

CIRCULACION Y MASAS DE AGUA EN LA REGION DE LA  
BOCA DEL GOLFO DE CALIFORNIA EN LA PRIMAVERA  
DE 1970.

por

LUIS GUSTAVO ALVAREZ SANCHEZ  
Unidad de Ciencias Marinas  
Apartado Postal 453  
Ensenada, B.C., México

MERRITT R. STEVENSON  
Comisión Interamericana del Atún Tropical  
La Jolla, California 92093  
U.S.A.

BRUCE WYATT  
Oregon State University  
Corvallis, Oregon 97331  
U.S.A.

RESUMEN.

Se describe la circulación geostrófica y las masas de agua en la región de la boca del Golfo de California mediante análisis de datos hidrográficos tomados en la primavera de 1970.

La estructura termohalina del agua y la circulación general en la proximidades de la boca indican la presencia de cuatro masas de agua. Agua de la Corriente de California en el margen Oeste de la boca, Agua Subtropical Superficial en la parte central y Agua del Golfo de California en el margen Este. Bajo estas tres se identificó el Agua Subtropical Subs superficial entre 150 y 500 metros.

Los cálculos geostróficos indican una amplia región de salida de agua a través de la boca en el margen Este. La intensidad de la corriente fue cercana a 30 cm/seg en la superficie, decreciendo a 3 cm/seg a 300 metros de profundidad. Se observó entrada de agua hacia el Golfo en la parte central de la boca con intensidades de 30 a 40 cm/seg en la superficie. En los 150 metros superiores el Agua de la Corriente de California estaba asociada con corriente entrando al Golfo y el Agua del Golfo de California se encontró saliendo.

## CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

### ABSTRACT.

Hydrographic data were used to describe the geostrophic currents and water masses near the mouth of the Gulf of California in the early spring of 1970.

The thermohaline structure and the general circulation in the vicinity of the mouth indicated that four water masses were present. California Current Water on the western side of the mouth, Subtropical Surface Water in the middle part and Gulf of California Water on the eastern side. Underlying these three waters, Subtropical Subsurface Water was found from about 150 to 300 meters.

The geostrophic calculations indicate that a broad region of outflow from the Gulf existed on the eastern side. Speeds were near 30 cm/sec at the surface and decreased to 3 cm/sec at 300 meters. Inflow to the Gulf was observed in the middle part of the mouth at speeds of 30 to 40 cm/sec.

In the upper 150 meters the low salinity water from the California Current was flowing into the Gulf. The high salinity Gulf of California Water was found in the regions of outflow from the Gulf.

### INTRODUCCION.

La región de la boca del Golfo de California presenta notables variaciones en la distribución de propiedades fisicoquímicas por estar situada en una zona transicional del Océano Pacífico. Aquí se reúne el agua de origen subártico, de temperatura y salinidad relativamente bajas, con aguas cálidas de la región ecuatorial sin que se observen fronteras bien definidas entre ellas (Sverdrup, 1942; Kin'yushev, 1970).

Los trabajos previos en esta región concuerdan en cuanto al origen de las masas de agua aunque existe nomenclatura diferente. El agua de la Corriente de California, el agua formada dentro del Golfo y el agua de origen tropical y subtropical se han encontrado interactuando en la región de la boca del Golfo de California. Según Roden (1964) la frontera sur del Golfo, desde el punto de vista oceanográfico, es una línea entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes (Fig. 1).

La clasificación de masas de agua de Roden y Groves (1959), en base a temperatura y salinidad, define el Agua de la Corriente de California, el Agua Ecuatorial y el Agua del Golfo de California, con salinidades que aumentan progresivamente en este orden.

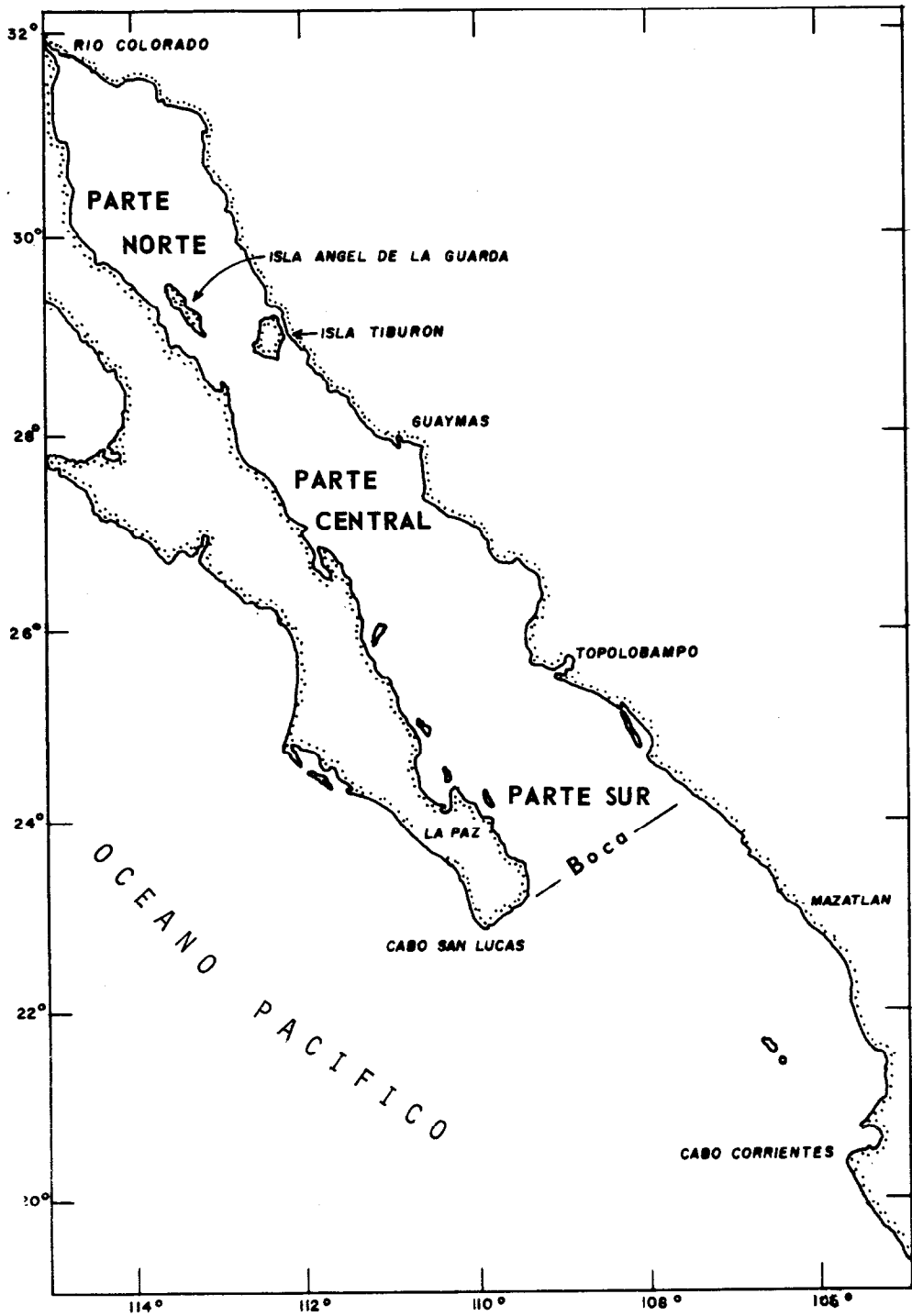


Figura 1. Localización del Golfo de California y sus regiones oceanográficas según Roden y Groves (1959).

## CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

En el trabajo de Wyrcki (1967) sobre la circulación y masas de agua en el Pacífico Oriental, entre Baja California y Perú, identifica cuatro masas de agua en las cercanías del Golfo de California: Agua de la Corriente de California, Agua Subtropical Superficial y Agua del Golfo de California. Bajo éstas se presenta el Agua Subtropical Subsuperficial como un máximo de salinidad originado al sur del ecuador.

La distribución espacial y temporal de las tres masas de agua superficiales en la boca del Golfo no está bien establecida aún, pero es evidente la variabilidad tan marcada en los 200 metros superiores.

El intercambio de agua entre el Golfo de California y el Océano Pacífico se ha estudiado mediante conservación de masa y sal por Roden y Groves (1959). El método geostrófico se ha empleado más frecuentemente considerando un nivel de referencia que varía según los muestreos entre 250 y 1500 metros (Stevenson, 1970; Warsh y Warsh, 1971; Roden, 1972). Una característica común que han encontrado estos autores en la boca es la presencia de regiones definidas de entrada y salida variables, temporal y espacialmente. Estos "núcleos" de agua en movimiento a través de la boca alcanzan intensidades de 55 cm/seg.

En este trabajo se analizan los datos hidrográficos de los 500 metros superiores en la región adyacente a lo que geográficamente puede considerarse la boca del Golfo de California para determinar las masas de agua y la forma en que circulaban en la época de muestreo.

### DATOS.

Las observaciones fueron hechas por los barcos oceanográficos CAYUSE de la Oregon State University y el DAVID STARR JORDAN del National Marine Fisheries Service de Estados Unidos, entre el 18 de marzo y el 3 de abril de 1970, en la región de la boca del Golfo de California (Fig. 2).

Las observaciones del CAYUSE se obtuvieron de 14 estaciones de lances hidrográficos. La Temperatura se leyó de termómetros reversibles con aproximación de 0.02 °C y la salinidad se midió a bordo con un salinómetro de inducción con precisión de  $\pm 0.004$  ‰. Los datos del DAVID STARR JORDAN se obtuvieron de 31 lances de STD. La temperatura y salinidad se determinaron con precisión de  $\pm 0.02$  °C y  $\pm 0.01$  ‰ respectivamente (Stevenson, 1971). De un total de 45 estaciones, 27 forman parte de tres secciones que cruzan la región de la boca del Golfo. La sección I esta al Este de Cabo San Lucas y las secciones II y III entre la Paz y Topolobampo (Fig. 2).

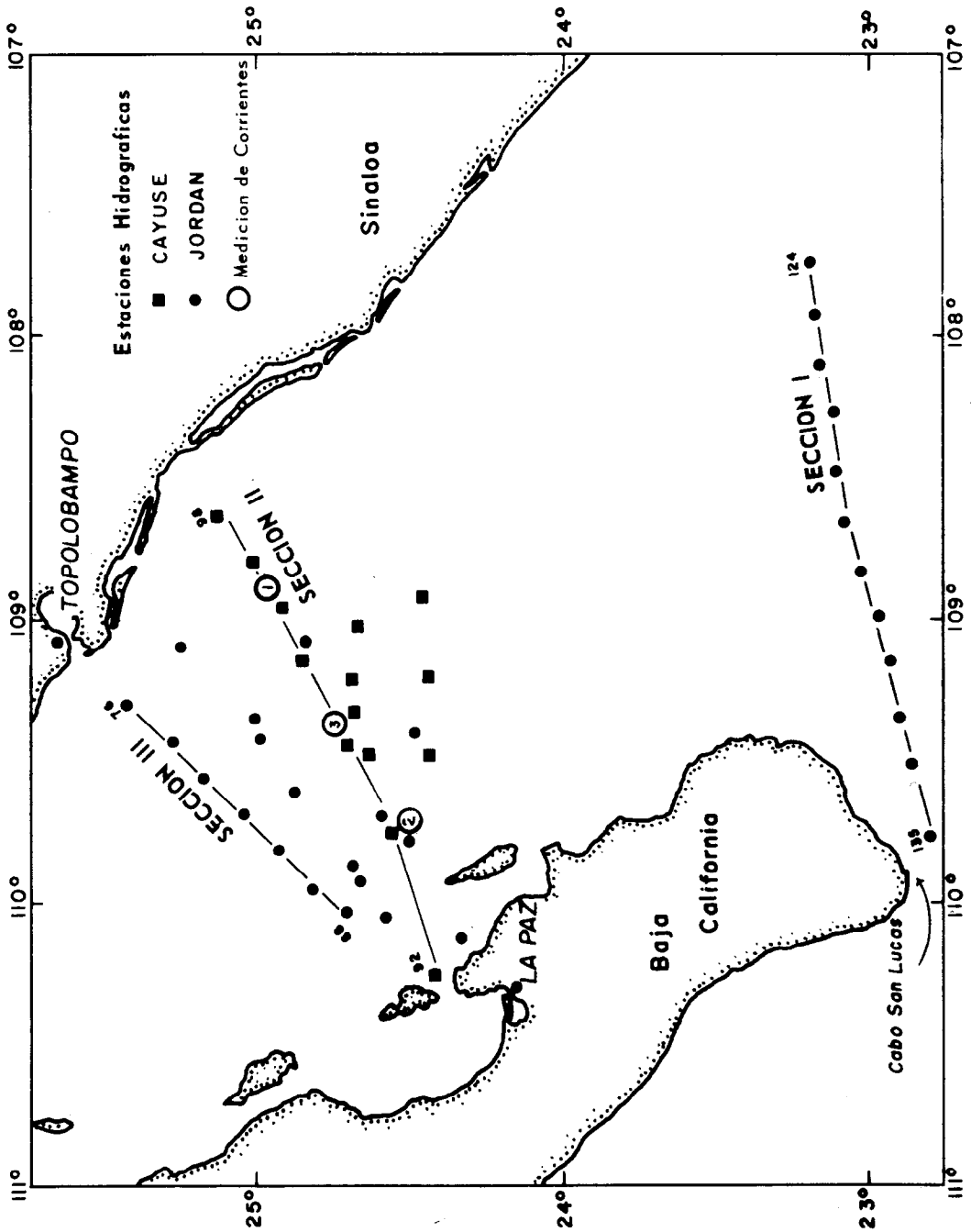


Figura 2. Estaciones en la región de la boca del Golfo de California tomadas en marzo y abril de 1970.

## CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

### RESULTADOS Y DISCUSIONES.

#### Masas de Agua

Los datos de salinidad y temperatura de las secciones I, II y III se presentan en el diagrama T-S de la Figura 3. La identificación de las masas de agua se hizo siguiendo el criterio de Wyrтки (1967) con la modificación propuesta por Warsh, et al. (1973) de caracterizar el agua del Golfo de California por salinidades mayores de 34.9 ‰. La tabla 1 contiene la información básica sobre las masas de agua identificadas en este estudio y su distribución vertical en los 500 metros superiores.

Masas de Agua	Salinidad ‰	Profundidad (m)
A. de la Corriente de California	<34.6	0 - 150
A. Subtropical Superficial	34.6 - 34.9	0 - 150
A. del Golfo de California	>34.9	0 - 100
A. Subtropical Subsuperficial	34.6 - 34.8	150 - 500

Tabla 1.- Masas de agua en los 500 metros superiores de la región de la boca del Golfo de California. Primavera de 1970.

La presencia del agua Tropical Superficial en la boca del Golfo fue indicada por Warsh, et al. (1973) para condiciones de verano. Estos autores consideran que las salinidades menores de 34.6 ‰ fueron el resultado de mezcla entre el agua de la Corriente de California y el agua Tropical Superficial que fue definida por Wyrтки (1967) con salinidades menores de 34.0 ‰. Esta última se distribuye en el Océano Pacífico Oriental hasta los 15°N con variación de 5° de latitud en el año y verticalmente forma una capa delgada de 20 a 50 metros de espesor.

Considerando que la circulación superficial en mar abierto y en las proximidades de la boca del Golfo es hacia el Sur y Sureste en invierno y primavera y en sentido opuesto en verano y otoño (Wyrтки, 1965) se asume que las salinidades menores de 34.6 ‰ no resultan de la presencia del Agua Tropical Superficial. Durante el muestreo esta agua era alejada hacia el Sur por la circulación superficial de tal modo que las bajas salinidades se atribuyen al agua de la Corriente de California que tiene su máxima extensión Sur durante primavera y que ha sido detectada durante todo el año frente a cabo San Lucas entre 0 y 150 metros de profundidad (Stevenson, 1970).

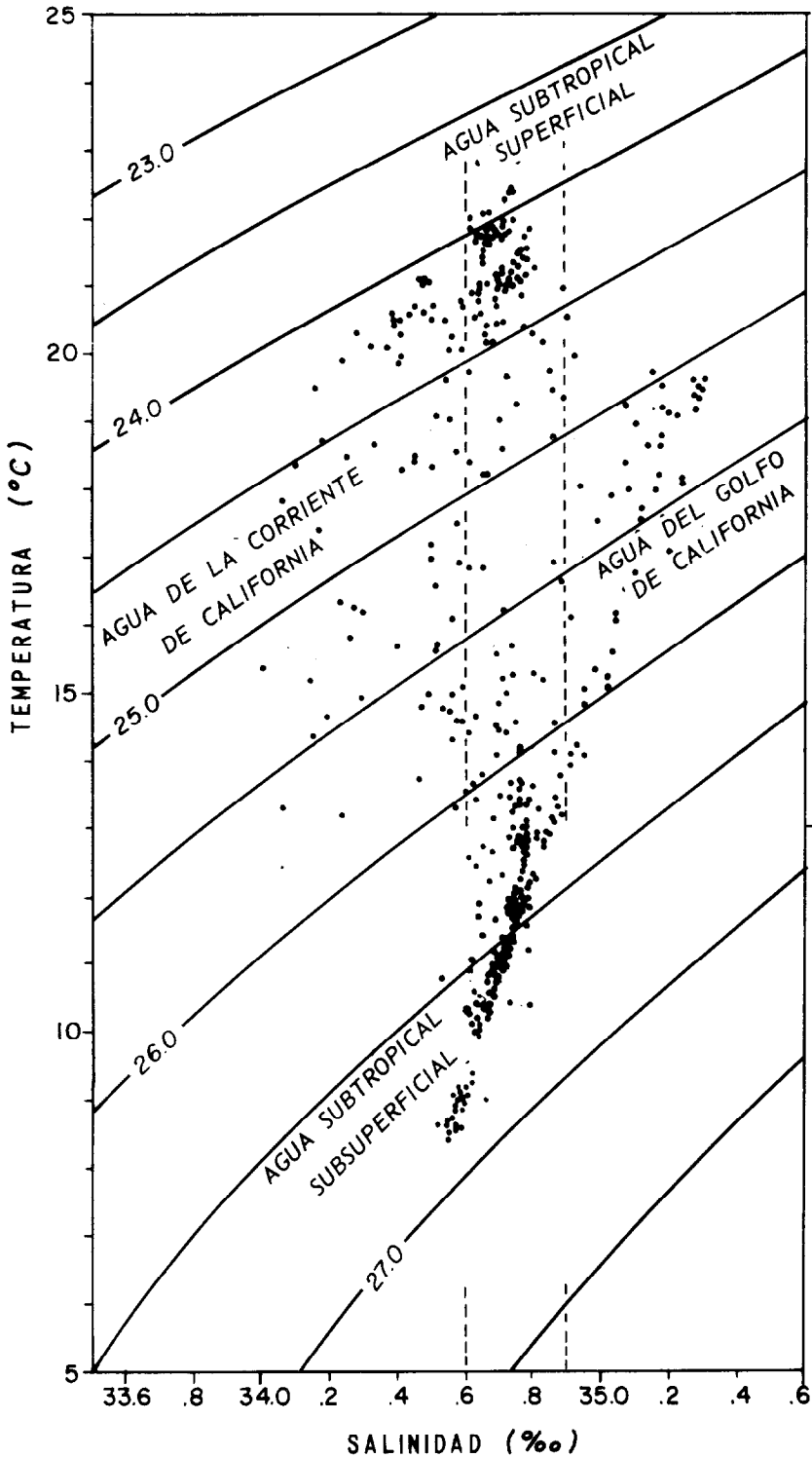


Figura 3. Diagrama T-S y masas de agua en los 500 metros superiores de las secciones I, II y III en la región de la boca del Golfo de California. Marzo y abril de 1970.

## CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

El agua de la Corriente de California se encontró en la parte central y Oeste de las secciones, frente a Baja California, el Agua Subtropical Superficial en la parte central y el Agua del Golfo de California, con altas salinidades, en la parte Este, frente a las costas de Sinaloa. El Agua Subtropical Subsuperficial se presentó subyacente a las tres anteriores. La distribución de las masas de agua en las secciones I, II y III se representan en las figuras 4, 5 y 6 respectivamente, indicando las isohalinas que definen los núcleos de bajas y altas salinidades.

La presencia de estas masas de agua concuerda con lo descrito en estudios previos cuando se describen en función de sus propiedades termohalinas. La distribución espacial de éstas en la región de la boca tiene cambios muy notables en el tiempo. El agua del Golfo de California puede encontrarse extendida sobre la boca del Golfo como una capa delgada de cerca de 30 metros de espesor o bien ocurrir como núcleos subsuperficiales en los 100 metros superiores. Estos mismo tipos de cambio se presentan en el agua de la Corriente de California. La distribución de estas dos masas de agua se estudió en la región de la boca del Golfo, en base a su salinidad, considerando todos los muestreos disponibles desde 1939 hasta 1969. No se encontró forma de distribución estacional de las masas de agua mencionadas posiblemente por la compleja circulación.

### Circulación Geostrófica.

Se calculó la distribución vertical de corrientes geostroficas a través de las secciones I, II y III, con nivel de referencia en 500 decibares o aproximadamente 500 metros de profundidad. Este nivel de referencia ha sido empleado previamente por Roden y Groves (1959) y Griffiths (1968) en la misma región. Las intensidades de la corriente a través de las secciones se presentan en las figuras 4, 5 y 6.

Se observan regiones de flujo en direcciones opuestas que pueden trazarse desde la superficie hasta 300 metros de profundidad. En general las intensidades son cercanas a 30 cm/seg pero llegan a alcanzar 50 cm/seg como en la sección I (Fig. 4). La intensidad disminuye al aumentar la profundidad siendo menor de 5 cm/seg a 300 metros. El gradiente vertical de velocidad es mayor en la región de la termoclina que se encuentra entre 50 y 100 metros.

En las secciones de corriente geostrofica se incluyen las isohalinas de 34.6 ‰ y 34.9 ‰ que definen las regiones de baja y alta salinidad del Agua de la Corriente de California y del Agua del Golfo de California, respectivamente.

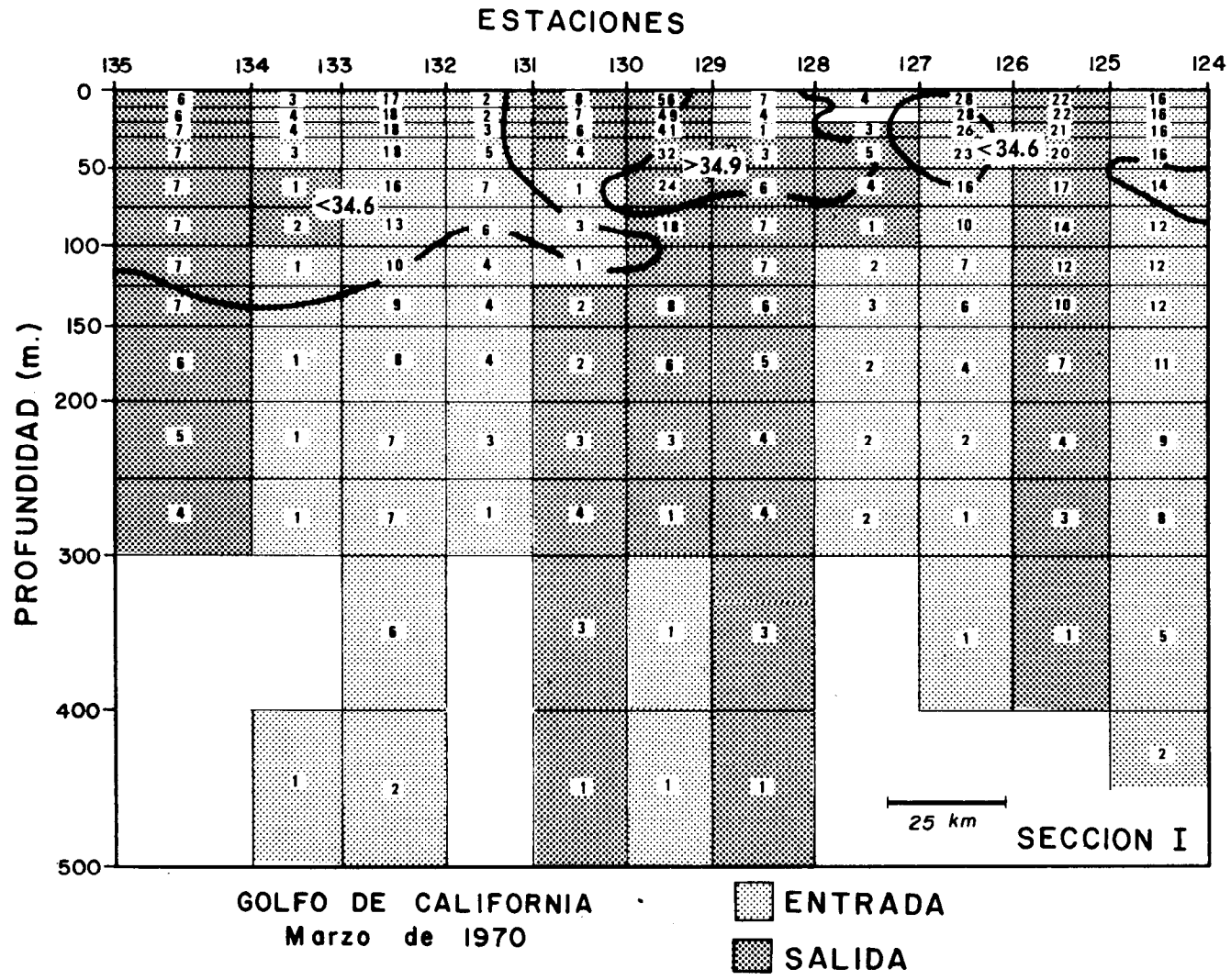


Figura 4. Distribución vertical de intensidad de la corriente geostrofica (cm/seg) a través de la sección I. Se indican las regiones de alta y baja salinidad.

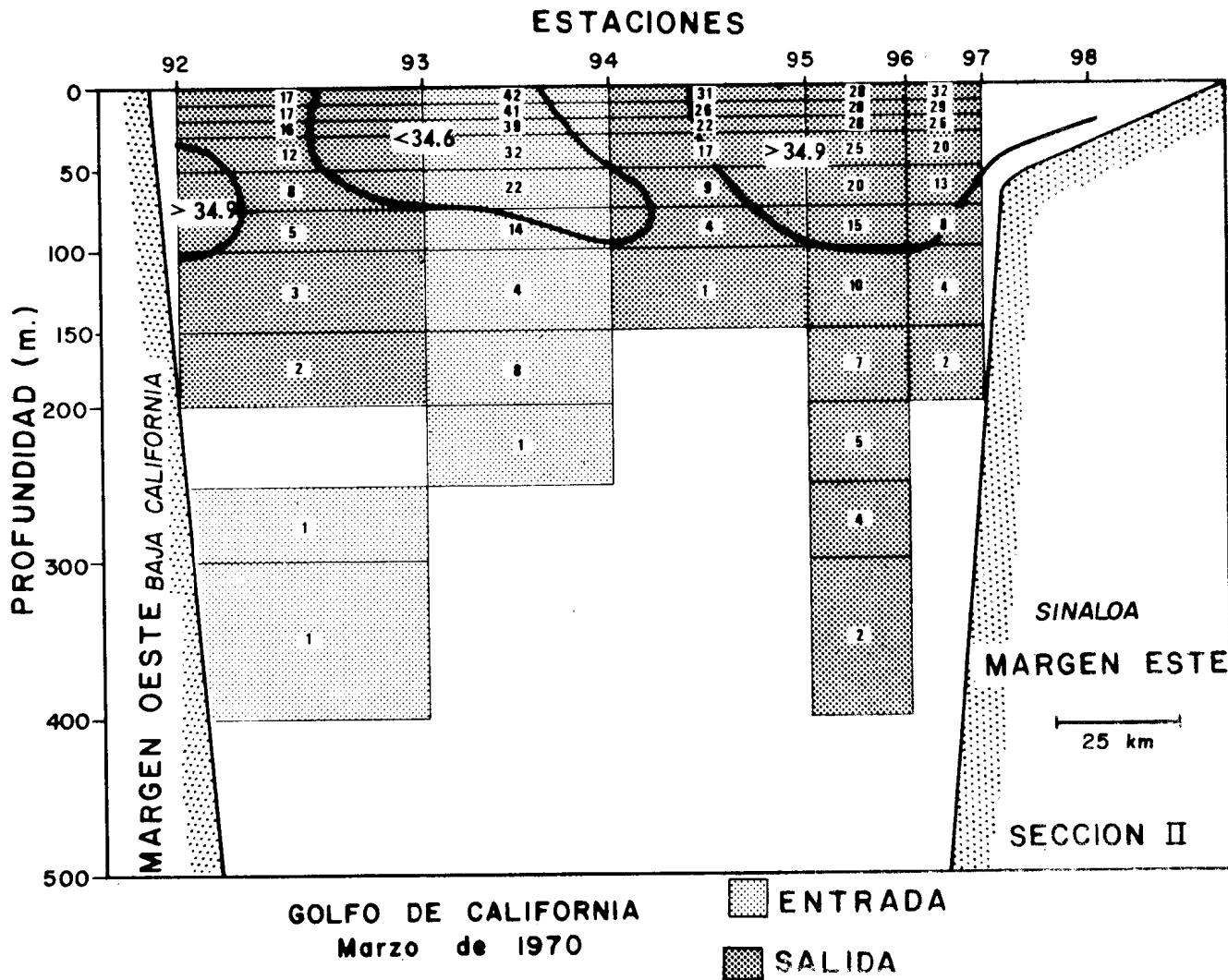


Figura 5. Distribución vertical de intensidad de la corriente geostrofica (cm/seg) a través de la sección II. Se indican las regiones de alta y baja salinidad.

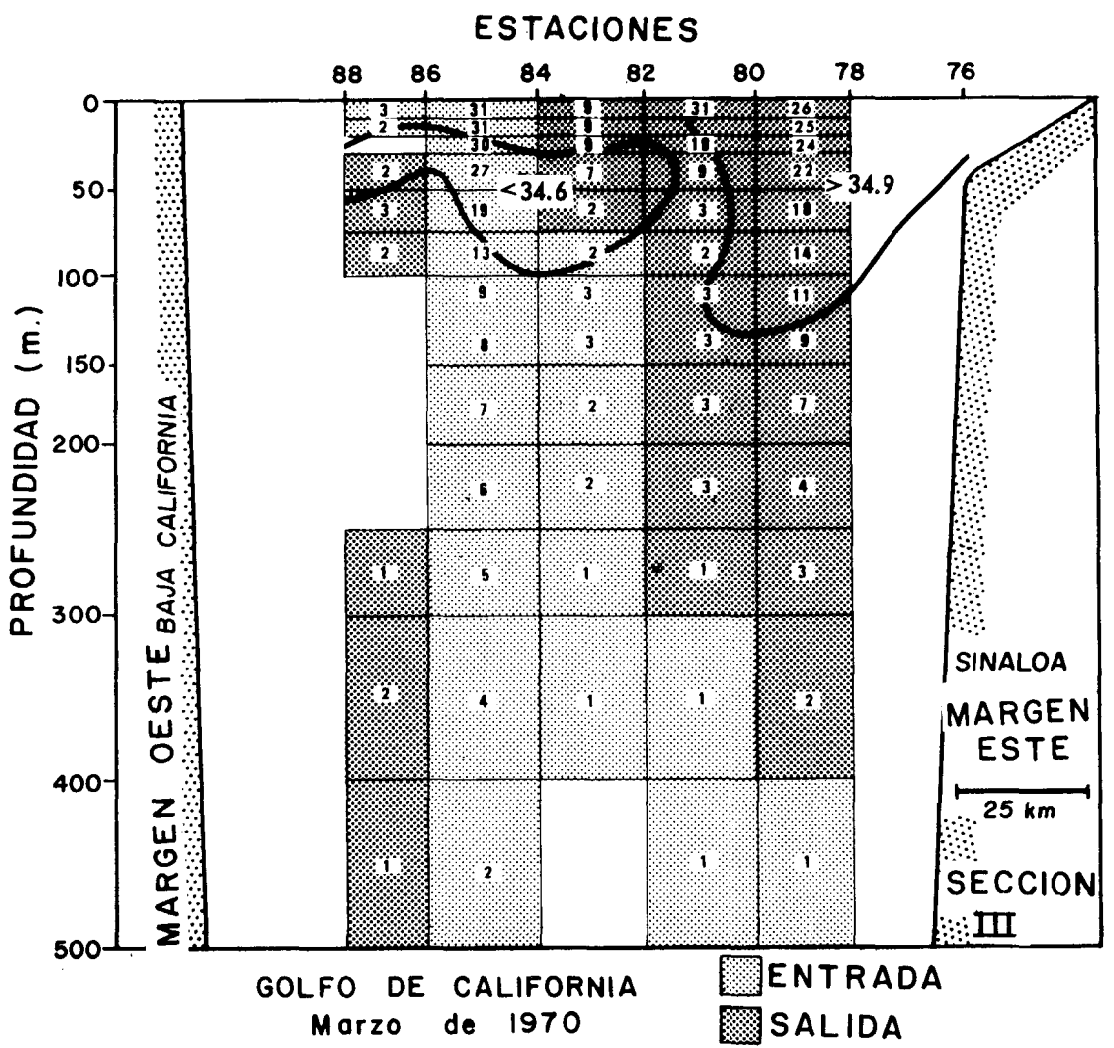


Figura 6. Distribución vertical de intensidad de la corriente geostrofica (cm/seg) a través de la sección III. Se indican las regiones de alta y baja salinidad.

## CIRCULACION Y MASAS DE AGUA

En las secciones II y III (Fig. 5 y 6) el Agua del Golfo de California se presenta saliendo hacia el Sur principalmente por la parte Este de las secciones mientras que el Agua de la Corriente de California está entrando al Golfo por la parte central y Oeste alcanzando 180 kilómetros al Norte de la boca. En estudios previos se indica que el Agua de la Corriente de California permanece durante el año cerca de Cabo San Lucas entre 0 y 150 metros (Stevenson, 1970). Warsh, *et al.* (1973) la han detectado en las cercanías de la Isla Cerralbo y consideran que posiblemente esta sea su máxima penetración dentro del Golfo. Las observaciones del presente estudio indican que el Agua de la Corriente de California penetró hasta los 25°N en una región donde la corriente geostrofica era dirigida hacia el interior del Golfo con intensidad entre 20 y 30 cm/seg como se muestra en la sección III (Fig. 6).

En la sección I la circulación es más complicada y la relación entre las masas de agua y el sentido de flujo no es clara. En general, la entrada de agua hacia el Golfo está relacionada con bajas salinidades y la salida con altas salinidades. Este tipo de intercambio evita la acumulación excesiva de sal en el interior del Golfo de California debido a la intensa evaporación.

### Transporte por Corrientes Geostroficas.

Se calculó el transporte a través de la sección II entre la superficie y 500 metros con los datos de corriente geostrofica. Resultó un transporte de entrada  $Q_e = 1.25$  Sv ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) y un transporte de salida  $Q_s = 2.40$  Sv. Estos valores son similares a los descritos por Roden y Groves (1959). La discrepancia entre la entrada y la salida puede deberse a que los 500 metros superiores representan únicamente el 35% del área total de la sección de la boca del Golfo. El flujo necesario para el balance de masa puede presentarse a mayores profundidades y cerca de la costa donde no se hicieron observaciones.

### RECONOCIMIENTOS.

El crucero del CAYUSE al Golfo de California fue posible mediante el contrato No. N00014-67-A-0369-007 con la ONR de Estados Unidos.

Este trabajo es parte de la tesis de Maestría en Ciencias del primer autor, la cual fue posible gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que otorgó la beca para los estudios en Oregon State University.

BIBLIOGRAFIA.

- Griffiths, R.C. 1968. Physical, chemical and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California. Spring of 1960. Spec. Sci. Rep. U. S. Fish. Wild. Serv., No. 573, 47 pp.
- Kin'dyushev, V. I. 1970. Seasonal variations of the water masses in the California region of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 10 (4): 456-464.
- Roden, G.I. and G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Jour. Mar. Res.* 18 (1): 10-35.
- Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. En: *Marine Geology of the Gulf of California*. Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., Memoir 3, 90-121.
1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and the Revilla Gigedo Islands region. *Jour. Phys. Oceanography*, 2 (2): 177-183.
- Stevenson, M.R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance to the Gulf of California, October 1966-August 1967. *Inter--Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.* 4 (3): 389-504.
- Stevenson, M.R. and F.R. Miller. 1971. Oceanographic and meteorological observations for the project Little Window: March 1970. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Data Rept.* 4, 324pp.
- Sverdrup, H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming. 1942. *The oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice Hall, Engelwood Cliffs, N.J. 1087pp.
- Warsh, C.E. and K. L. Warsh. 1971. Water exchange at the mouth of the Gulf of California. *Jour. Geo. Res.* 76: 8098-8116.
- Warsh, C.E., K. L. Warsh and R. C. Stanley. 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. *Deep-sea Res.* 20: 561-570.
- Wyrtki, K. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull.*, 9 (5): 269-304.
1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Jour. Oceanol. Limnol.* 1(2): 114-147.

Recibido: 31 de Mayo de 1978.