

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



U.A.B.C

HIDROLOGIA DE LA PARTE NORTE DEL GOLFO
DE CALIFORNIA A FINALES DE INVIERNO.

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

O C E A N O L O G O
P R E S E N T A :

AMADO VILLASEÑOR CASALES

Ensenada, Baja California 1974.

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA U. A. B. C.

A
LUIS ARMANDO
Y
CARLOS ALBERTO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
MATERIALES Y METODOS	7
RESULTADOS	8
Distribución de propiedades	10
Temperatura	10
Salinidad	19
Oxígeno disuelto	28
DISCUSIONES	38
CONCLUSIONES	47
AGRADECIMIENTOS	49
LITERATURA CITADA	51

ADQUIRIDO por DON.
Fecha de ingreso NOV 23 1976

LISTA DE FIGURAS

1.	Localización de estaciones del Crucero 7303-G en la parte norte del Golfo de California. Marzo 6 al 24 de 1973.	5
2.	Localización de transectos longitudinales. Transecto "A" ----- Transecto "B" _____	9
3.	Distribución superficial de temperatura (°C) en la parte norte del Golfo de California.	11
4.	Distribución de temperatura (°C) a 10 m en la parte norte del Golfo de California	12
5.	Distribución de temperatura (°C) a 50 m en la parte norte del Golfo de California	13
6.	Distribución de temperatura (°C) a 100 m en la parte norte del Golfo de California	14
7.	Distribución de temperatura (°C) a 200 m en la parte norte del Golfo de California	15
8.	Distribución vertical de temperatura (°C) en la parte norte del Golfo de California. Profundidad en metros	16
9.	Distribución vertical de temperatura (°C). Transectos longitudinales (fig. 2). Profundidad en metros	18
10.	Distribución superficial de salinidad (‰) en la parte norte del Golfo de California	20
11.	Distribución de salinidad (‰) a 10 m en la parte norte del Golfo de California	21
12.	Distribución de salinidad (‰) a 50 m en la parte norte del Golfo de California	22
13.	Distribución de salinidad (‰) a 100 m en la parte norte del Golfo de California	23
14.	Distribución de salinidad (‰) a 200 m en la parte norte del Golfo de California	24
15.	Distribución vertical de salinidad (‰) en la parte norte del Golfo de California. Profundidad en metros	25

16.	Distribución vertical de salinidad ($^{\circ}/\text{oo}$). Transectos longitudinales (fig. 2). Profundidad en metros	27
17.	Distribución superficial de oxígeno disuelto (ml/L) en la parte norte del Golfo de California	29
18.	Distribución de oxígeno disuelto (ml/L) a 10 m en la parte norte del Golfo de California	30
19.	Distribución de oxígeno disuelto (ml/L) a 50 m en la parte norte del Golfo de California	31
20.	Distribución de oxígeno disuelto (ml/L) a 100 m en la parte norte del Golfo de California	32
21.	Distribución de oxígeno disuelto (ml/L) a 200 m en la parte norte del Golfo de California	33
22.	Distribución vertical de oxígeno disuelto (ml/L) en la parte norte del Golfo de California. Profundidad en metros	35
23.	Distribución vertical de oxígeno disuelto (ml/L). Transectos longitudinales (fig. 2). Profundidad en metros	36

INTRODUCCION

La exploración científica del Golfo de California empezó en 1889 cuando la embarcación "Albatross" de la Comisión de Pesca de los E. U. A. realizó una serie de estaciones hidrográficas, principalmente en la parte norte. Los datos colectados consistieron en temperaturas y determinaciones de densidad. Thorade (1909) (citado por Roden, 1958), efectuó un análisis sobre la Corriente de California y aguas adyacentes, examinando datos de bitácoras de barcos obtenidos durante varios años, siendo el primer investigador que elaboró gráficas de distribución superficial tanto de temperatura y salinidad como de vientos, deduciendo a partir de ellas otras características de esta zona. Schott (1935) (citado por Roden, 1958), menciona someramente la discontinuidad de temperatura que se presenta cerca de Cabo San Lucas así como los huracanes de esta región.

La Institución de Oceanografía Scripps realizó en la primavera de 1939 y a finales del otoño de 1940 en el "E. W. Scripps", dos cruceros en el Golfo de California bajo la dirección de H. U. Sverdrup. En el primero se tomaron datos de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y observaciones de plancton en las 53 estaciones ocupadas. El objetivo principal del segundo crucero fué geológico, aún cuando se efectuaron unas pocas estaciones hidrográficas (Roden, 1958). En 1943, 1944 y 1946, el gobierno de México patrocinó un estudio en el área del Golfo de California conducido por Osorio Tafall, con objeto de ver las posibilidades de establecer una industria de guano (Robinson, 1973). Durante

los años de 1956 y 1957, la Institución de Oceanografía Scripps en colaboración con el Servicio de Caza y Pesca de los E. U. A., efectuó siete cruceros en el Golfo de California. Los principales objetivos fueron determinar las variaciones estacionales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en las capas superiores e investigar las condiciones biológicas de la zona (Roden y Groves, 1959). En la primavera de 1959 varias instituciones estadounidenses (la Oficina de Investigación Naval, el Instituto Americano del Petróleo y la Fundación Nacional para la Ciencia), patrocinaron la Expedición del Mar Bemmejo (Van Andel y Shore, 1964).

Griffiths (1963, 1965 y 1968) realizó estudios de propiedades físicas, químicas y biológicas cerca a la entrada del Golfo de California así como estudios de frentes oceánicos, durante abril a mayo de 1960 y abril de 1961. Stevenson (1970) describe la oceanografía física y biológica cerca a la entrada del Golfo de California, con los datos obtenidos en los ocho cruceros realizados desde octubre de 1966 a agosto de 1967 por la Comisión Interamericana del Atún Tropical en cooperación con la Dirección General de Pesca e Industrias Conexas de México. Roden (1972), interpretando perfiles registrados por medio del STD, hace una investigación detallada de la estructura de la termohalina, la estabilidad vertical y flujo baroclínico en la entrada del Golfo de California y en la región de las Islas Revillagigedo, durante el crucero realizado en noviembre y diciembre de 1969 a bordo de la embarcación "Thomas G. Thompson". Robinson (1973) presenta un atlas que contiene cartas con temperaturas medias mensuales

de la superficie y cuatro niveles subsuperficiales del Golfo de California y aguas adyacentes.

A partir del año 1971, la Secretaría de Industria y Comercio a través del Instituto Nacional de Pesca, se abocó a la investigación oceanográfica sistematizada del Golfo de California y aguas adyacentes, realizando varios cruceros en dicha zona, algunos de ellos en colaboración con instituciones nacionales y extranjeras. Desde entonces (abril de 1971 a febrero de 1974) se han efectuado con fines hidrográficos y planctonológicos, nueve cruceros en el Golfo de California así como otros siete en la costa occidental de la Península de Baja California, a bordo de los barcos de investigación "Alejandro de Humboldt" y "Antonio Alzate".

El Golfo de California es una región importante porque representa la única zona aislada de evaporación del Océano Pacífico. Se encuentra comprendido desde los 23° N hasta los 32° N y entre la Península de Baja California por el oeste y los estados de Sonora y Sinaloa por el este. Tiene una forma aproximadamente rectangular, con una longitud de más o menos 1,400 km y una anchura promedio de 150 km; con estos datos se obtiene un área aproximada para el Golfo de 210,000 km² (Roden, 1958). Las dos islas más grandes que presenta el Golfo de California son Angel de la Guarda y Tiburón, ambas con elevaciones mayores de 1,500 metros (Roden, 1958). La parte más angosta que se encuentra al sur de la Isla Tiburón es de unos 111 km y su parte más ancha en la latitud 23° N, es de alrededor de 204 km (Robinson,

1973). Esto es por lo que respecta al Golfo de California en sí, pero Roden (1958) considera también como parte del mismo la zona comprendida entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes, denominando a dicha zona "entrada del Golfo de California", la cual tiene un área aproximada de 40,000 km².

El día 6 de marzo de 1973 zarpó del puerto de San Diego, Calif., el barco de investigación estadounidense "Alexander Agassiz", propiedad de la Institución de Oceanografía Scripps, con objeto de efectuar un crucero oceanográfico en la parte norte del Golfo de California en la zona comprendida entre las islas Angel de la Guarda y Tiburón y las cercanías de la desembocadura del Río Colorado (a la altura de San Felipe, B. C.), terminándose el crucero el 24 del mismo mes. Simultáneamente el "Adventyr", un pequeño barco de Puerto Peñasco, Son., propiedad de la Universidad de Sonora y operado por personal de la Unidad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, llevó a cabo en la misma fecha hidrolances someros así como arrastres de plancton en el área de la desembocadura del Río Colorado. Estos cruceros se efectuaron en colaboración con la Universidad del Estado de California, San Diego, Calif., la Unidad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. y el Instituto Nacional de Pesca, México, D. F. En la figura 1 se muestran las estaciones que se ocuparon durante estos cruceros.

Los propósitos de los cruceros realizados por el "Alexander Agassiz" y el "Adventyr", fueron examinar e investigar los pará-

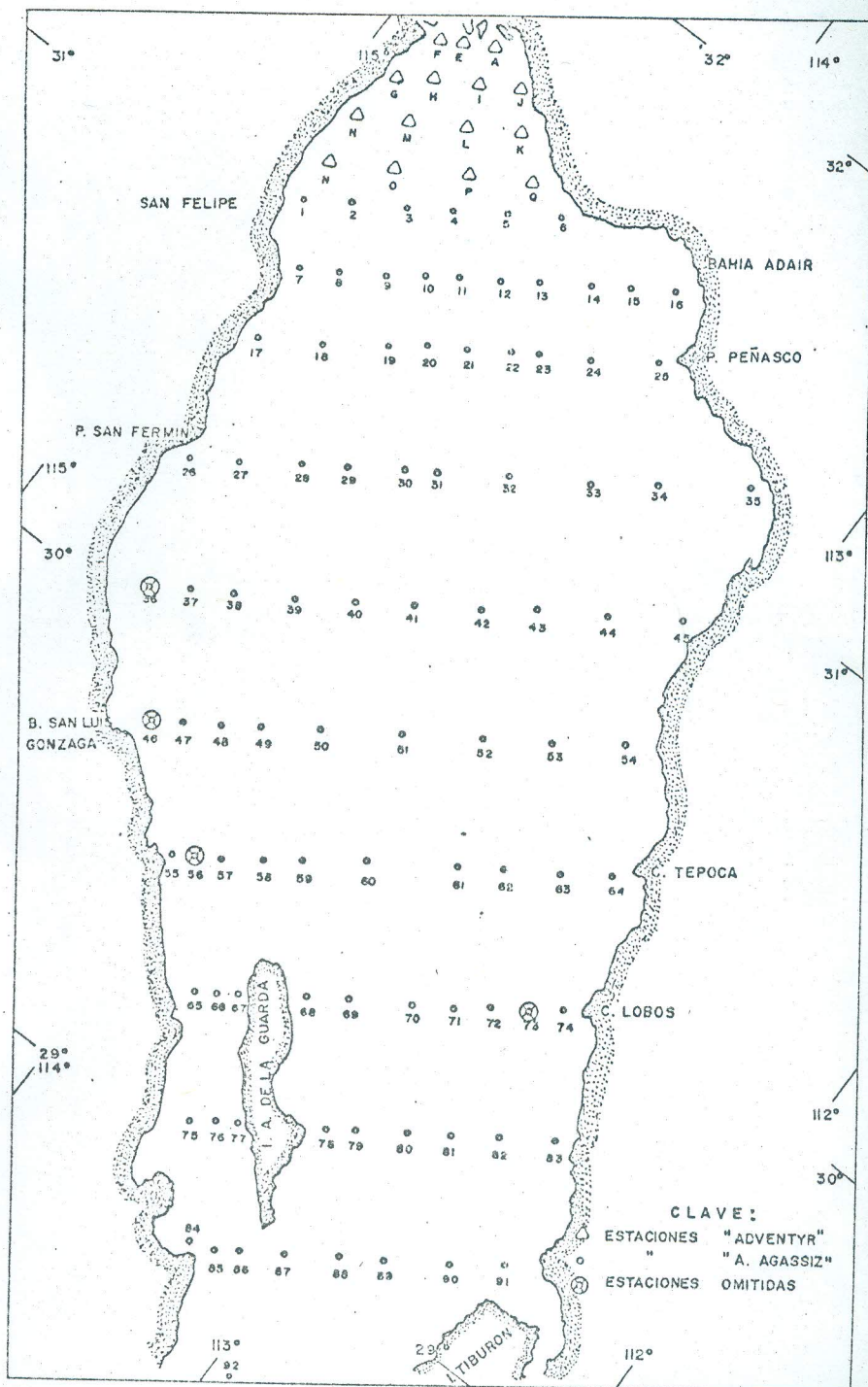


FIG. 1 LOCALIZACION DE ESTACIONES DEL CRUCERO 7303-G EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA. MARZO 6 AL 24 DE 1973.

metros biológicos, químicos, físicos y batimétricos en la parte norte del Golfo de California. El presente trabajo se propone describir las distribuciones espaciales de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($^{\circ}/\text{oo}$) y oxígeno disuelto (ml/L) para el período de tiempo mencionado anteriormente, utilizando los datos obtenidos en dichos cruceros. Se espera que los resultados obtenidos en el presente estudio sirvan para futuros trabajos ecológicos de las distintas especies de interés comercial, actual o potencial, que viven en esta zona, así también como para futuras investigaciones científicas.

MATERIALES Y METODOS

El equipo empleado consistió en 12 botellas tipo Nansen, 24 termómetros reversibles protegidos, 6 termómetros reversibles no protegidos, un STD Bissett-Berman modelo 9040, un salinómetro de inducción Bissett-Berman modelo 6230, un equipo Micro-Winkler completo, un termómetro de cubeta, ampollitas con agua de mar estándar (agua de Copenhague), soluciones para determinar oxígeno disuelto, dos lupas acopladas a lámparas de mano, botellas de citrato de magnesio, mensajeros, un medidor de ángulos para cable oceanográfico, equipo de vidrio y las formas para registrar los datos obtenidos.

Para la obtención de los datos de temperatura a profundidades estándar, se emplearon termómetros reversibles protegidos y no protegidos acoplados a las botellas Nansen y graduados en grados Celsius. El método que se siguió es el que se describe en el Manual para el Técnico Marino de la Institución de Oceanografía Scripps (1972). En general las determinaciones de salinidad a profundidades estándar, se hicieron por medio de un STD Bissett-Berman modelo 9040, interpretando las gráficas obtenidas en cada lance. Únicamente se utilizó de vez en cuando el salinómetro de inducción Bissett-Berman modelo 6230 para efectos de calibración del STD. Los valores de oxígeno disuelto a profundidades estándar se obtuvieron por medio del método Micro-Winkler modificado. El método usado es el que se describe en el Manual para el Técnico Marino también de la Institución de Oceanografía Scripps (1971).

RESULTADOS

Con los datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto obtenidos a profundidades estandar, se elaboraron gráficas de distribución tanto horizontal como vertical del área estudiada. Los niveles que se escogieron para las gráficas de distribución horizontal de los parámetros mencionados, fueron: superficie, 10, 50, 100 y 200 metros. El intervalo de las isotermas en las gráficas de distribución horizontal para los cinco niveles anteriores fué de 0.5° C; únicamente en los niveles de 100 y 200 metros se tomó un intervalo de 0.25° C con objeto de dar una mejor idea de la distribución de temperatura. Para la distribución horizontal de la salinidad, el intervalo de las isohalinas fué de 0.1 ‰ y para el oxígeno disuelto el intervalo de las isolíneas fué de 0.5 ml/L.

Se hicieron catorce perfiles verticales hasta los 300 metros de profundidad para cada una de las propiedades, o bien conforme la profundidad lo permitió. Para estas gráficas, el intervalo de las isotermas fué de 1.0° C, el intervalo de las isohalinas fué de 0.1 ‰ y el intervalo de las isolíneas del oxígeno disuelto fué de 0.5 ml/L. También se elaboraron dos transectos longitudinales tomando en cuenta aquellas estaciones más profundas, con el fin de observar el comportamiento en la distribución de los parámetros estudiados conforme aumentó la profundidad. Uno de ellos a partir del Canal de Ballenas hacia el noroeste, y el otro por el noreste de la Isla Angel de la Guarda hasta encontrarse con el transecto anterior (fig. 2). El intervalo usado en estas

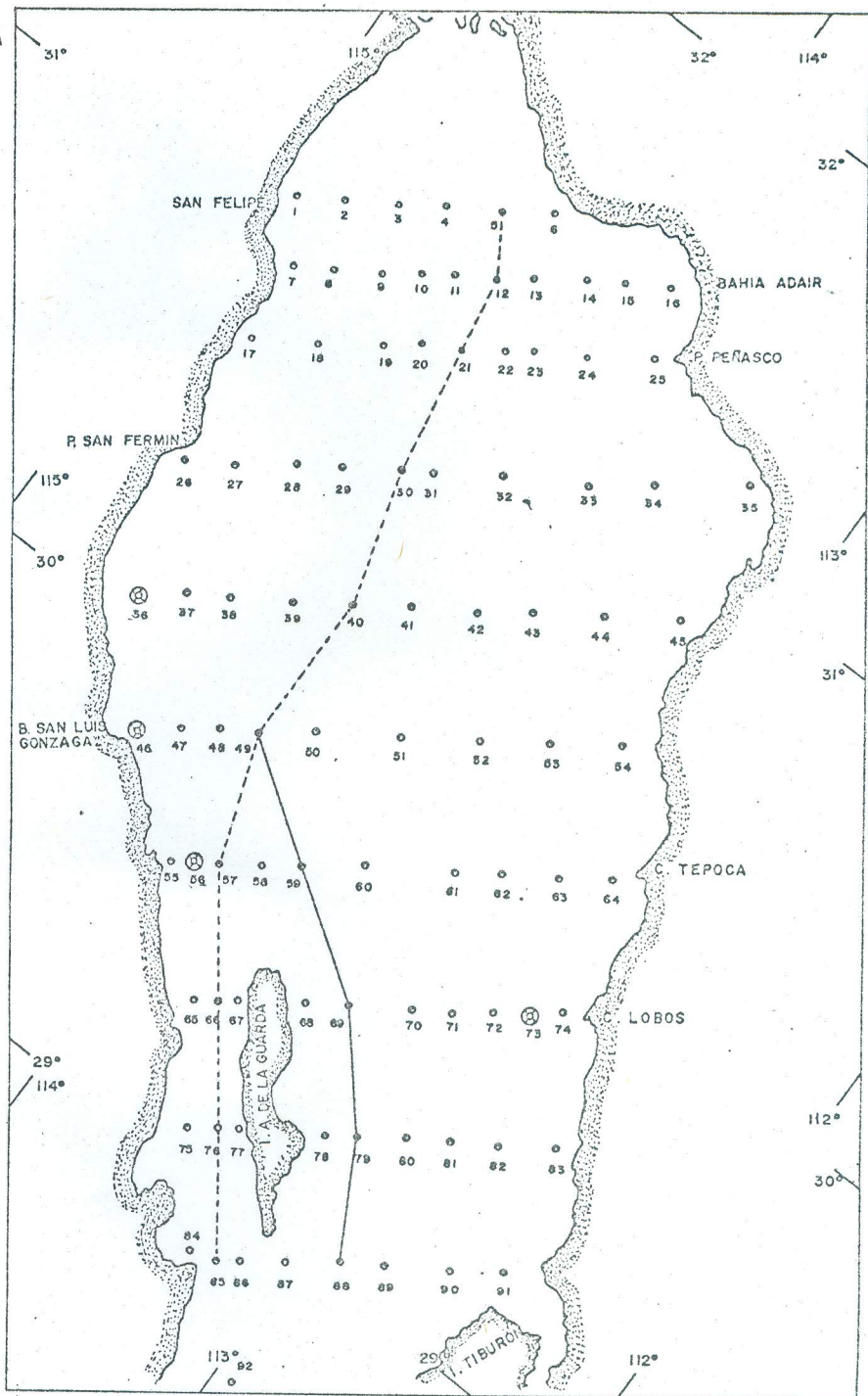


FIG. 2. LOCALIZACION DE TRANSECTOS LONGITUDINALES.
 TRANSECTO "A" -----
 TRANSECTO "B" —————

gráficas para cada parámetro, fué el mismo que el de las gráficas de distribución vertical.

Distribución de Propiedades

Temperatura. Se observa en las gráficas de distribución horizontal que la temperatura alcanza en la superficie un valor mayor hacia la costa de Sonora y en la desembocadura del Río Colorado que hacia la Península de Baja California. La isoterma de los 17.0° C divide casi longitudinalmente y por la parte central a la zona comprendida al norte de la Isla Tiburón. Se presentan únicamente valores altos de temperatura en Baja California, en algunas bahías someras y poco aisladas (figs. 3, 4 y 5).

A los 100 y 200 metros de profundidad se observa que las mayores temperaturas se presentan hacia el norte, donde en las zonas relativamente someras y aisladas como las Cuencas de Wagner y Delfín, alcanzan los valores de 16.5° C (fig. 6) y 14.75° C (fig. 7), y que hacia la vecindad de la Isla Angel de la Guarda la temperatura tiende a disminuir presentando al sur del Canal de Ballenas los valores de 14.5 y 13.75° C, respectivamente. Sin embargo en el nivel de los 200 metros (fig. 7) se presentan tanto al sur de la Isla Angel de la Guarda como en la Cuenca del Delfín, pequeños núcleos con una temperatura superior a los 15.0° C.

Por lo que respecta a la distribución vertical de temperatura (fig. 8), se observa que en las siete secciones más septentrionales y a la vez más someras de la zona estudiada, el agua presenta un rango de temperatura muy pequeño, siendo casi homogénea. La isoterma de los 17.0° C se presenta en la capa superficial de la

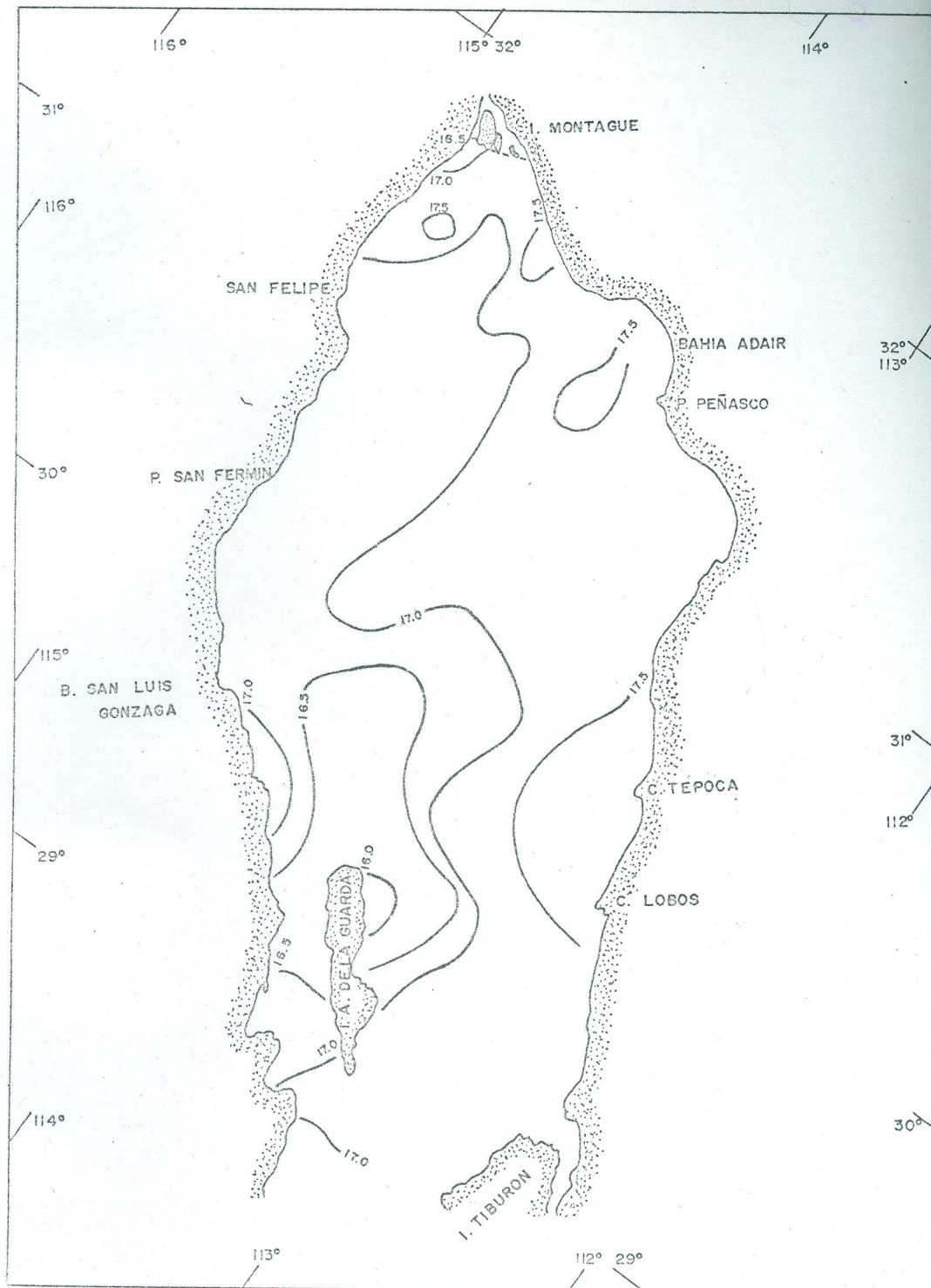


FIG. 3 DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE TEMPERATURA (°C) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

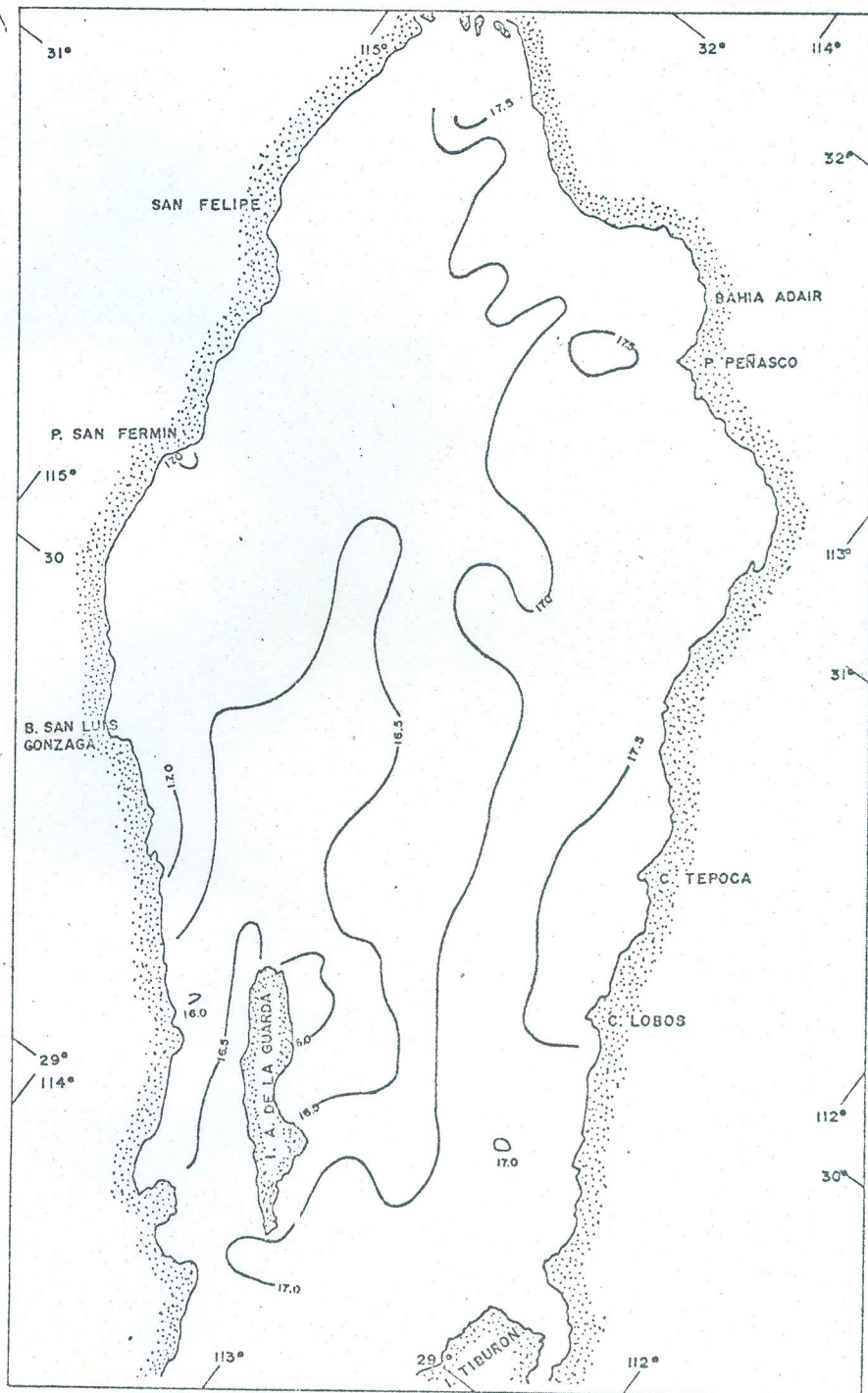


FIG. 4 DISTRIBUCION DE TEMPERATURA (°C) A 10M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

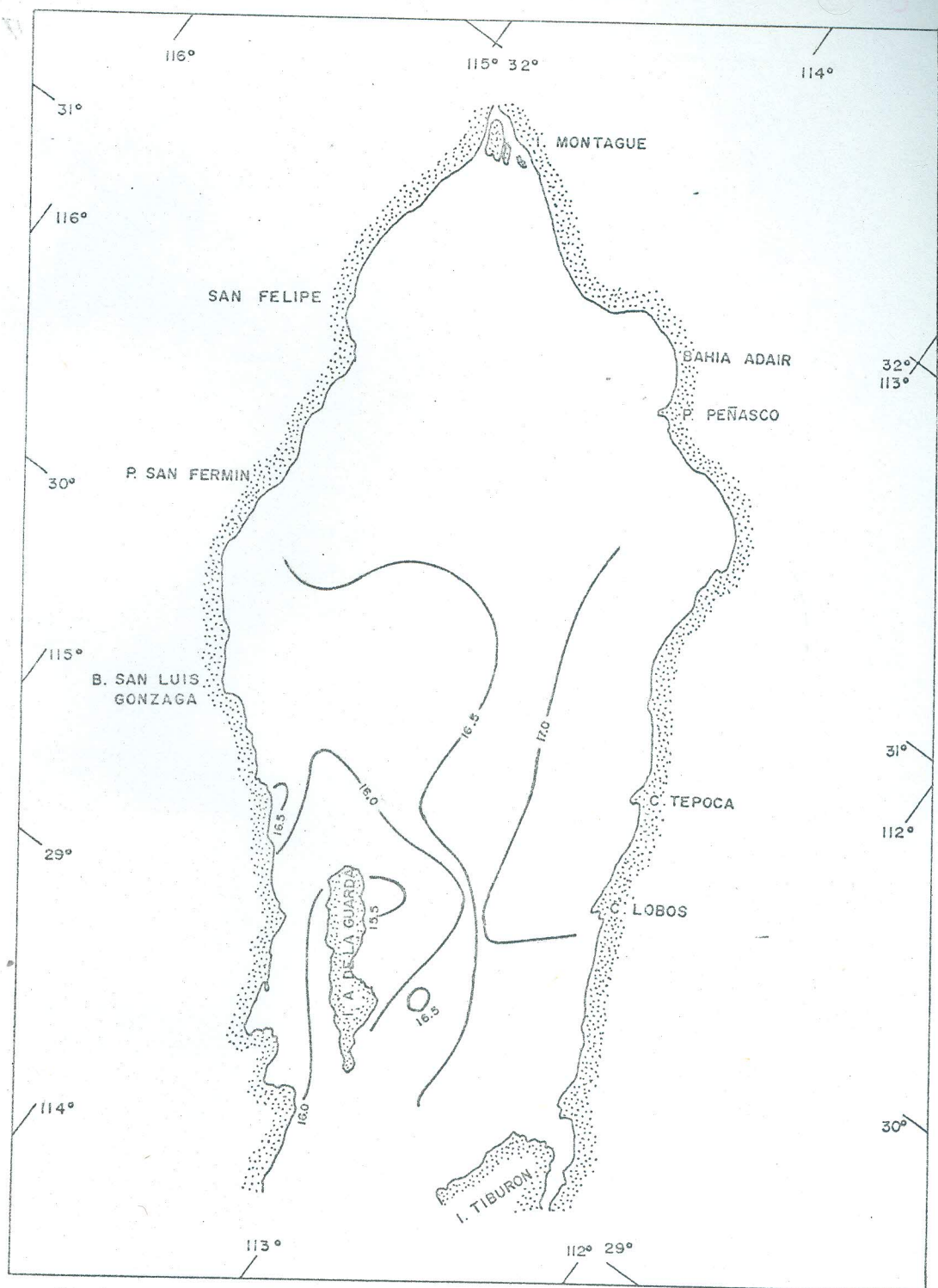


FIG. 5. DISTRIBUCION DE TEMPERATURA (°C) A 50M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

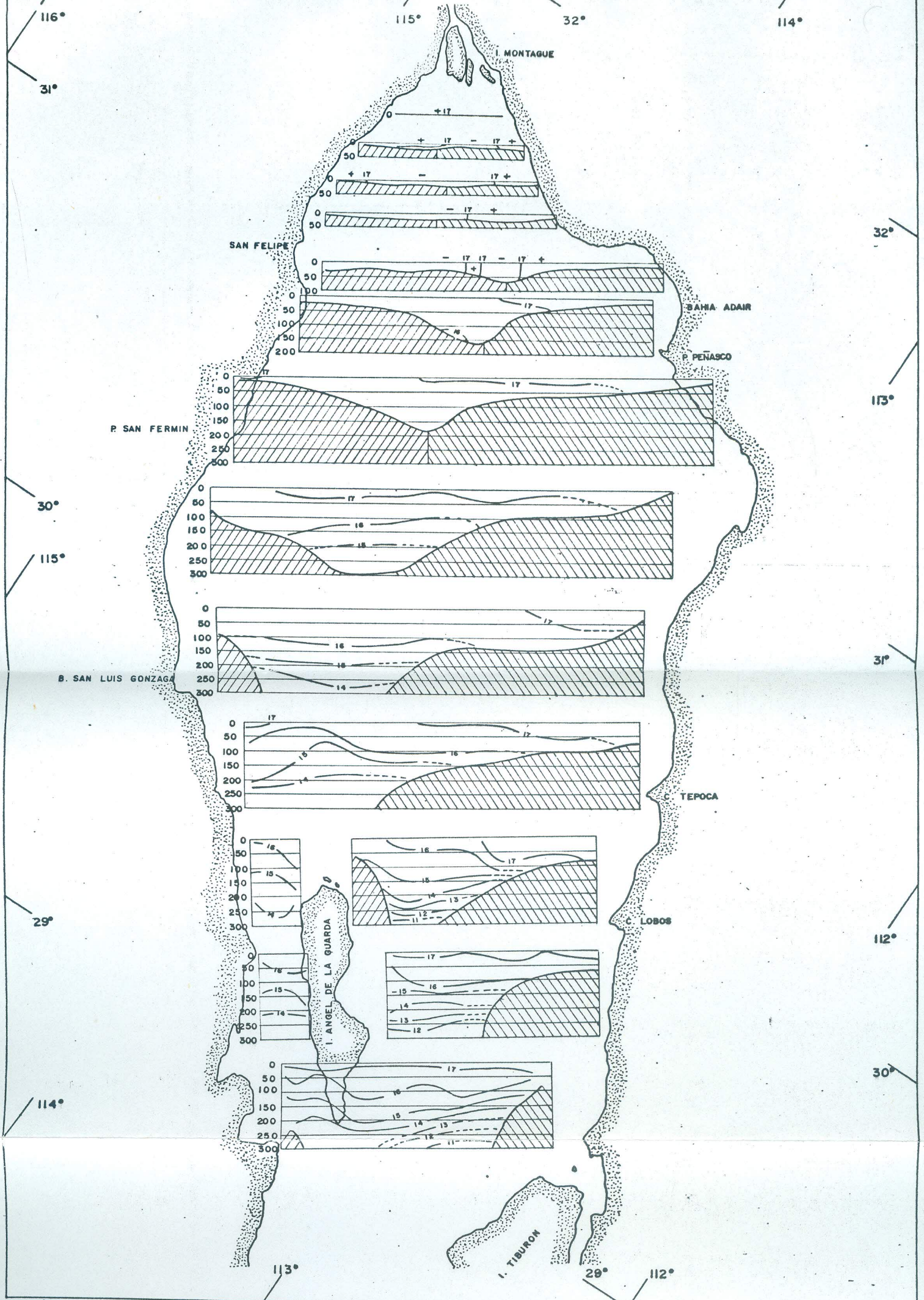
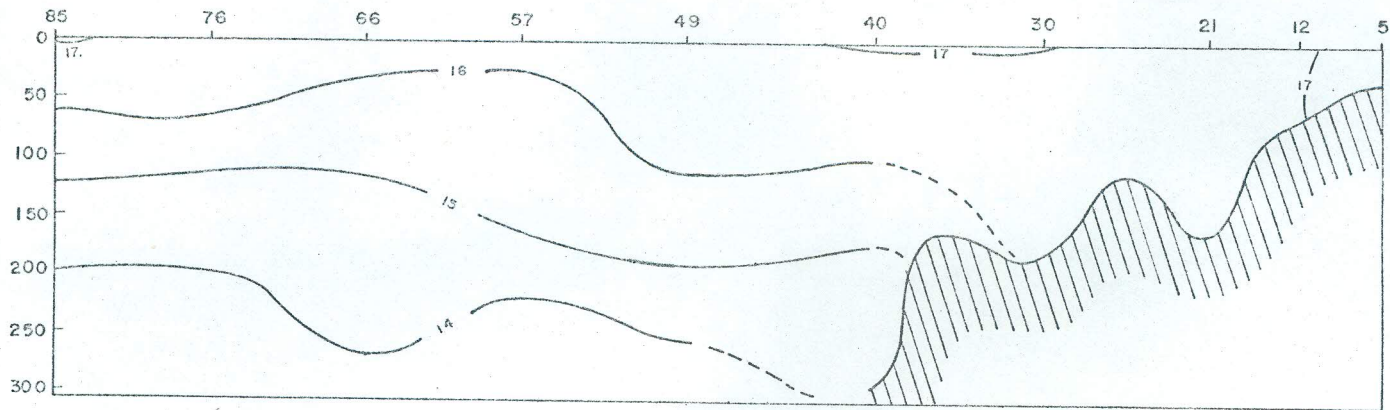


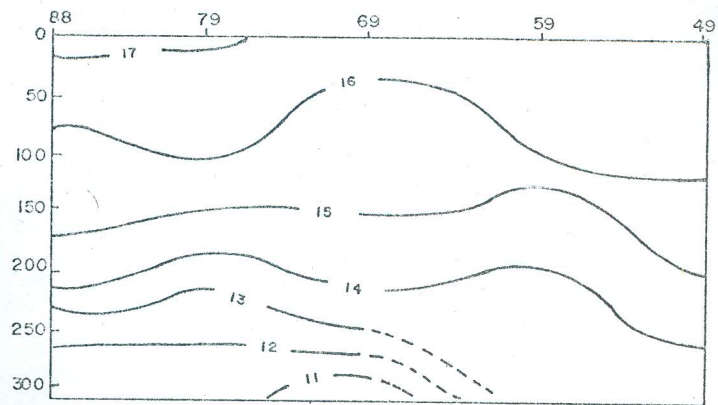
FIG. 8. DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA (°C) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA. PROFUNDIDAD EN METROS.

totalidad de los perfiles verticales, con excepción de las secciones del Canal de Ballenas. Por lo somero de la región no se diferencia bien la termoclina en ninguno de los perfiles, sin embargo se observa que la temperatura decrece uniformemente hacia el fondo en las secciones centrales, donde alcanza una temperatura menor de 14.0° C, mientras que entre la Isla Angel de la Guarda y la costa de Sonora y en la sección más meridional, el agua a los 300 metros toma un valor menor de 11.0° C. En el Canal de Ballenas se presenta a los 300 metros un valor de temperatura correspondientemente mayor (menos de 14.0° C) que el que se encuentra a esa misma profundidad en aguas circunvecinas. No se presentaron surgencias en ninguna de las secciones, según lo demuestra la disposición de las isoterma.

La isoterma de los 17.0° C se presenta en las secciones longitudinales (fig. 9) en muy pequeña proporción en las aguas más superficiales, con excepción de la porción norte donde se observa que toda la masa de agua tiene una temperatura superior a los 17.0° C (Transecto "A"). El agua que se encuentra en las cuencas relativamente someras y semi-aisladas de la parte norte, presenta una temperatura entre los 16.0 y los 17.0° C. El rango de temperatura es menor en el transecto que parte del Canal de Ballenas (3.0° C) que el que se observa en el transecto al este de Angel de la Guarda (Transecto "B"). Aquí a los 300 metros el agua es más fría, 11.0° C, que dentro del Canal de Ballenas al mismo nivel.



TRANSECTO "A"



TRANSECTO "B"

FIG. 9. DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURA (°C), TRANSECTOS LONGITUDINALES (FIG. 2), PROFUNDIDAD EN METROS.

Salinidad. La distribución horizontal de salinidad en las capas superiores es uniforme. Se observa que esta propiedad se incrementa desde el norte de la Isla Tiburón hasta la vecindad de la Isla Montague donde alcanza valores mayores de 36.8 ‰ (fig. 10). Hasta la mitad septentrional del área de estudio y principalmente cerca de las costas de Baja California y Sonora, se vé una marcada orientación de las isohalinas en dirección meridional, notándose este rasgo hasta el nivel de los 10 metros (fig. 11). En las bahías someras y poco aisladas, como la de Adair y al sur de San Felipe, se presentan valores altos de salinidad en las capas superficiales (35.7 y 35.8 ‰, respectivamente). A estos mismos niveles el Canal de Ballenas presenta un núcleo con un valor de salinidad más alto, 35.7 ‰, que las aguas alrededor de la Isla Angel de la Guarda. Las figuras 12, 13 y 14 muestran que la salinidad sigue presentando los valores más altos hacia el norte, en las cuencas aisladas y poco profundas de la plataforma (Wagner y Delfín), y que a medida que las isohalinas se orientan hacia el sur y circundan a la Isla Angel de la Guarda, decrecen estos valores.

La distribución vertical de salinidad (fig. 15) muestra que la isohalina de los 36.0 ‰ se presenta en la superficie sólo en las cercanías de la desembocadura del Río Colorado. Los demás valores superficiales decrecen hacia el sureste, donde en el transecto al norte de la Isla Tiburón presenta un valor de 35.3 ‰. En las secciones centrales y principalmente entre la superficie y los 50 metros, se observan núcleos pequeños con

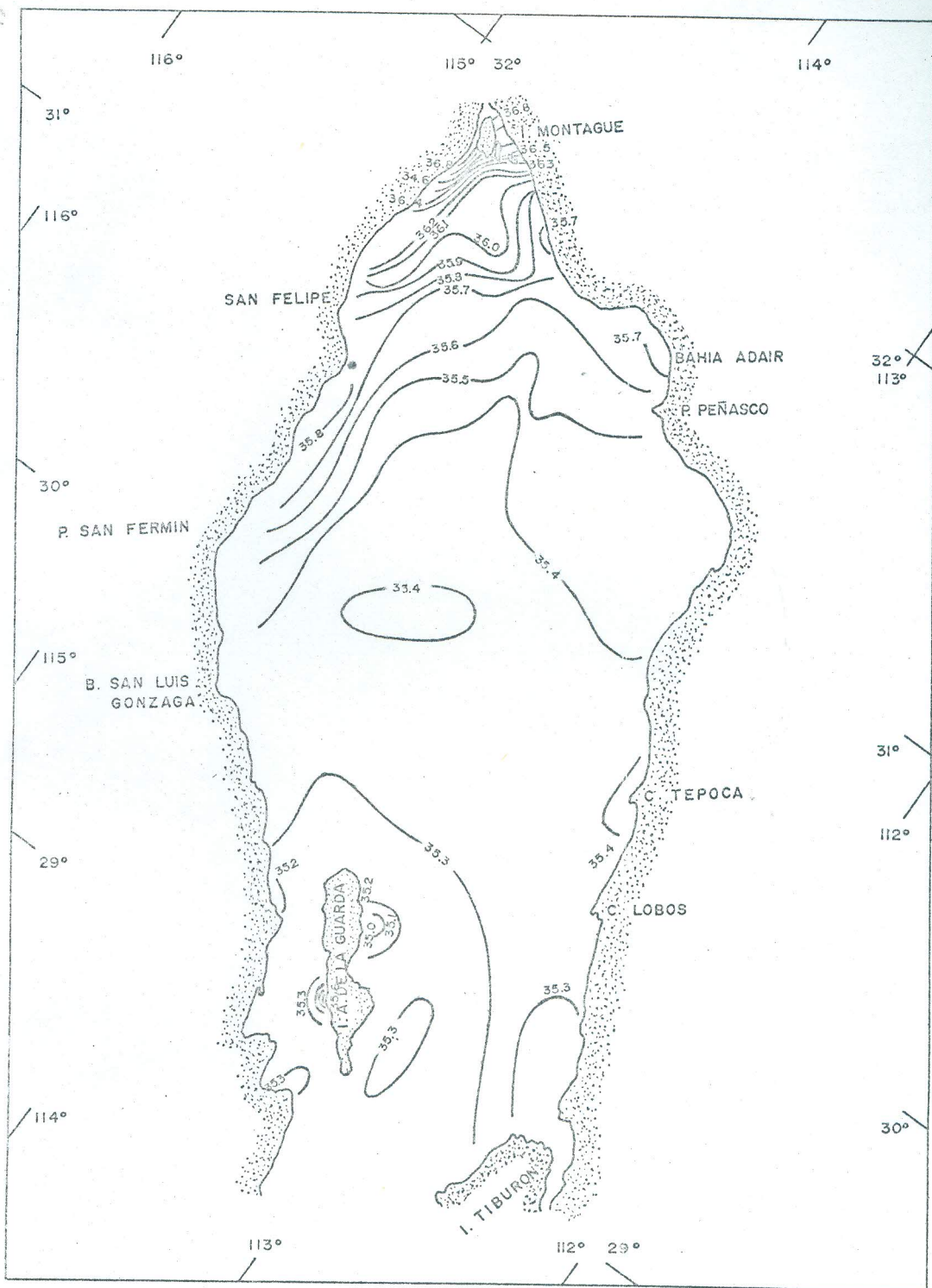


FIG. 10 DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE SALINIDAD (‰) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

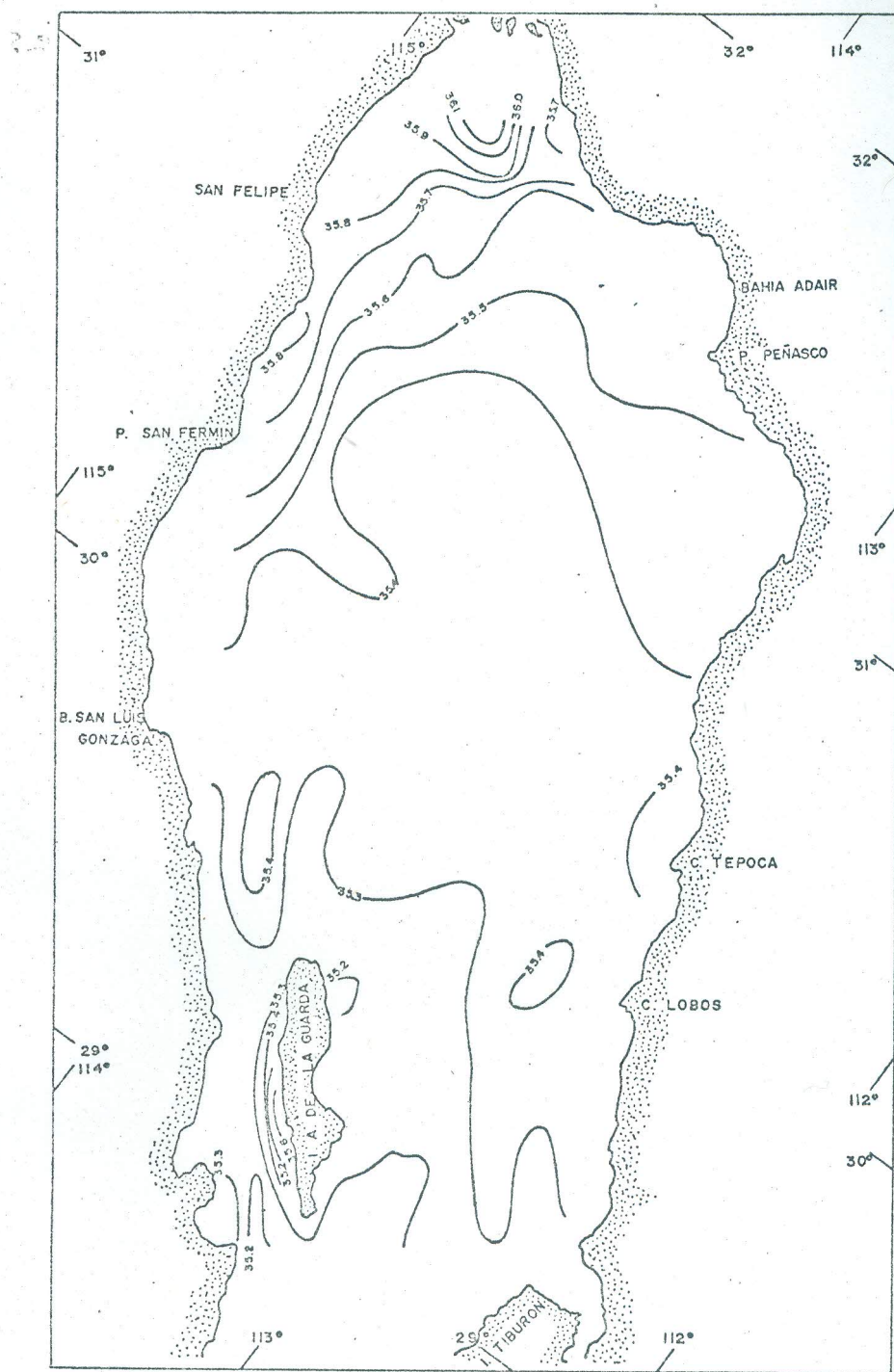


FIG. II DISTRIBUCION DE SALINIDAD (‰) A 10M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

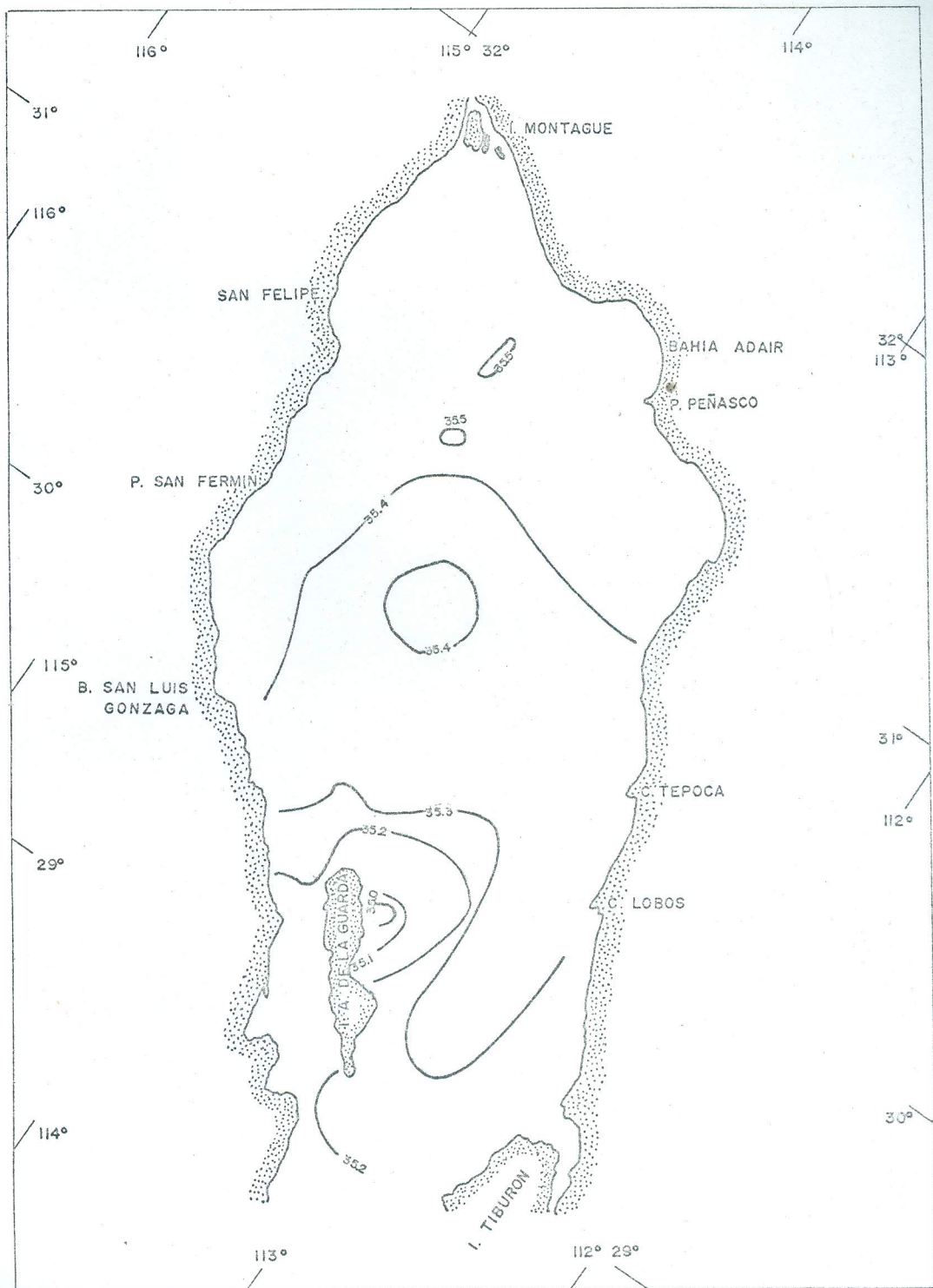


Fig. 12. DISTRIBUCION DE SALINIDAD (‰) A 50M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO

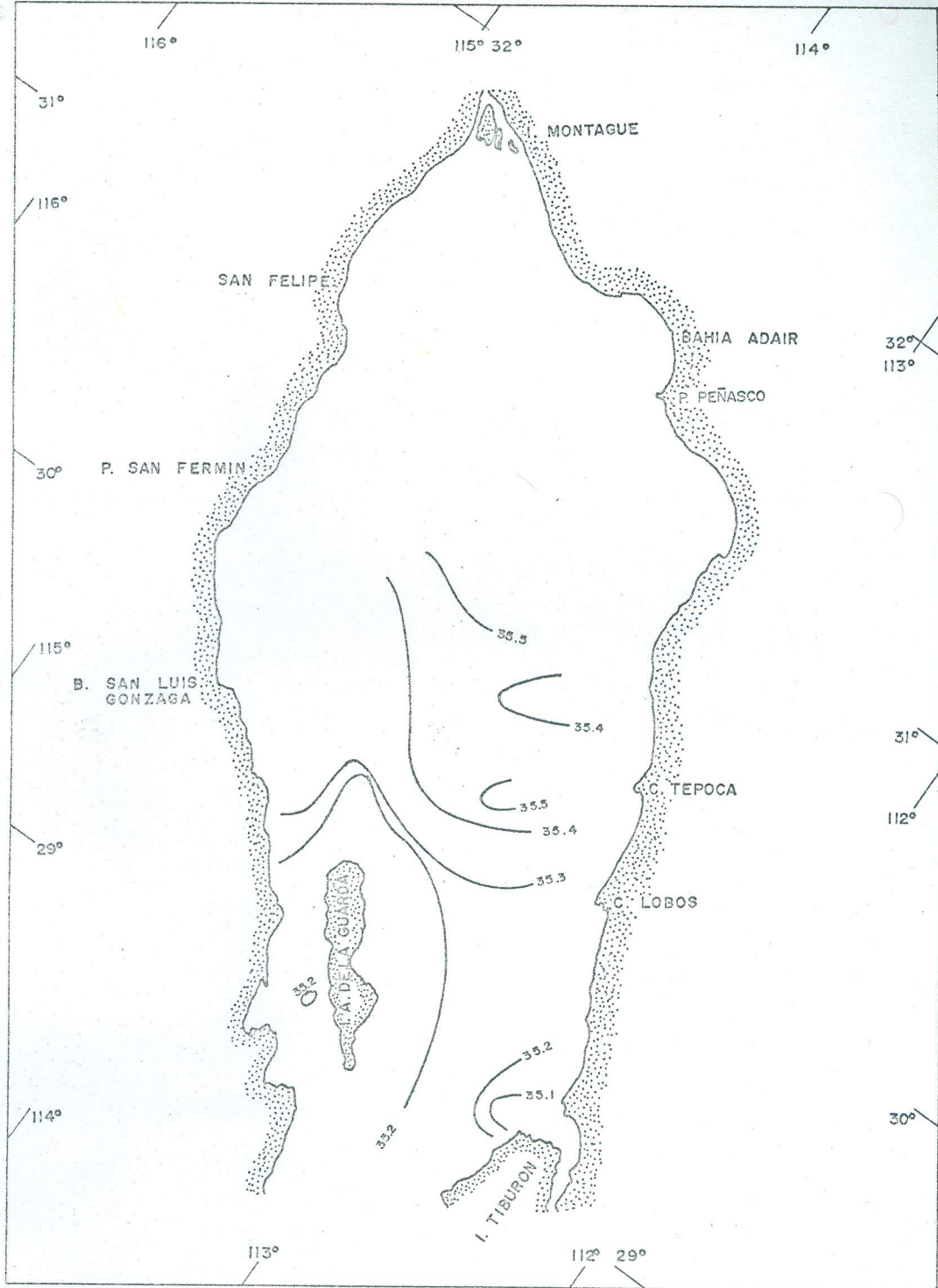


FIG. 13. DISTRIBUCION DE SALINIDAD (‰) A 100 M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

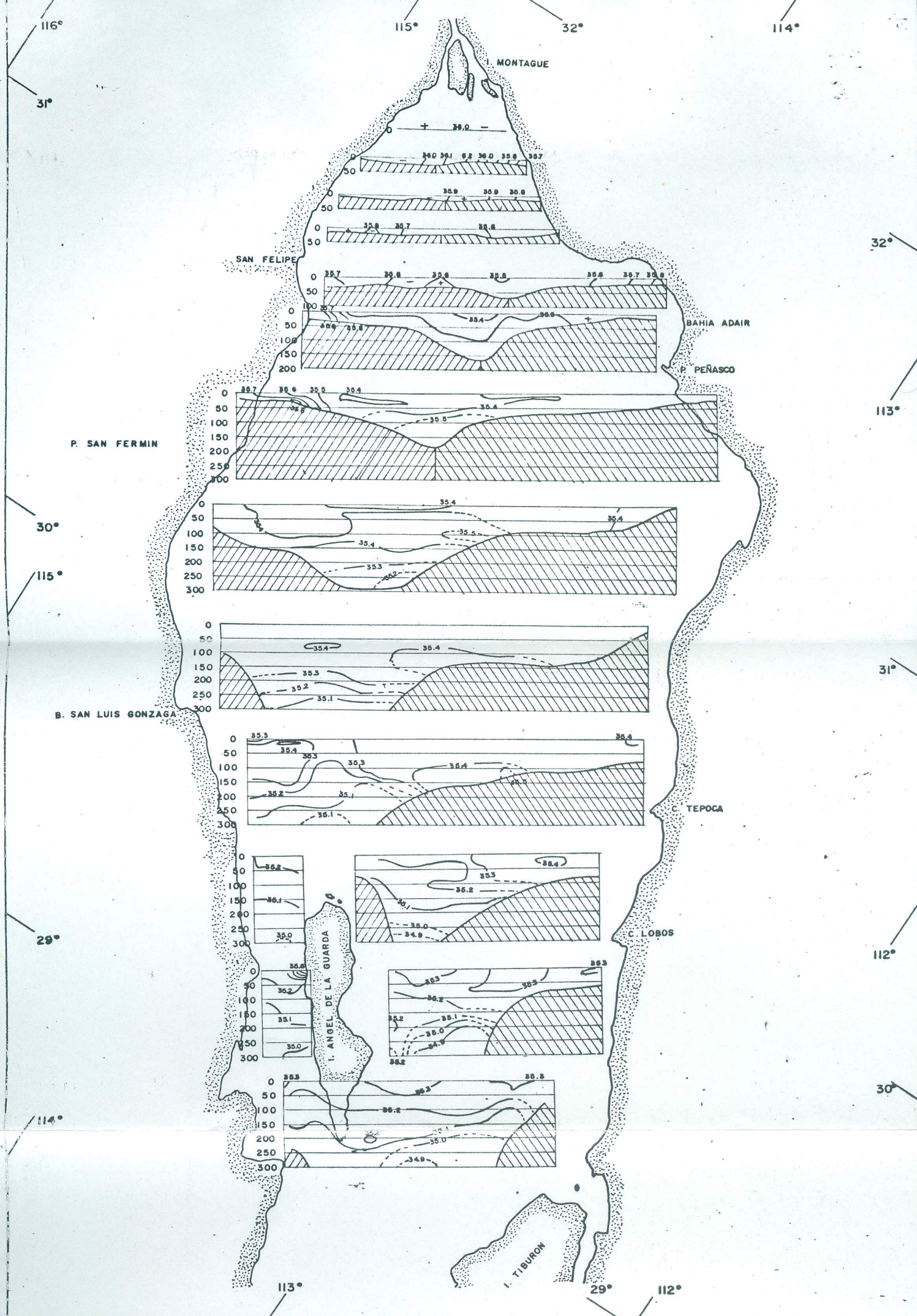


FIG. 15. DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (%) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA. PROFUNDIDAD EN METROS.

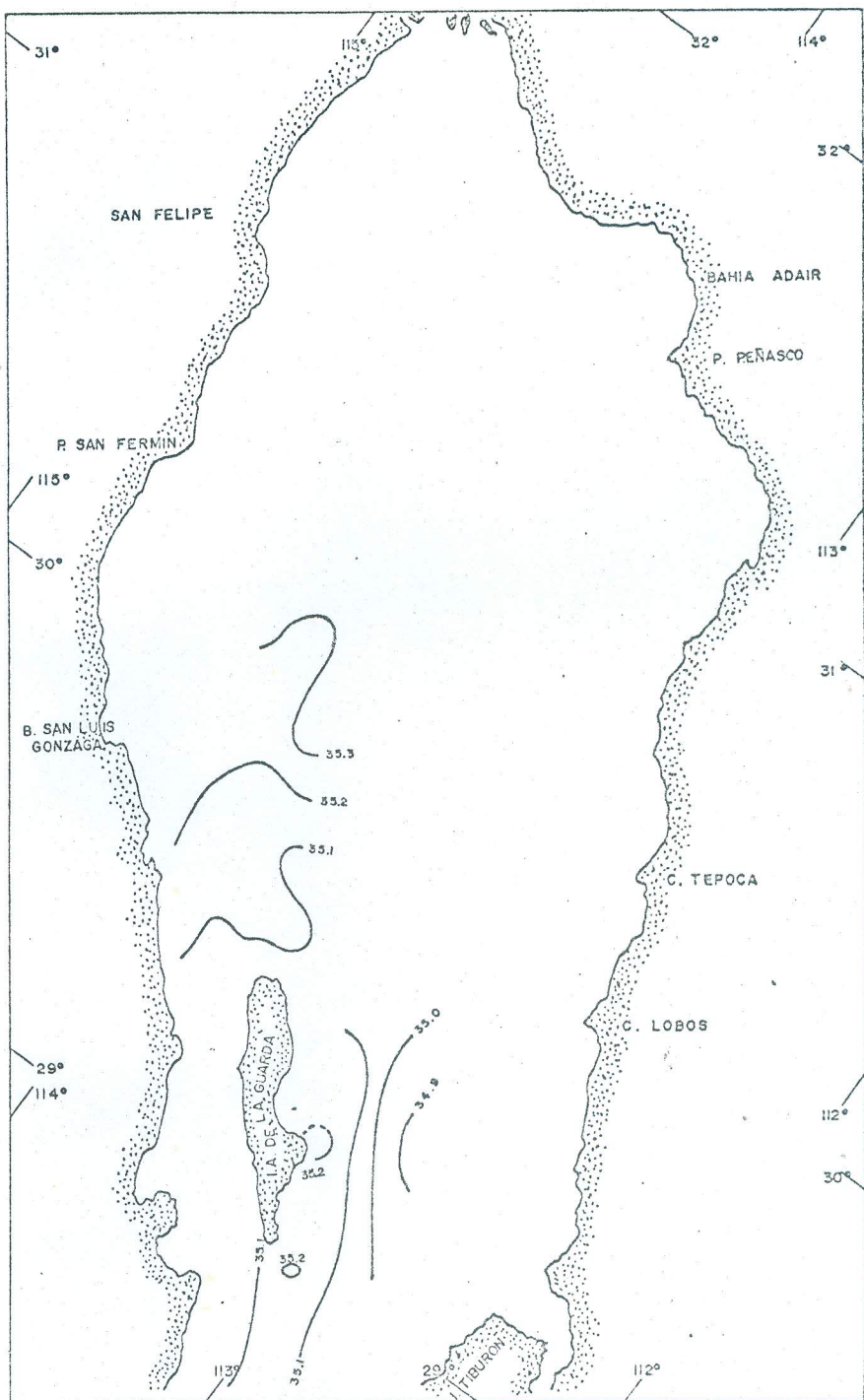
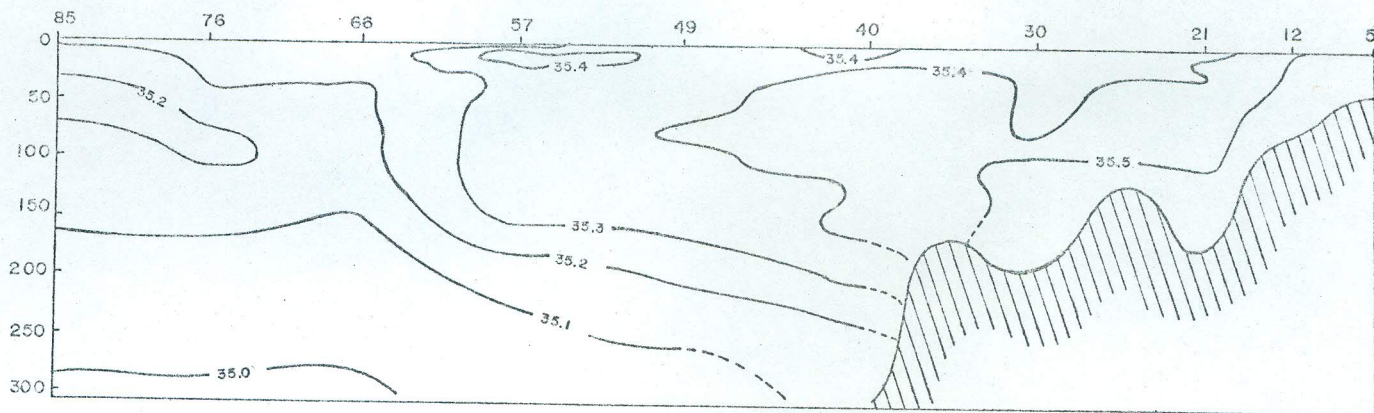


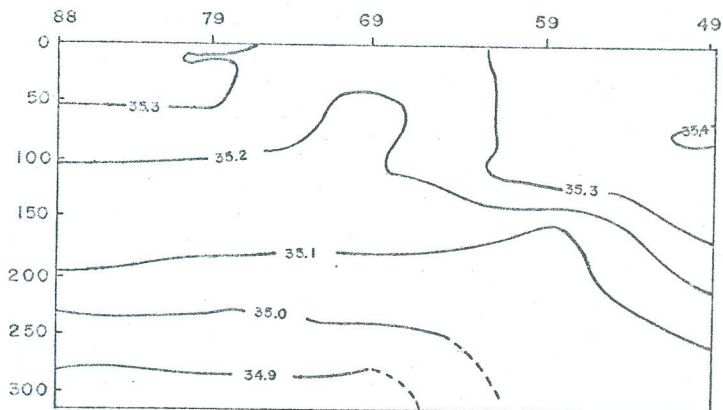
FIG. 14. DISTRIBUCION DE SALINIDAD (‰) A 200 M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

valores altos de salinidad que alcanzan los 35.4 ‰; mientras que en las dos secciones más meridionales y entre la Isla Angel de la Guarda y la costa de Sonora, se presentan también a los 200 metros de profundidad pequeños núcleos con un valor de 35.2 ‰. La salinidad tiende a decrecer casi uniformemente con la profundidad y se observa para la misma figura que a partir de las secciones centrales, conforme éstas van siendo progresivamente más meridionales, el valor de la salinidad va decreciendo al nivel de los 300 metros. A este mismo nivel se presenta la isohalina de los 34.9 ‰ en las tres últimas secciones meridionales (mínimo valor de salinidad para toda la zona estudiada). El Canal de Ballenas presentó en la sección central del mismo un pequeño núcleo superficial con un valor alto de salinidad (más de 35.6 ‰). Las isohalinas tampoco demostraron en ninguna de las secciones evidencias de surgencias, ni tampoco una haloclina definida.

En general la distribución de la salinidad es también uniforme en las secciones longitudinales (fig. 16). La isohalina de los 35.5 ‰, que es el valor más alto de salinidad para el Transecto "A", se presenta sólo al norte de dicha sección en las cuencas someras y semi-aisladas. En la porción media y a una profundidad de aproximadamente entre 10 y 30 metros se presenta un núcleo con un valor relativamente alto de salinidad, 35.4 ‰. En el Canal de Ballenas, casi a los 300 metros de profundidad se presenta la isohalina de los 35.0 ‰, valor más bajo para esta sección; mientras que entre los 30 y 100 metros, en este mismo lugar, se observa una penetración de agua con una salinidad supe-



TRANSECTO "A"



TRANSECTO "B"

FIG. 16. DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (‰).
TRANSECTOS LONGITUDINALES (FIG. 2). PROFUNDIDAD
EN METROS.

rior a los 35.2 ‰. En el Transecto "B", el valor más bajo observado fué de 34.9 ‰ cerca de los 300 metros; en la superficie, hacia el sur, presentó el valor de 35.3 ‰. A la altura de la estación número 49 y a una profundidad aproximada de 80 metros se observa en esta sección una penetración de agua proveniente del norte con un valor superior a los 35.4 ‰.

Oxígeno disuelto. La distribución de oxígeno disuelto en las capas superficiales, muestra que los mayores valores se presentan hacia la costa de Sonora y en la región del Alto Golfo con pequeños núcleos aislados en la región septentrional, decreciendo luego los valores de oxígeno hacia la costa de Baja California (figs. 17 y 18). También en la superficie, se orienta hacia el sureste una lengüeta con valores altos de oxígeno cerca de la costa de Baja California.

En el Canal de Ballenas, hacia el sur de Angel de la Guarda, se registraron los valores menores de oxígeno superficial (menos de 4.0 ml/L), observándose este rasgo también hasta los 10 metros de profundidad (figs. 17 y 18). En el nivel de los 50 metros (fig. 19), los mayores valores se siguen presentando hacia el norte, en las cuencas, mientras que los valores más pequeños (menos de 4.0 ml/L) se presentan al norte de la Isla Tiburón, junto a la costa de Sonora y a ambos lados de la Isla Angel de la Guarda. A profundidades mayores (figs. 20 y 21) se observa una disminución notable en el contenido de oxígeno. A los 100 metros siguen presentándose los mayores valores hacia el norte y decrecen hacia el sur, donde al norte de la Isla Tiburón y en

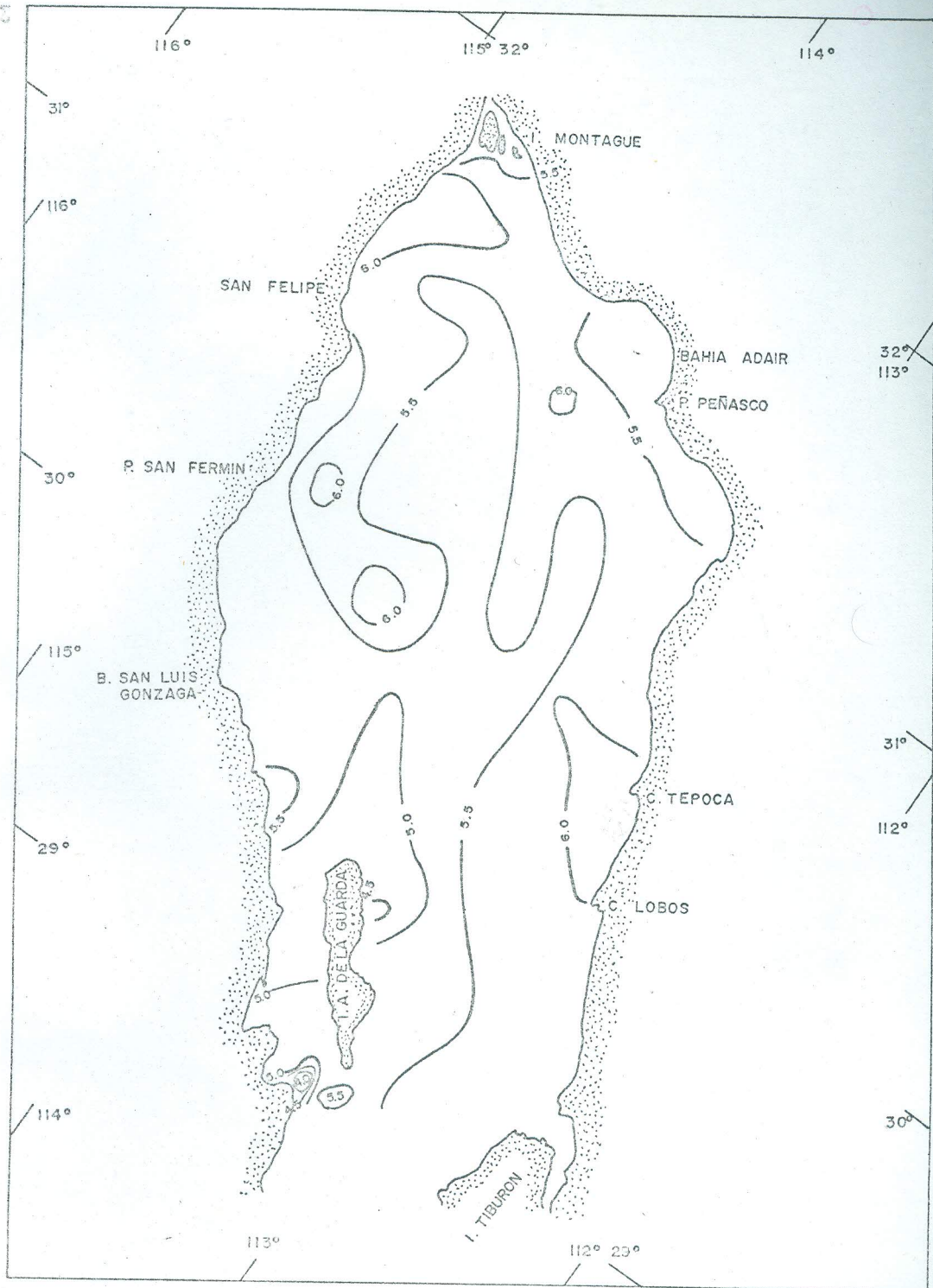


FIG. 17 DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE OXIGENO DISUELTUO (ml./L) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

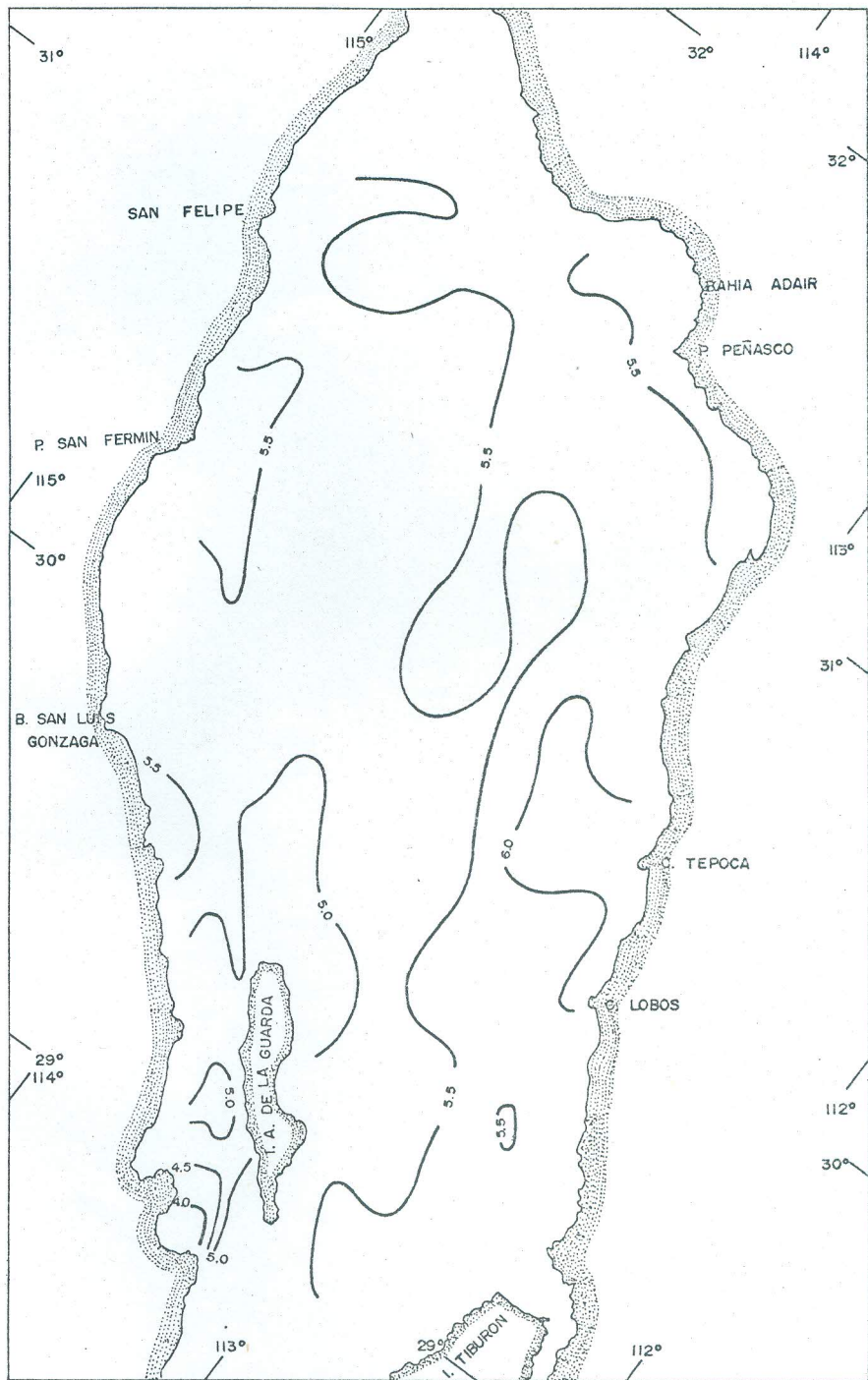


FIG 18. DISTRIBUCION DE OXIGENO DISUELTO (ml/L) A 10M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

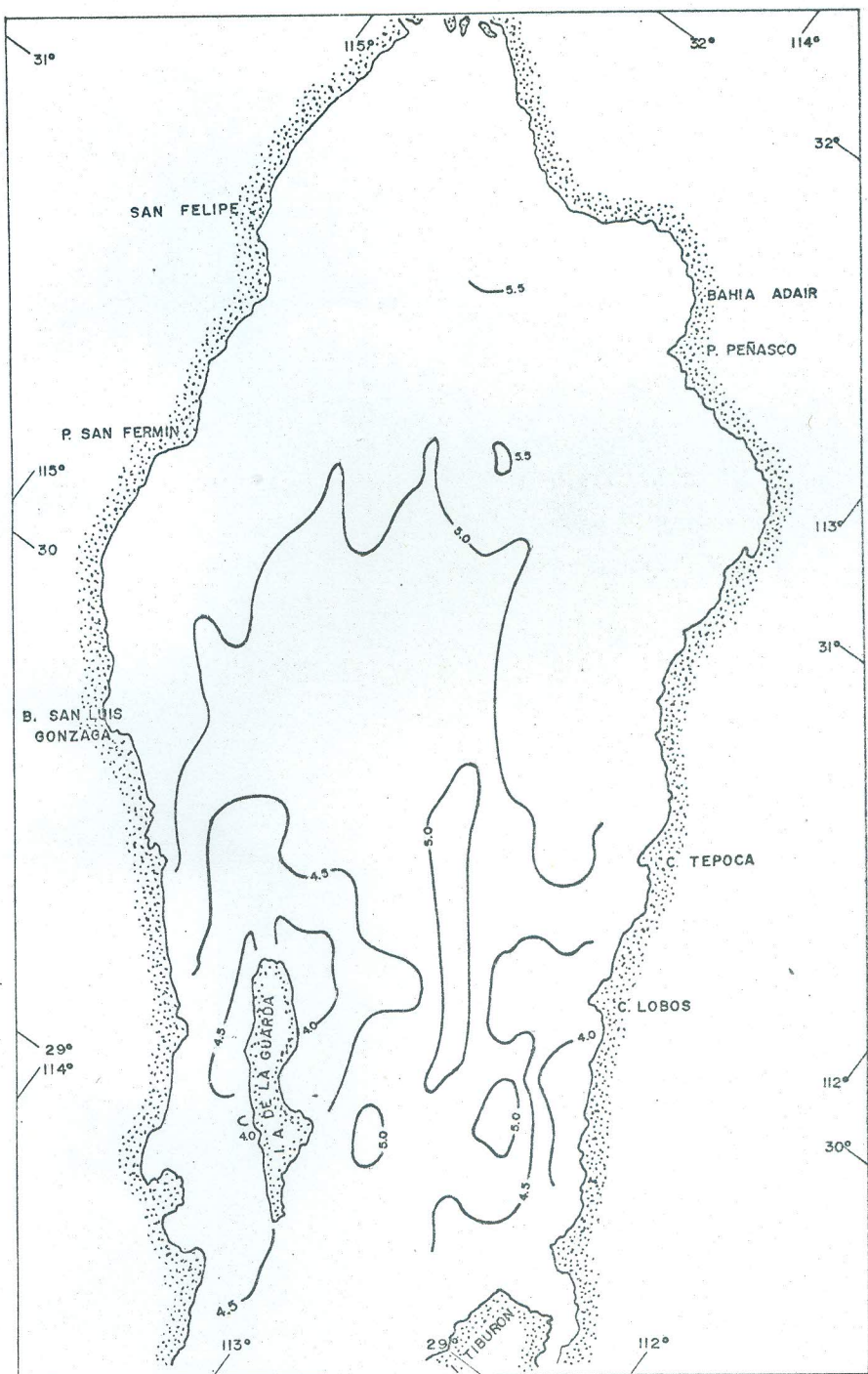


FIG. 19. DISTRIBUCION DE OXIGENO DISUELTO (ml./L.) A 50M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

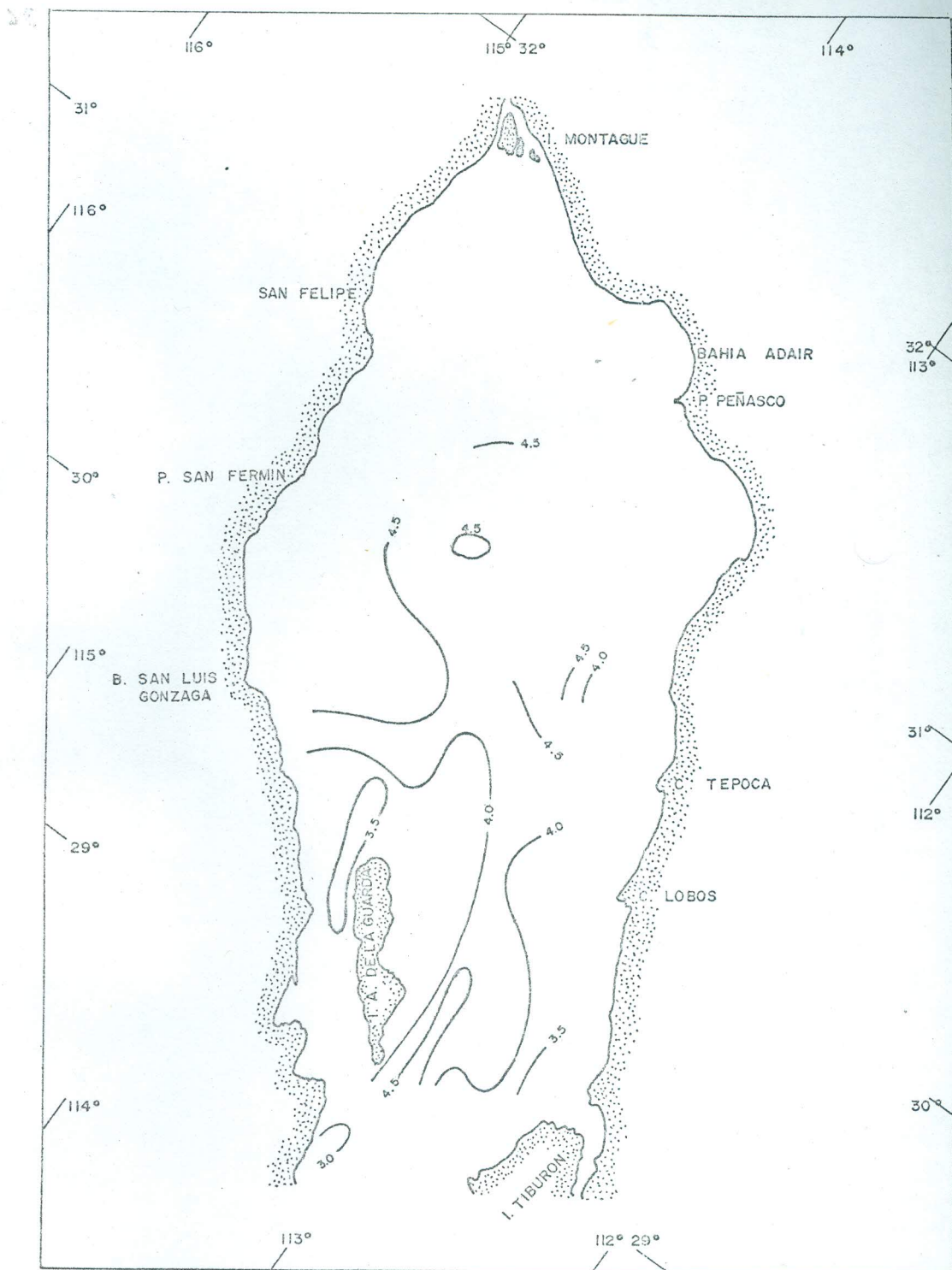


FIG. 20. DISTRIBUCION DE OXIGENO DISUELTO (mg./L.) A 100M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

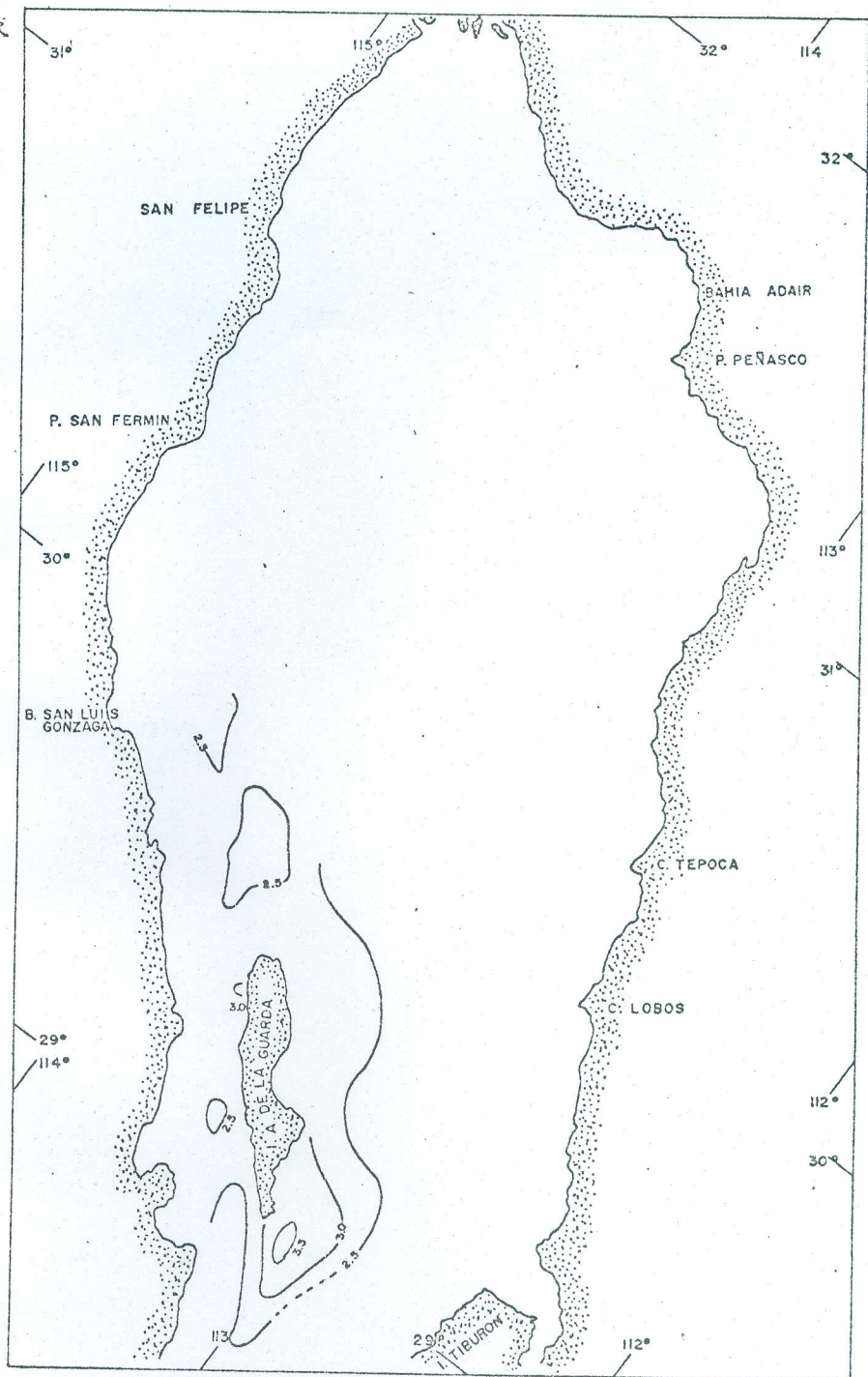


FIG. 21. DISTRIBUCION DE OXIGENO DISUELTO (ml./L) A 200 M. EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA.

la Cuenca del Delfín, toman un valor menor de 3.5 ml/L. La figura 21 muestra que a este nivel el contenido de oxígeno disuelto es casi uniforme, 2.5 ml/L, salvo al sureste de Angel de la Guarda, donde se incrementa un pequeño núcleo y obtiene un valor de más de 3.5 ml/L.

En la distribución vertical de oxígeno disuelto de la figura 22, el valor más alto de más de 6.0 ml/L, se observó en la superficie cerca de la desembocadura del Río Colorado, así como en bahías someras como al sur de San Felipe y en la vecindad de Bahía Adair. Este mismo valor de más de 6.0 ml/L se encontró también en las aguas superficiales frente a la costa de Sonora, en las secciones centrales. El contenido de oxígeno decrece muy uniformemente conforme aumenta la profundidad, alcanzando valores menores de 2.0 ml/L a los 300 metros en la mitad meridional del área, donde inclusive entre la Isla Angel de la Guarda y Sonora, y a esa misma profundidad, se presentó el mínimo valor para toda la región, siendo éste menos de 1.5 ml/L. En la parte norte del Canal de Ballenas se observa que en la superficie el contenido de oxígeno es menor (4.5 ml/L) que el que se presenta hacia el sur, donde en la superficie y en la sección más meridional es 1.0 ml/L más alto. En este lugar el oxígeno también decrece muy uniformemente con la profundidad y comparativamente, a los 300 metros el contenido de oxígeno es mayor que el que se encuentra a ese mismo nivel al otro lado de la Isla Angel de la Guarda. No hubo una diferenciación completa de la oxiclina.

Las secciones verticales de la figura 23 muestran que el

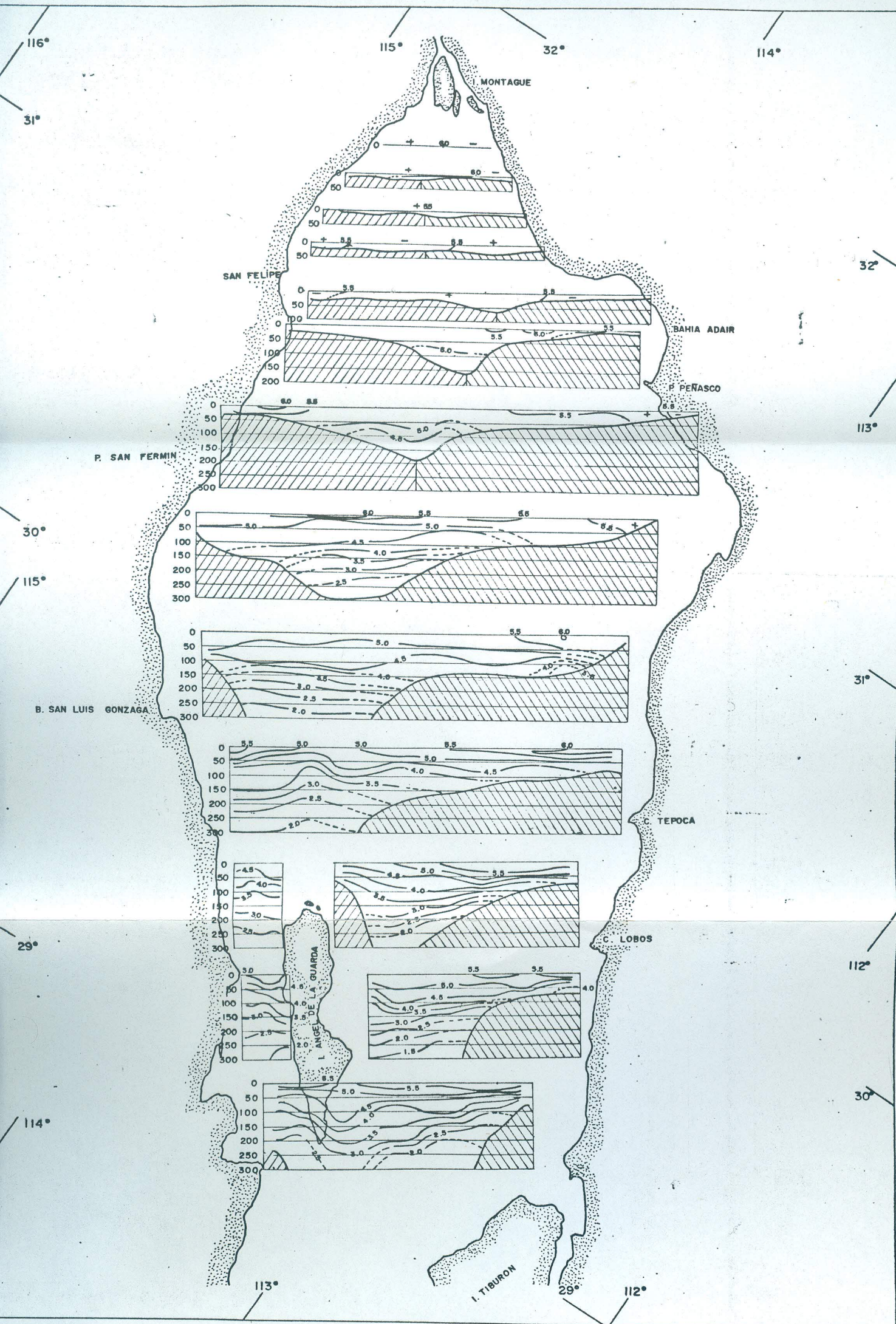
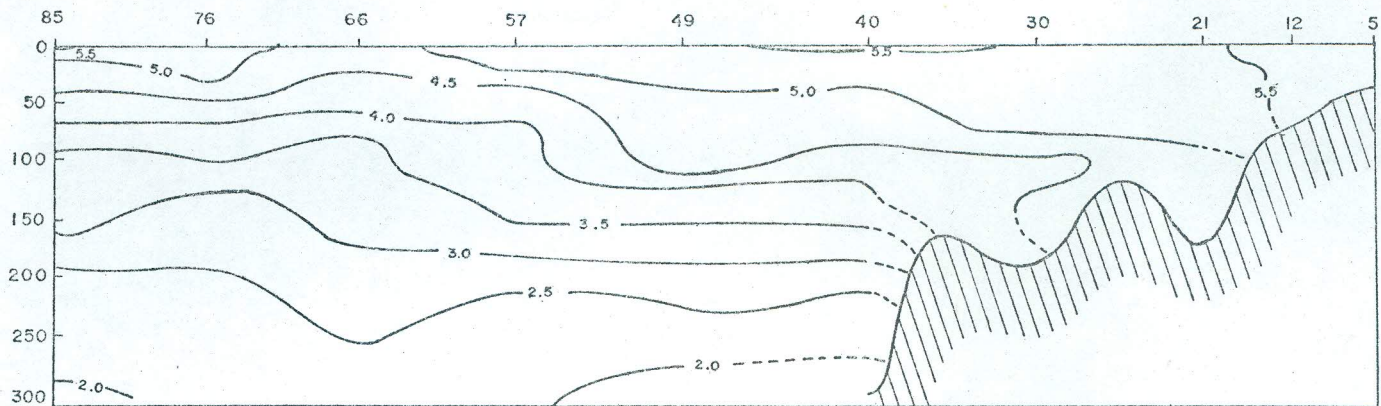
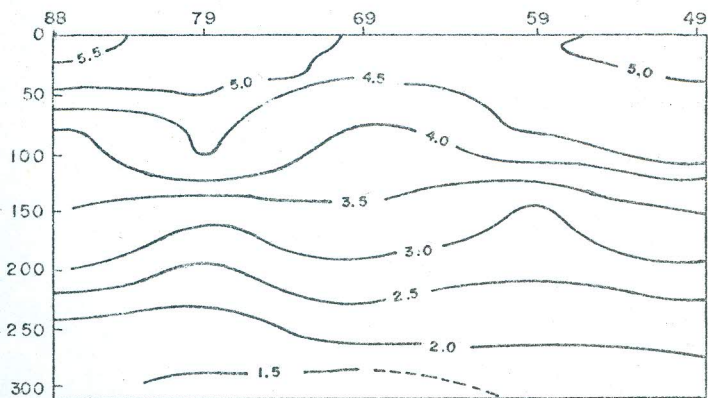


FIG. 22. DISTRIBUCION VERTICAL DE OXIGENO DISUELTO (ml./L) EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA. PROFUNDIDAD EN METROS.

- . 1972. Marine Technician's Handbook. Thermometry. Inst. Mar. Res. TR. 24. Sea Grant Pub. No. 17:1-29.
- Stevenson, M. R. 1970. On the physical and biological oceanography near the entrance of the Gulf of California, October 1966 - August 1967. Inter. Amer. Trop. Tuna Comm., Bull. 14:389-504.
- Sverdrup, H. U. 1941. The Gulf of California: Preliminary discussion of the cruise "E. W. Scripps" in February and March, 1939. 6th. Pac. Sci. Cong., Proc. 3:161-166.
- Van Andel, T. H., y G. G. Shore. 1964. Prefacio. Marine Geology of the Gulf of California, a Symposium. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Mem. 3.



TRANSECTO "A"



TRANSECTO "B"

FIG. 23. DISTRIBUCION VERTICAL DE OXIGENO DISUELTO (mg./L.). TRANSECTOS LONGITUDINALES (FIG. 2). PROFUNDIDAD EN METROS.

contenido de oxígeno en la superficie es de 5.5 ml/L con algunas localidades para el Transecto "A", y que para la masa de agua que se encuentra entre las estaciones 5 y 21 (parte norte), alcanza también este mismo valor. Se observa en general que el contenido de oxígeno disuelto decrece uniformemente hacia el fondo donde a mayores profundidades y en el Canal de Ballenas, presenta a los 300 metros el valor de 2.0 ml/L. Para el Transecto "B" que se encuentra al noreste de Angel de la Guarda, el valor superficial más alto de 5.5 ml/L se localiza hacia el sur en la vecindad de la estación 88. Aquí también el contenido de oxígeno decrece uniformemente conforme se incrementa la profundidad y cerca de los 300 metros se presenta el valor más bajo observado de contenido de oxígeno (1.5 ml/L) para toda la región norte del Golfo de California.

DISCUSIONES

Las distribuciones espaciales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la parte norte del Golfo de California, muestran que estas propiedades se encuentran íntimamente ligadas con los fenómenos atmosféricos, como lo atestigua el hecho de que la tendencia general de las isolíneas en las capas superficiales fué hacia el sureste, lo cual indica la influencia de los fuertes vientos que soplan predominantemente del noroeste durante el invierno. La topografía submarina y la orientación de las costas influyen también en la circulación de las aguas y por lo tanto, en la distribución de las propiedades (Roden, 1958).

La distribución superficial de las isotermas presentó una tendencia hacia el sur por el lado de la costa de Baja California, como lo demuestra la disposición de las mismas en la zona del Alto Golfo de la figura 3. Esto se debe a que la circulación neta en esta parte es rotatoria en el sentido contrario a las manecillas del reloj (Galindo y Flores, 1974). Por el lado de la costa de Sonora se ve la influencia de agua más cálida, con la división casi longitudinal y por la parte central de la isoterma de los 17.0° C (figs. 3 y 4). Dicha influencia se nota hasta los 50 metros de profundidad (fig. 5). Probablemente lo anterior sea debido a la circulación atmosférica alrededor del centro de baja presión que en esta época del año se encuentra al este o al sureste de la zona de estudio y el cual origina vientos extremadamente secos del desierto, los cuales soplan del norte (Roden, 1958; Groves y Reid, 1958). Los altos valores de temperatura

superficial registrados en algunas bahías de Baja California (figs. 3 y 4) son debidas a lo somero y aisladas de éstas.

Las cuencas septentrionales, relativamente someras y semi-aisladas que se encuentran en la plataforma continental como la Cuenca de Wagner y la de Delfín, presentaron temperaturas altas (figs. 6, 7 y 9, Transecto "A"). Esto se debió a que como son aguas muy someras, los cambios que sufre la temperatura atmosférica, las afectan más que aquellas que se encuentran hacia el sur donde es mayor la profundidad.

Las aguas adyacentes a la Isla Angel de la Guarda presentaron temperaturas superficiales en general más bajas que todo el resto de la zona (figs. 3 y 4). Esto fué más evidente a niveles más profundos (fig. 6). Lo anterior se debe a la fuerte mezcla producida por las mareas en esta zona del Golfo, principalmente en los canales (Robinson, 1973). Roden y Groves (1959) reportaron que una característica interesante en el Golfo de California es el área de bajas temperaturas que se presenta alrededor de la Isla Angel de la Guarda, lo cual sucede durante todo el año. Así mismo, Roden (1964) dice que las temperaturas más bajas no ocurren en la parte septentrional del Golfo que es la más somera, sino que se encuentran en la vecindad de la Isla Angel de la Guarda donde la mezcla debida a las mareas es fuerte. Sin embargo, en el Canal de Ballenas a partir del nivel de los 200 metros, parecen invertirse un tanto estas condiciones (figs. 7 y 8). A este propósito, Roden y Groves (1959) mencionaron que en dicho Canal a profundidades, la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto son más altos

que en cualquier otro lugar a esa misma profundidad, y que estas características son indicativas de una mezcla intensiva, la cual puede atribuirse a las fuertes corrientes de marea que se encuentran ahí.

Roden y Groves (1959) reportaron también que algunos registros tomados en Puerto Peñasco, Son. durante el invierno, parecían indicar que el agua en la parte septentrional del Golfo es casi isotermal, y dan un valor de 14.0° C. Lo mismo indica Roden (1964). Los resultados obtenidos en la figura 8 parecen estar en concordancia con lo anterior, pues como se ve en dicha figura, toda la masa de agua comprendida en la parte del Alto Golfo presenta una temperatura alrededor de los 17.0° C. La diferencia en valores probablemente se debe a que los resultados presentes se obtuvieron de datos tomados a finales del invierno.

En general el gradiente de temperatura fué muy débil entre la superficie y el fondo en la zona comprendida al norte de la Isla Tiburón, como lo demuestra el rango de variación en las isotermas de la figura 8, y por lo mismo no se presentó la termoclina en ninguno de los perfiles, además de que Roden (1964) menciona que la termoclina para el Golfo de California es fuerte solamente a finales del verano y que lo mismo sucede para el Canal de Ballenas durante la misma época del año. Hubbs y Roden (1964) indican también que la termoclina está bien desarrollada durante todo el año, generalmente entre los 10 y 50 metros y que solamente en la parte somera y más septentrional del Golfo, que es el área de fuerte mezcla producida por las mareas, la termoclina se

desvanece durante los meses de invierno. Todo lo anterior parece coincidir con los resultados obtenidos.

Para esta misma figura y la figura 9, la mínima temperatura se encontró en la parte sur entre la Isla Angel de la Guarda y la costa de Sonora, siendo ésta menos de 11.0° C. Sverdrup (1941) indica que en esta zona, aún en las partes más profundas encontró una temperatura escasamente menor de 11.0° C; lo mismo reportan Groves y Reid (1958) cuando dicen que no se encuentra una temperatura menor de 11.0° C en ninguna parte al norte de la elevación submarina de Tiburón. Esto se debe a los movimientos de convección que se efectúan durante el invierno al norte de la Isla Tiburón, los cuales hacen que el agua superficial altamente salina por la evaporación, se hunda al enfriarse y por lo mismo, la masa de agua en el fondo se caracteriza por los valores altos que presenta de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en relación con la demás agua del Golfo de California (Sverdrup, 1941; Roden, 1958; Groves y Reid, 1958).

La salinidad superficial se incrementa desde el norte de Isla Tiburón hasta la vecindad de la Isla Montague (fig. 10), tal y como lo reportaron Sverdrup (1941), Roden y Groves (1959) y Hubbs y Roden (1964). Lo anterior se debe a que el Golfo de California y principalmente la parte norte, se encuentra localizado en un medio árido y es la región más somera del Golfo, excepción hecha de las Cuencas Delfín y Salsipuedes en el Canal de Ballenas. La plataforma continental se encuentra bien representada al norte de las Islas Angel de la Guarda y Tiburón, donde alcanza más del 60 %

de dicha área (Robinson, 1973) y por lo tanto se considera como una gran cuenca de evaporación, donde ésta excede a la precipitación y al aporte de los ríos y arroyos durante la mayor parte del año (Roden, 1958; Roden y Groves, 1959). El rango de Salinidad es relativamente pequeño en la superficie donde alcanza un valor de 1.8 ‰ (fig. 10).

Las isohalinas en la parte del Alto Golfo (fig. 10) parecen corroborar también lo expuesto por Galindo y Flores (1974), en el sentido de que la circulación neta, sin considerar flujo y reflujo de las mareas, es rotatoria en el sentido contrario a las manecillas del reloj. El alto valor de salinidad que presentan las cuencas aisladas y relativamente poco profundas de la plataforma continental (figs. 11, 12, 13 y 14) se debe a lo somero de éstas y a la evaporación tan fuerte que sufren. El mismo fenómeno se presenta en las bahías someras y protegidas como las de San Felipe y Adair (fig. 10).

En la vecindad de la Isla Angel de la Guarda se presentan también valores de salinidad comparativamente bajos en las capas superficiales, debido a la mezcla producida por las mareas (figs. 10, 11 y 12). El núcleo de alta salinidad superficial que se presenta en el Canal de Ballenas (figs. 10 y 11) probablemente sea debido a que durante los meses de invierno la estabilidad de las capas superiores es débil y es probable que se presente un movimiento limitado de convección de agua fría y altamente salina (Roden, 1964).

El valor de salinidad más alto se encontró en la superficie y

hacia las cercanías de la desembocadura del Río Colorado (fig. 15), esto parece concordar con lo expuesto por Sverdrup (1941) cuando dice que las mayores salinidades se encuentran cerca de la superficie y en la parte central de la porción norte del Golfo. Hubbs y Roden (1964) también mencionan que la salinidad se incrementa hacia la parte superior del Golfo. Los pequeños núcleos con valores altos de salinidad en las capas subsuperficiales de la porción central (fig. 15), así como en las dos secciones más meridionales junto con la disposición un tanto complicada de las isohalinas, probablemente sean debidos a los movimientos de convección y a la turbulencia producida por los fuertes vientos del noroeste (Sverdrup, 1941; Roden, 1958; Groves y Reid, 1958). El Canal de Ballenas presenta un gradiente de salinidad más débil que el resto de la zona y además muy uniforme. A profundidades decrecen estos valores y sin embargo son más altos que los que se encuentran a ese mismo nivel en aguas adyacentes (Roden y Groves, 1959).

Hay una penetración de una masa de agua proveniente del sur entre Angel de la Guarda y la costa de Sonora, más o menos a los 300 metros de profundidad (figs. 15 y 16, Transecto "B"), indicada por la isohalina de los 34.9 ‰ y la cual no llega a rebasar a la Isla Angel de la Guarda. Sverdrup (1941) indica que se lleva a efecto un intercambio de aguas a una profundidad de 150 a 200 metros entre la parte norte del Golfo de California y la región sur, cerca de la Isla Tiburón; además de que puesto que la circulación superficial está predominantemente inducida por el viento y durante el invierno es hacia el sur, existe una contracorriente en

sentido opuesto a profundidades (Roden y Groves, 1959).

No hubo evidencias de una haloclina definida (fig. 15) debido a que durante el invierno la estabilidad en las capas de las aguas superficiales y subsuperficiales en esta zona es muy débil por lo movimientos de convección y por las fuertes corrientes producidas por los excesivos rangos de mareas (Roden, 1964).

La disposición de las isotermas y las isohalinas no evidenciaron surgencias en ninguna parte del área estudiada (figs. 8 y 15). Entre otros complicados procesos, las surgencias son inducidas por la intensidad del viento y por su duración, así como por la morfología de las costas (Roden, 1958). Se comprueba lo anterior porque solamente se presentan surgencias en la costa este con vientos del noroeste, a sotavento de cabos, islas y puntas, como son: Isla Tiburón, Bahía de Guaymas, Bahía de Yavaros y la Bahía de Topolobampo. En la costa oeste ocurren con vientos del sur, durante el verano en: norte de Bahía Concepción, en la zona comprendida entre las Islas Carmen, Santa Catalina, Santa Cruz y San José, y en la vecindad de la Isla Cerralbo (Roden, 1958, 1959; Groves y Reid, 1958; Roden y Groves, 1959).

El contenido de oxígeno disuelto mostró valores altos en general para la zona de estudio. En la distribución superficial de oxígeno (figs. 17 y 18), los mayores valores se encontraron hacia la costa de Sonora y en la región del Alto Golfo, siendo precisamente en estas zonas donde también se presentaron superficialmente las temperaturas mayores (fig. 3). Es probable que debido a los fuertes vientos que se presentaron durante el crucero

cuando se ocuparon las estaciones más septentrionales, éstos hayan provocado una gran turbulencia en el oleaje dando como resultado una mayor oxigenación en las aguas superficiales. Galindo y Flores (1974) corroboran lo anterior referente al mal estado del tiempo que reinó durante el crucero efectuado por ellos en la parte del Alto Golfo y durante el mismo período, al mencionar oleaje de más de un metro y medio de altura. Además se observa que al nivel de los 10 metros (fig. 18), desaparecen casi por completo los valores de 6.0 ml/L, con excepción de la zona frente a Cabo Tepoca y Cabo Lobos en la costa de Sonora.

En el Canal de Ballenas y alrededor de Angel de la Guarda (fig. 17) se presentan valores bajos de oxígeno superficial debido a la gran mezcla producida por las fuertes corrientes de mareas. Roden y Groves (1959) mencionan que una excepción notable en la distribución de oxígeno, se encuentra en la vecindad de Tiburón y Angel de la Guarda en donde frecuentemente ocurre no saturación. Sin embargo en las cuencas aisladas del norte (figs. 19 y 20) se presentan valores altos también debidos a los movimientos de convección y a la mezcla que éstos producen, tal y como lo menciona Sverdrup (1941) cuando dice que el mayor contenido de oxígeno indica que el agua profunda de esta zona está formada por una mezcla de agua que fluye sobre la elevación submarina que está a la altura de Tiburón, y agua que en el invierno puede hundirse a grandes profundidades por el excesivo enfriamiento y evaporación.

El contenido de oxígeno decrece muy uniformemente con la pro-

fundidad (figs. 22 y 23) encontrándose valores altos en el fondo por la poca estabilidad y la mezcla vertical (Sverdrup, 1941). En el Canal de Ballenas el oxígeno también decrece muy uniformemente y a profundidades presenta valores altos de oxígeno comparativamente, por la fuerte mezcla producida por las mareas. El valor mínimo observado (1.5 ml/l) entre Angel de la Guarda y Sonora (figs. 22 y 23, Transecto "B") probablemente compruebe la penetración de la masa de agua proveniente del sur (Sverdrup, 1941). La ausencia de oxiclina se debió también a lo débil de la estabilidad en las capas superficiales durante el invierno.

CONCLUSIONES

1. La distribución superficial de temperatura muestra dos áreas separadas casi en el eje longitudinal de la parte norte del Golfo por la isoterma de los 17.0° C, presentando los mayores valores hacia la costa de Sonora y en la región del Alto Golfo, y las más bajas hacia Baja California. Es más notorio este rasgo en la superficie y a los 10 metros. Durante el invierno la masa de agua que se encuentra en la zona del Alto Golfo, presenta un rango de temperatura muy pequeño, siendo casi isotérmica. Durante el presente estudio a finales del invierno, fué de 17.0° C. La salinidad superficial se incrementa desde el norte de la Isla Tiburón hasta la vecindad de la Isla Montague. Las isohalinas presentaron una marcada orientación hacia el sur hasta la mitad septentrional del área de estudio, principalmente cerca de las costas de Baja California y Sonora. En la región del Alto Golfo es más marcada la orientación hacia Baja California que hacia Sonora. Las bahías someras y poco aisladas de ambas costas presentan valores altos de salinidad. Superficialmente el oxígeno disuelto muestra una analogía con la distribución superficial de temperatura en el sentido de que presenta los valores mayores hacia la costa de Sonora y la desembocadura del Río Colorado, decreciendo hacia Baja California y la Isla Angel de la Guarda.

2. Las cuencas septentrionales, relativamente someras y aisladas (Wagner y Delfín) presentaron valores altos de temperatura, de salinidad y de oxígeno disuelto.

3. Las aguas superficiales adyacentes a la Isla Angel de la

Guarda y en el Canal de Ballenas mostraron bajas temperaturas y bajas salinidades, con excepción del pequeño núcleo con alto valor de salinidad que se presentó en el Canal de Ballenas; así mismo el contenido de oxígeno disuelto fué bajo. Lo anterior debido a la fuerte mezcla provocada por las mareas en este lugar. En el Canal de Ballenas a profundidades, se observaron valores altos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto comparados con los que se encuentran a esos mismo niveles en aguas circunvecinas.

4. La temperatura decrece muy uniformemente con la profundidad; la salinidad también decrece casi uniformemente hacia el fondo, sólo que en la región central y hacia el sur presentó pequeñas inversiones de salinidad; el oxígeno disuelto también decreció uniformemente con la profundidad. Los mínimos valores de temperatura (11.0°C), salinidad (34.9 ‰) y oxígeno disuelto (1.5 ml/L) se localizaron a los 300 metros entre la Isla Angel de la Guarda y la costa de Sonora. Los mayores valores (superficiales) fueron: 17.5°C , 36.8 ‰ y 6.0 ml/L .

5. No hubo termoclina, haloclina ni oxiclina en toda la zona, para la época del año en que se efectuó el estudio.

6. La distribución espacial de las isotermas y las isohalinas no mostraron con claridad evidencias de surgencias en ninguna parte de la zona comprendida entre las Islas Angel de la Guarda y Tiburón, y la desembocadura del Río Colorado.

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Institución de Oceanografía Scripps por haber proporcionado el resumen de los datos que se obtuvieron durante el Crucero 7303-G a bordo de la embarcación "Alexander Agassiz" (el autor participó en los aspectos físicos y químicos de la expedición como personal por parte del Instituto Nacional de Pesca), así como al Dr. Richard A. Schwartzlose de la misma Institución por su valiosa ayuda al facilitar dichos datos, diferentes publicaciones y mapas que hicieron posibles la elaboración del presente estudio.

Agradezco sinceramente al Director de la presente Tesis, Dr. Saúl Alvarez Borrego por su cooperación franca y sus indicaciones y orientaciones. A los Oceanólogos José Ma. Robles Pacheco y José Luis Granados Gallegos por las facilidades proporcionadas para la consecución del presente trabajo. Especialmente agradezco al Oceanólogo Manuel Alvarez Mendoza quien preparó las gráficas.

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA U. A. B. C.

LITERATURA CITADA

LITERATURA CITADA

- Galindo Bect, L. A., y B. P. Flores Báez. 1974. Hidrografía del Alto Golfo de California. Tesis profesional conjunta. Escuela Superior de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C.
- Groves, G. W., y J. L. Reid Jr. 1958. Estudios oceanográficos sobre las aguas de Baja California. Primer Congreso de Historia Regional. Memoria Mexicali 1958. SIO Contrib. No. 1057: 997-1031.
- Griffiths, R. C. 1963. Studies of oceanic fronts in the mouth of the Gulf of California, an area of tuna migrations. F.A.O. Fish. Rept. 34(4-5):1-27.
- _____. 1965. A study of ocean fronts off Cape San Lucas, Lower California. U. S. Fish Wildl. Ser., Spec. Scient. Rep. Fish. 499:1-55.
- _____. 1968. Physical, chemical, and biological oceanography of the entrance to the Gulf of California, spring of 1960. U. S. Fish Wildl. Ser., Spec. Scient. Rep. Fish. (573):1-47.
- Hubbs, C. L., y G. I. Roden. 1964. Oceanography and marine life along the Pacific Coast of Middle America. En: Handbook of Middle American Indians. Univ. Texas Press, Austin.1:143-186.
- Robinson, M. K. 1973. Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico. San Diego Soc. Nat. Hist., Mem. 5:1-19.
- Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pac. Sci. 12(1):21-45.
- _____. 1959. On the heat and salt balance of the California Current region. J. Mar. Res. 18(1):36-61.
- _____. 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. Marine Geology of the Gulf of California, a Symposium. Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, Mem. 3:30-58.
- _____. 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revilla Gigedo Islands region. J. Phys. Oceanogr. 2(2):177-183.
- Roden, G. I., y G. W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. J. Mar. Res. 18(1): 10-35.
- Scripps Institution of Oceanography. 1971. Marine Technician's Handbook. Oxygen Analysis. Inst. Mar. Res. SIO Ref. No. 71-8. Sea Grant Pub. No. 9:1-29.