundidad y salinidad. Estas correlaciones fueron realizadas con módulos de Idrisi, con el cual también se obtuvo las ecuaciones y los coeficientes de correlación. Utilizando las ecuaciones de correlación y los módulos de Idrisi se construyeron imágenes de la distribu-

ción espacial de la salinidad en la parte interna del golfo. Se utilizó la lancha KAIS del CIMAR en las campañas oceanográficas.

RESULTADOS

Distribución de salinidad bajo grandes descargas de los ríos: Los valores mínimos de salinidad en la parte interna del Golfo de Nicoya se encuentran durante la estación lluviosa, bajo altas descargas de los ríos, y en marea baja. Aunque algunas campañas oceanográficas no especifican las condiciones, y la etapa en el ciclo mareal bajo las cuales realizaron los muestreos, reportan los siguientes valores mínimos en la parte interna: Peterson (1960), 15 ppm al sureste de Isla Chira; Voorhis *et al.* (1983), 27 ppm al sureste de Isla Chira; Valdez *et al.* (1987), 12 ppm al norte de Isla Chira; Lizano & Vargas (1993), 6 ppm al norte de Isla Chira.

El valor más bajo de Lizano & Vargas (1993) fue obtenido en noviembre de 1990, alrededor de un periodo con alta precipitación, como lo refleja el caudal en la Estación Guardia del Cuadro 1.

CUADRO 1

Caudales en la estación Guardia, Río Tempisque, noviembre de 1990 (A) y octubre de 1995 (B)

A		B	
noviembre de 1990		octubre de 1995	
Día	Caudal (m ³ /s)	Día	Caudal (m ³ /s)
3	90.3	15	243.0
4	132.0	16	259.0
5	79.4	17	297.0 ^(*)
6	58.9	18	219.0 ^(*)
7	59.2 ^(*)		

dia de muestreo^(*)

Para este mes de noviembre de 1990 la estadística que muestra la información de ICE y que permite evaluar la magnitud de la descarga del Río Tempisque el día de muestreo son: promedio de noviembre de 1990 = 33.9 m³/s, promedio de los meses de noviembre de todo el registro = 42.1 m³/s, día de máximo instantáneo = noviembre 4 con 215 m³/s, día de máximo anual = octubre 21 con 607 m³/s. Condiciones extremas de precipitación en Guanacaste han sido recurrentes a través de la historia. Estos eventos pueden fácilmente detectarse de las series de precipitación que se

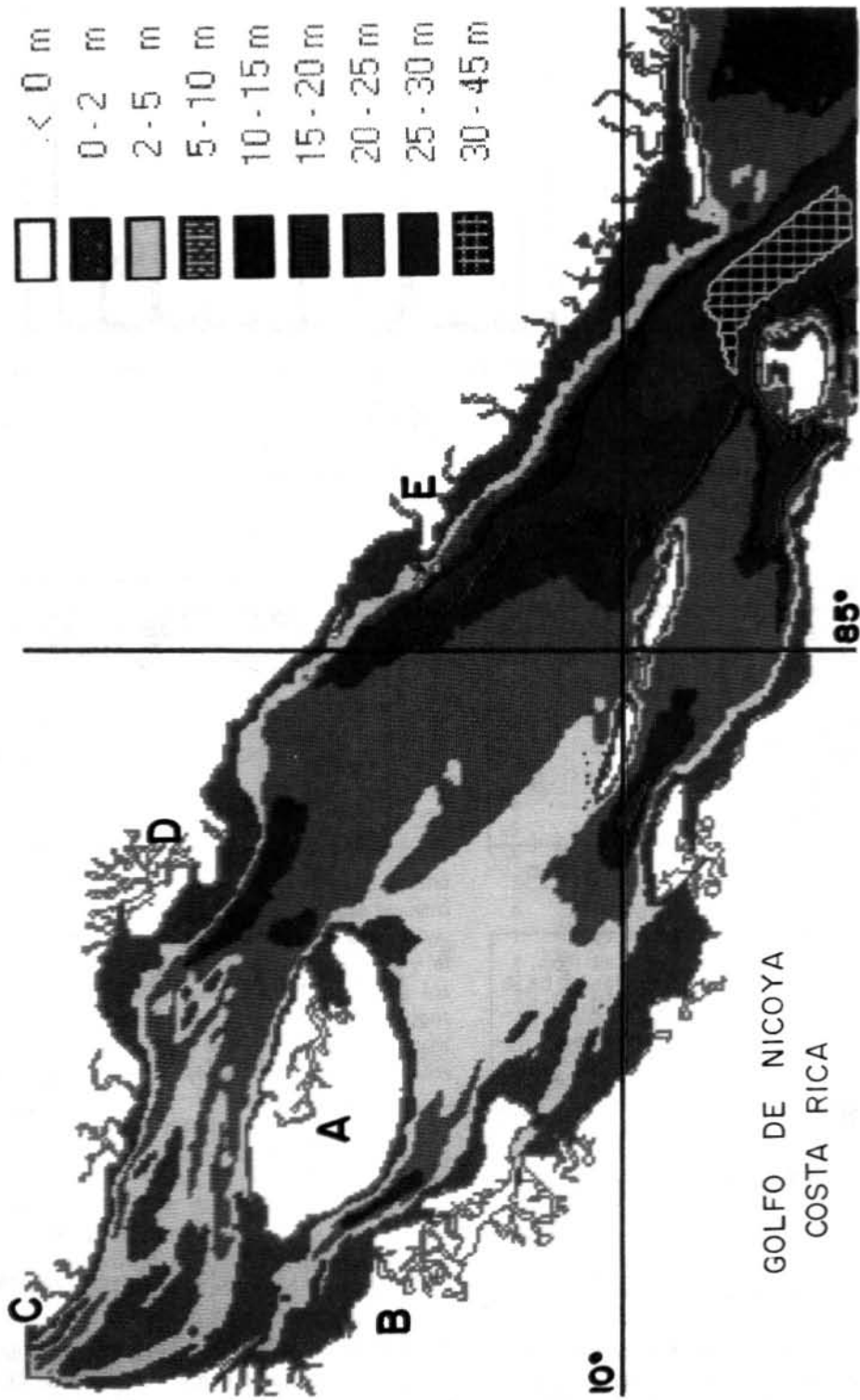


Fig. 1. Área de estudio. Batimetría de la parte interna del Golfo de Nicoya. A: Isla Chira, B: Estero Chilamo, C: Río Tempisque, D: Estero Moraga, E: Punta Morales.

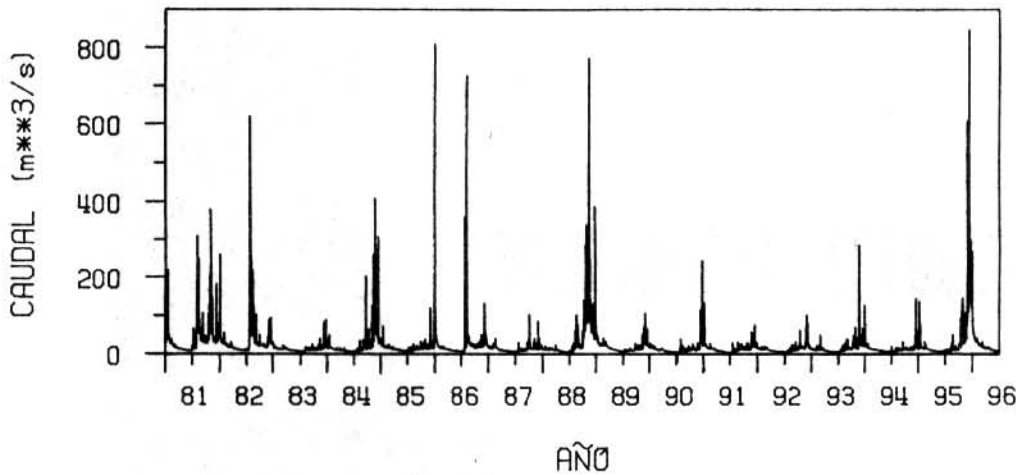


Fig. 2. Caudal medio diario en la estación Guardia (74-19-01) del Río Tempisque, Guanacaste.

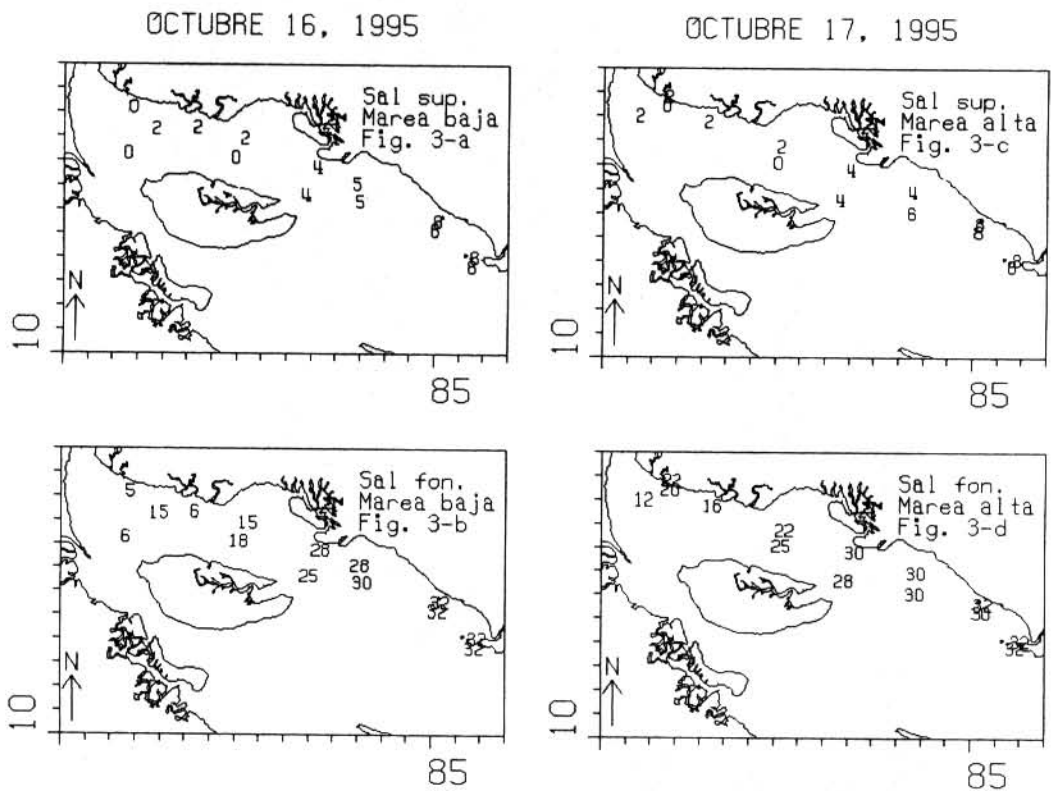


Fig. 3. Salinidad (ppm) para un ciclo completo de marea en la parte interna del Golfo de Nicoya durante la campaña oceanográfica de octubre de 1995.

registran para las estaciones de la región, o de las series de las descargas de los ríos, que el ICE monitorea a través de la red hidrológica.

Es evidente en la serie de la Fig. 2 los grandes picos de descargas durante los meses de Octubre (los cuales están íntimamente correla-

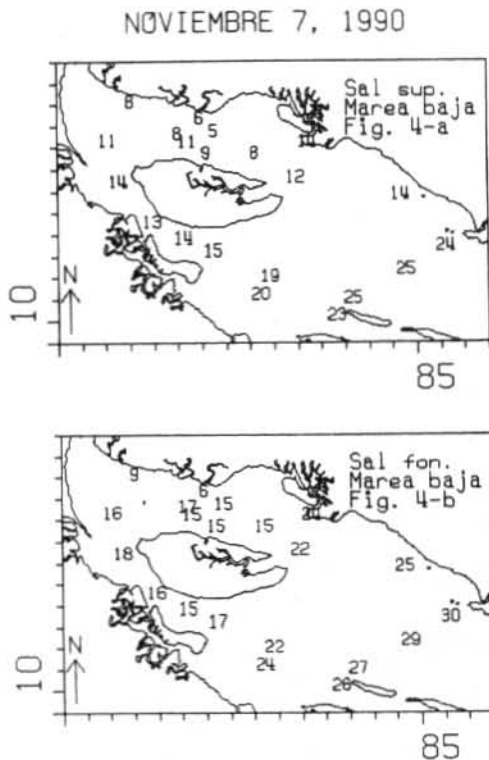


Fig. 4. Salinidad (ppm) para medio ciclo de marea en la parte interna del Golfo de Nicoya durante la campaña oceanográfica de noviembre de 1990.

cionados con la precipitación para esos meses). Para el mes de Octubre de 1995, justamente para el cual realizamos nuestra última campaña oceanográfica (Cuadro 1), se registró el pico mas alto de esta serie de 16 años. Evidentemente, como lo muestra la Fig. 2 y el Cuadro 1, las condiciones de descarga de los ríos en el interior del golfo fueron excepcionales para ese octubre del 95, uno de los meses de mayor precipitación registrados en los últimos años.

La Fig. 3-a, b, c y d muestra la distribución de la salinidad en superficie y fondo tomadas durante los dos ciclos de marea, baja y alta, en la parte interna del Golfo de Nicoya (la posición de la esquina inferior izquierda de los números indican el lugar del muestreo). Salinidades de 0 ppm se midieron al norte de Isla Chira, que no habían sido reportadas en estudios anteriores (Peterson 1960, Voorhis *et al.* 1983 y Valdés *et al.* 1987). Compárese con los valores de salinidad que fueron medidos durante la campaña de noviembre de 1990 de

Lizano & Vargas (1993) (Fig. 4-a y b) las cuales representaban hasta ese momento, los valores mas bajos medidos para la parte interna del Golfo de Nicoya.

La Fig. 3-c y d muestra valores tan bajos de salinidad como 8 ppm al frente de Punta Morales en la superficie y 32 ppm en el fondo a una profundidad de 14 y 20 metros, una diferencia de 24 ppm en la columna de agua, lo que representa un gradiente significativo en la columna de agua. Gradientes marcados se encontraron también, por ejemplo, frente a la entrada al estero de Isla Chira, donde en superficie se pueden encontrar 4 ppm y en el fondo 28/30 ppm a profundidades de 11/12 metros, justamente alrededor de esos huecos sobre los 10 metros de profundidad que se muestran en la Fig. 1.

CUADRO 2

Correlación entre salinidad y profundidad para el interior del Golfo de Nicoya. r_{sup} : coeficiente de correlación entre salinidad superficial y profundidad, r_{fon} : coeficiente de correlación entre salinidad de fondo y profundidad, $Q(m^3/s)$: descarga del Río Tempisque en la estación Guardia

no.	Fecha	Puntos	r_{sup}	r_{fon}	Q
1	20-X-89	13	0.5170	0.7401	20.9
2	21-X-89	13	0.1830	0.6590	20.5
3	27-X-89	11	0.2577	0.8873	19.2
4	12-I-90	14	0.4740	0.5802	10.0
5	10-II-90	14	0.7121	0.6925	8.2
6	20-IV-90	16	0.5653	0.6524	3.9
7	21-IV-90	9	0.4119	0.5968	4.2
8	31-VII-90	12	0.6350	0.7089	8.8
9	01-VIII-90	12	0.2801	0.5768	15.0
10	07-XI-90	21	0.7216	0.7966	59.2
11	08-XI-90	8	0.7588	0.7799	41.3
12	16-X-95	14	0.8106	0.8982	259.0
13	17-X-95	8	0.8571	0.8631	297.0

En la última campaña oceanográfica de octubre de 1995 era evidente una correlación entre profundidad y salinidad, por lo que ampliamos el análisis a otras campañas realizadas durante Lizano & Vargas (1993) para estudiar esta relación. El Cuadro 2 muestra los resultados de estos análisis. En este Cuadro 2 se nota una mayor correlación entre profundidad y salinidad en el fondo que entre profundidad y salinidad superficial para el mismo muestreo.

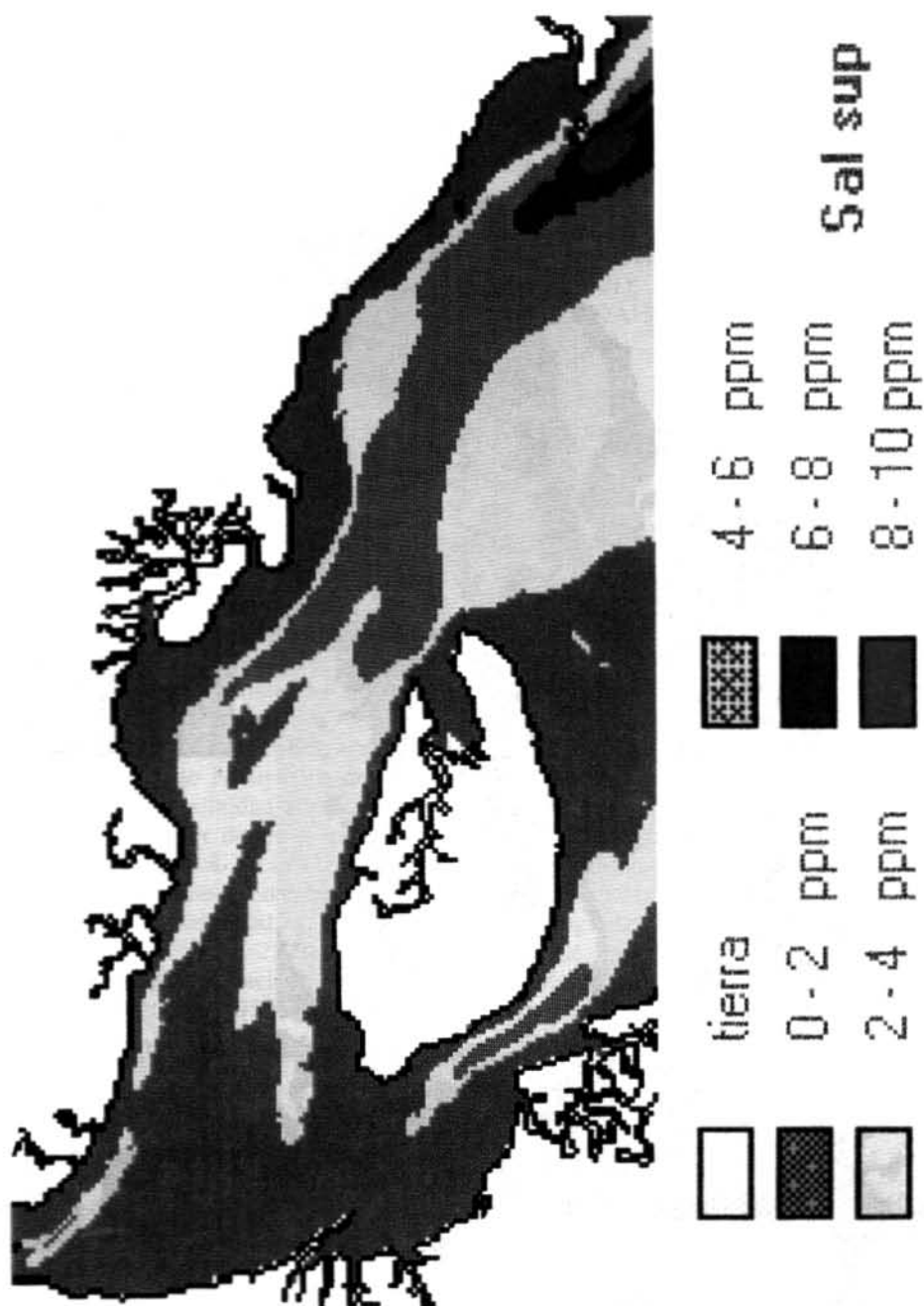


Fig. 5a. Imágenes de salinidad superficial en la parte interna del Golfo de Nicoya.

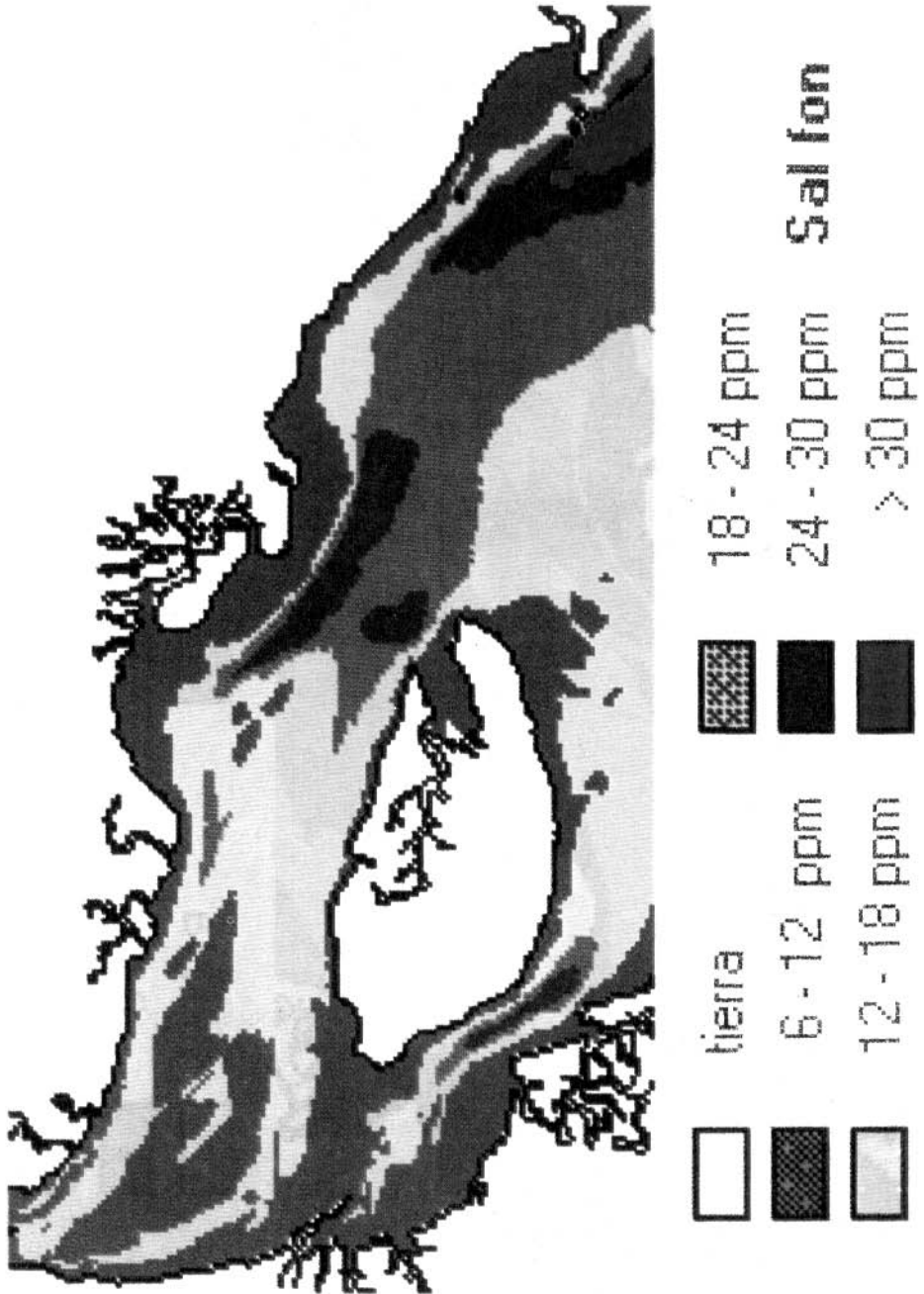


Fig. 5b. Imágenes de salinidad del fondo en la parte interna del Golfo de Nicoya.

noroeste de Isla Chira, específicamente, entre el Estero Chilamo e Isla Chira y entre el Estero Moraga e Isla Chira (Fig. 1), donde pareciera que se refugian gran cantidad de peces para eludir el gradiente de salinidad. Faltaría por investigar el recurso específico que es abundante durante estas situaciones.

Es necesario más muestreo donde además se analice la distribución del recurso pesquero. Se sabe que este recurso en el Golfo de Nicoya ha sido sobreexplotado (Campos & Corrales 1986, Mata 1994) en los últimos años, por lo que el esfuerzo de pesca, como la que hemos observado durante altas descargas de los ríos, podría estar afectando aún más la productividad del golfo.

Correlación entre salinidad, profundidad y descarga de los ríos: En la dinámica que gobierna la distribución de salinidad en un estuario hay fuerzas gravitacionales que se derivan del gradiente de este parámetro. Es conocido que el fenómeno llamado "bombeo por marea" (tidal pumping) y la fricción vertical entre capas (vertical shear) producen flujo de salinidad hacia el interior de un estuario, siendo este flujo mayor conforme aumenta la profundidad y la descarga de agua dulce (Uncles *et al.* 1985). Esto explica, cómo en el interior del Golfo de Nicoya, se encuentran valores mayores de salinidad a lo largo de los canales profundos, por donde le es más fácil penetrar la cuña salina hacia el interior del golfo. Es por esto que encontramos una alta correlación entre salinidad y profundidad como muestra el Cuadro 2. Las ecuaciones que describen esta correlación, por ejemplo, para el 17 de octubre de 1995, son:

$$S_{\text{sup}} = 0.198932 + 0.464842 h \quad (3)$$

$$S_{\text{fon}} = 8.109172 + 1.561243 h \quad (4)$$

donde S_{sup} es la salinidad superficial, S_{fon} la salinidad en el fondo y "h" la profundidad. Con la distribución espacial de batimetría que muestra la Fig. 1, las ecuaciones 3 y 4 y los módulos de Idrisi, se formaron las imágenes de salinidad (Fig. 5-a y b), que nos indican de una manera sinóptica la distribución de este campo en la parte interna de Golfo de Nicoya. Estas imágenes simulan la distribución espacial de la correlación entre salinidad y profundidad ante las altas descargas del Río

Tempisque que prevalecieron durante este estudio.

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. 805-94-201.

Al Departamento de Hidrología del ICE por suministrar los datos del registro de descargas del Río Tempisque en la Estación Guardia (74-19-01). Al Capitán Eleazar Ruíz de la lancha KAIS por su labor.

RESUMEN

Se estudió la dinámica de las aguas de la parte interna del Golfo de Nicoya ante grandes descargas de los ríos. Valores de 0 ppm fueron encontrados al norte de Isla Chira representando los valores más bajos reportados para esta zona y con gran significado para el planeamiento de proyectos de maricultura. Grandes gradientes de salinidad se generan durante la marea baja indicando el grado de estratificación de la parte interna del Golfo de Nicoya. Altas descargas de agua dulce de los ríos está acoplada con valores altos de salinidad en la cuña salada que penetra por el fondo hacia el interior del golfo. Se discute las posibles implicaciones que esta dinámica tiene con la degradación del medio ambiente y el impacto que tendría el manejo de la cuenca hidrográfica del Río Tempisque, especialmente los residuos derivados de la actividad agrícola. Bajo altas descargas del río los valores de salinidad están correlacionados con valores de profundidad, donde la fricción entre capas y el bombeo por marea podrían explicar los altos valores de salinidad encontrados en el flujo de fondo que penetra hacia dentro del golfo. Mediante las observaciones y el análisis de la distribución de salinidad se postula un modelo de posible distribución del recurso pesquero en el Golfo de Nicoya. Gradientes de salinidad parecen ser los responsables de la distribución del recurso pesquero sobre algunas depresiones específicas en el golfo.

REFERENCIAS

Campos, J. & A. Corrales. 1986. Preliminary results on

- the trophic dynamics of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 13: 329-334.
- Hackney, C.T., W.D. Burbanck & O.P. Hackney. 1976. Biological and physical dynamics of a Georgia tidal creek. *Chesapeake Sci.* 17: 271-280.
- Herrera, A. F. 1997. Marine Resources in Costa Rica. *NAGA. The Iclarm Quarterly* 20: 8-12.
- Kapetsky, J.M., L. McGregor & H. Nanne E. 1987. A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development. *FAO Fish. Tech.* 289. 51 p.
- Klemas, V., S.G. Ackleson, M.M. Murillo & J.A. Vargas. 1983. 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.
- Knauss, J.A. 1978. Introduction to Physical Oceanography. Ed. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, Nueva Jersey. 338 p.
- Lizano, O.G. & W. Fernández. 1996. Algunas características de las tormentas tropicales y de los huracanes que atravesaron o se formaron en el Caribe adyacente a Costa Rica durante el período 1886-1988. *Tóp. Meteorol. Oceanogr.* 3: 3-10.
- Lizano, O.G. & J.A. Vargas. 1993. Distribución espacio-temporal de la salinidad y temperatura en la parte interna del Golfo de Nicoya. *Tecnol. Marcha* 12: 3-16.
- Mata, A. 1994. La Cuenca del Golfo de Nicoya. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 235 p.
- Moser, M.L. & L.R. Gerry. 1989. Differential Effects of Salinity Changes on Two Estuarine Fishes, *Leiostomus xanthurus* and *Micropogonias undulatus*. *Estuaries* 12: 35-41.
- Peterson, C.L. 1960. The Physical Oceanography of the Gulf of Nicoya, Costa Rica, a Tropical Estuary. *Bull. Interam. Trop. Tuna Comm.* 4: 139-216.
- Pérez, K.T. 1969. An orthokinetic response to rates of salinity change in two estuarine fishes. *Ecology* 50: 454-457.
- Pritchard, D.W. 1952. Estuarine hydrography. *Adv. Geophys* 1: 243-280.
- Sanders, H.L., P.C. Mangelsdorf & G.R. Hampson. 1965. Salinity and faunal distribution in the Pocasset River, Massachusetts. *Limnol. Oceanogr.* 10: R216-R229.
- Schubel, J.R. & D.W. Pritchard. 1986. Responses of Upper Chesapeake Bay to Variations in Discharge of the Susquehanna River. *Estuaries* 9: 236-249.
- Sharp, J.H., L.A. Cifuentes, R.B. Coffin & J.R. Pennock. 1986. The Influence of River Variability on the Circulation, Chemistry, and Microbiology of the Delaware Estuary. *Estuaries* 9: 261-269.
- Stanley, D.J. & D.J.P. Swift. 1976. Marine Sediment Transport and Environmental Management. Wiley, Nueva York. 592 p.
- Uncles, R.J. & J.A. Stephens. 1993. The Freshwater-Salwater Interface and Its Relationship to the Turbidity Maximum in the Tamar Estuary, United Kingdom. *Estuaries* 16: 126-141.
- Uncles, R.J., R.C.A. Elliott & S.A. Weston. 1985. Observed Fluxes of Water, Salt and Suspended Sediment in a Partly Mixed Estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 20: 147-176.
- Valdez, J. C.L. Brenes, E. Solís & M. Mendelewicz. 1987. Propiedades físico-químicas de las aguas del Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Ing. Cienc. Quím.* 11: 21-25.
- Voorhis, A.D., C.E. Epifanio, Don Maurer, A.I. Dittel & J.A. Vargas. 1983. The estuarine character of Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia* 99: 225-237.