

Universidad Autónoma de Baja California  
Unidad de Ciencias Marinas

# Hidrografia del Alto Golfo de California



## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O  
P R E S E N T A N :

Luis Arnulfo Galindo Bect y  
Bernardo Primitivo Flores Baez

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, 1974.

A MIS PADRES:

*Que supieron guiarme por la  
senda del bien.*

A HELEN:

*Que junto conmigo, supo llegar  
hasta el final de este trabajo.*

A MIS HIJAS:

*Con cariño y amor infinitos.*

A MIS HERMANAS Y HERMANOS:

*Por sus consejos y apoyo.*

A MIS PROFESORES:

*Por su amistad y labor.*

A MIS COMPAÑEROS

## A G R A D E C I M I E N T O S

El presente estudio fué elaborado en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Unidad de Ciencias Marinas, bajo contrato con la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH-EI-71-49). Agradecemos al Sr. Ing. Daniel Muñoz Ferreira, Director de Acuacultura de la misma Dependencia, el habernos permitido presentarlo como tesis para recibir el título profesional de Oceanólogo.

Agradecemos sinceramente al Dr. Saúl Alvarez Borrego el haber aceptado la dirección de esta tesis, a su disponibilidad que siempre tuvo para sacar adelante este trabajo; nuestro reconocimiento y admiración.

Así como también queremos hacer patente nuestro agradecimiento al Dr. John Hendrickson de la Universidad de Arizona, por haber facilitado las fotografías tomadas por el satélite ERTS-I, que se incluyen en esta tesis, y por permitirnos utilizar la embarcación "Adventyr" para realizar nuestros cruceros hidrográficos; al Dr. Richard Schwartzlose de la Institución Scripps de Oceanografía de la Universidad de California, por haber subvencionado parte de los gastos de los cruceros hidrográficos y por permitirnos usar algunas botellas Nansen para muestreos de agua de mar y termómetros reversibles para mediciones "in-situ" de temperatura; a las Cooperativas Pesqueras de Puerto Peñasco, Son.: "Bahía Adair", "Pescadores Mexicanos", "Independientes", "Adolfo Ruiz Cortínez" y "Punta Peñasco", que colaboraron mediante el préstamo de dos barcos camaroneros para realizar los cruceros hidrológicos de Julio y Agosto y subvencionando parcialmente dichos cruceros; a la Universidad de Sonora que colaboró permitiéndonos utilizar su embarcación para el crucero de Octubre del presente año; y al Ocean. Katsuo Antonio Nishikawa Kinumura, por habernos dado la oportunidad de rea-



lizar este estudio en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas.

Y nuestra gratitud a nuestros compañeros Oceanólogos Manuel Acosta Ruiz, Antonio Badán Dagon, P.O. Jorge Alberto Rivera, P.O. Orlando Núñez Esquer, P.O. Jorge Ballesteros Grijalva, P.O. Marcos Miranda Aguilar, P.O. Manuel Galindo Bect, P.O. Federico Zambrano Martínez, M.C. Michael Larroque, P.O. José Luis Ortega P., P.O. Horacio Haro B., P.O. Luis García Pámanes y P.O. Antonio Diaz de León, por su ayuda desinteresada para la obtención de muestras en el campo.

Al señor Salvador González Delgado por el esmero con que llevó a cabo el trabajo de mecanografía.

A los estudiantes Fernando García Pámanes y Jaime Dominguez Malagón, por la elaboración de las gráficas que se presentan.

# I N D I C E

| <u>CAPITULO</u>                                                         | <u>PAGINA</u> |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|
| I.- INTRODUCCION.....                                                   | 1             |
| II.- MATERIALES Y METODOS DE OBTENCION<br>Y PROCESAMIENTO DE DATOS..... | 3             |
| III.- RESULTADOS.....                                                   | 7             |
| a) Temperatura.....                                                     | 7             |
| b) Salinidad.....                                                       | 13            |
| c) Concentración de oxígeno<br>disuelto.....                            | 24            |
| d) pH.....                                                              | 38            |
| e) Variación diurna.....                                                | 50            |
| IV.- DISCUSIONES.....                                                   | 54            |
| V.- CONCLUSIONES.....                                                   | 76            |
| VI.- BIBLIOGRAFIA.....                                                  | 77            |

## "HIDROGRAFIA DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA"

### I.- INTRODUCCION.

El Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, bajo contrato con la Dirección de Acuacultura (SRH), llevó a cabo el desarrollo de la segunda etapa de un estudio químico sobre la contaminación por pesticidas organoclorados en la desembocadura del Río Colorado y zonas adyacentes, así como un análisis de la evolución de la pesquería regional. Este trabajo de tesis constituyó parte de este estudio.

El área donde se llevó a cabo el estudio hidrológico, denominada Alto Golfo de California, tiene una forma más o menos triangular y se encuentra localizada al norte de los 31° N. Al oeste se encuentra el Estado de Baja California y al este el Estado de Sonora. La costa oeste está formada de grandes marismas lodosas, cuyos sedimentos se derivan del Río Colorado (Thompson, 1969). Al lado noreste se encuentra el desierto de Sonora o desierto de El Altar. Cerca de la costa, el desierto consiste de un plano aluvial de arena y grava que en ciertos lugares está cubierto de dunas de arena (Schreiber, Jr. 1969).

Esta área se ha clasificado como una de las porciones más áridas del desierto norteamericano (Meigs, 1953). Las islas de Tiburón y Angel de la Guarda, localizadas en la parte media del Golfo, actúan como disipadores para la mayoría de los ciclones que entran al Golfo de California (Roden, 1964). La velocidad máxima de viento, registrada en las instalaciones de la Universidad de Sonora y la Universidad de Arizona en Puerto Peñasco, Son., fue de 76 Mlls./h., durante el otoño de 1967 (Green, 1969).

Las mareas son de gran amplitud en el Alto Golfo de California, con componentes diurnas y semidiurnas. Las componentes diurnas aumentan ligeramente de la boca del golfo hacia el norte y las componentes semidiurnas disminuyen (Matthews 1969). Recientemente se ha contado con calendarios para predic

ciones de mareas en el norte del golfo (Matthews, Thompson y Browning, 1967).

Matthews (1969) menciona que existe una discrepancia en los periodos naturales de oscilación calculados para el Golfo de California. Proudman y Groves (1965) establecen que el periodo natural de oscilación del Golfo es de 25 horas, que debería establecer predominantemente mareas diurnas. Defant (1961) establece que el periodo natural para el Golfo es de 7.76 horas; lo cual debe tender hacia el establecimiento de una marea semidiurna. De acuerdo con Matthews (1969), los resultados de Defant están más de acuerdo con las observaciones efectuadas. De acuerdo con Thompson (1969), la circulación en el extremo norte del golfo está dominada por corrientes de mareas; sin embargo se conoce muy poco sobre la magnitud y dirección de estas corrientes.

El fondo del Alto Golfo de California tiene una topografía muy irregular, con una serie de canales y bajos con dirección noroeste-sureste, mejor desarrollados hacia lo que fué la boca del Río Colorado. Esto dificulta la navegación de embarcaciones con calado mayor de un metro, sobre todo cuando no se tiene familiaridad con las fluctuaciones de mareas y las fuertes corrientes provocadas por las mareas.

De acuerdo con Schreiber Jr. (1969), se han colectado datos de flujo del sistema del Río Colorado en los Estados Unidos de Norteamérica desde principios de siglo. Desde 1935 el flujo del río ha sido atrapado en el Lago Mead y a medida que se descarga en la sección del río aguas abajo de este lago, se retiene en la parte superior del delta donde se utiliza para fines agrícolas. La causa principal del cambio del flujo ha sido la construcción de presas, particularmente la presa Hoover. Los resultados del presente trabajo indican que solamente en los días en que se registra precipitación pluvial existe aporte de agua dulce al Alto Golfo de California el cual es de origen local.

Las características hidrológicas, físicas y químicas de nuestra área de interés no se habían estudiado antes de que este trabajo diera comienzo con el crucero que se realizó en Octubre de 1972. Rosenberg (1969) realizó una revisión de los trabajos publicados sobre las características físicas y químicas oceanológicas de la parte norte del golfo (de Isla Angel de la Guarda hacia el norte) y no presenta datos de nuestra área de interés. Thompson (1969) reportó algunos pocos datos de salinidad tomados en Marzo de 1968 en la costa de Sonora, cerca de Santa Clara. El estudio de esta parte del Golfo de California es muy importante para un mejor entendimiento de la dinámica del golfo como un todo y para una mejor comprensión del mismo como ecosistema.

El objetivo primordial de este estudio es de conocer el cuadro ambiental en la zona norte del Golfo de California y en los esteros del delta del Río Colorado. Es decir, conocer la distribución espacial en esta zona de las diferentes propiedades hidrológicas, físicas y químicas y los cambios de esta distribución en función del tiempo a través de un ciclo anual. La importancia del objetivo que se persigue, estriba en que al conocer las condiciones hidrológicas, tales como los procesos físicos de advección y difusión, se podrán utilizar como herramientas para el estudio del flujo de contaminantes en la zona; además será una contribución al conocimiento de los factores ecológicos del lugar, que pueden relacionarse con aspectos biológicos de especies comerciales, tales como el camarón y la totoaba.

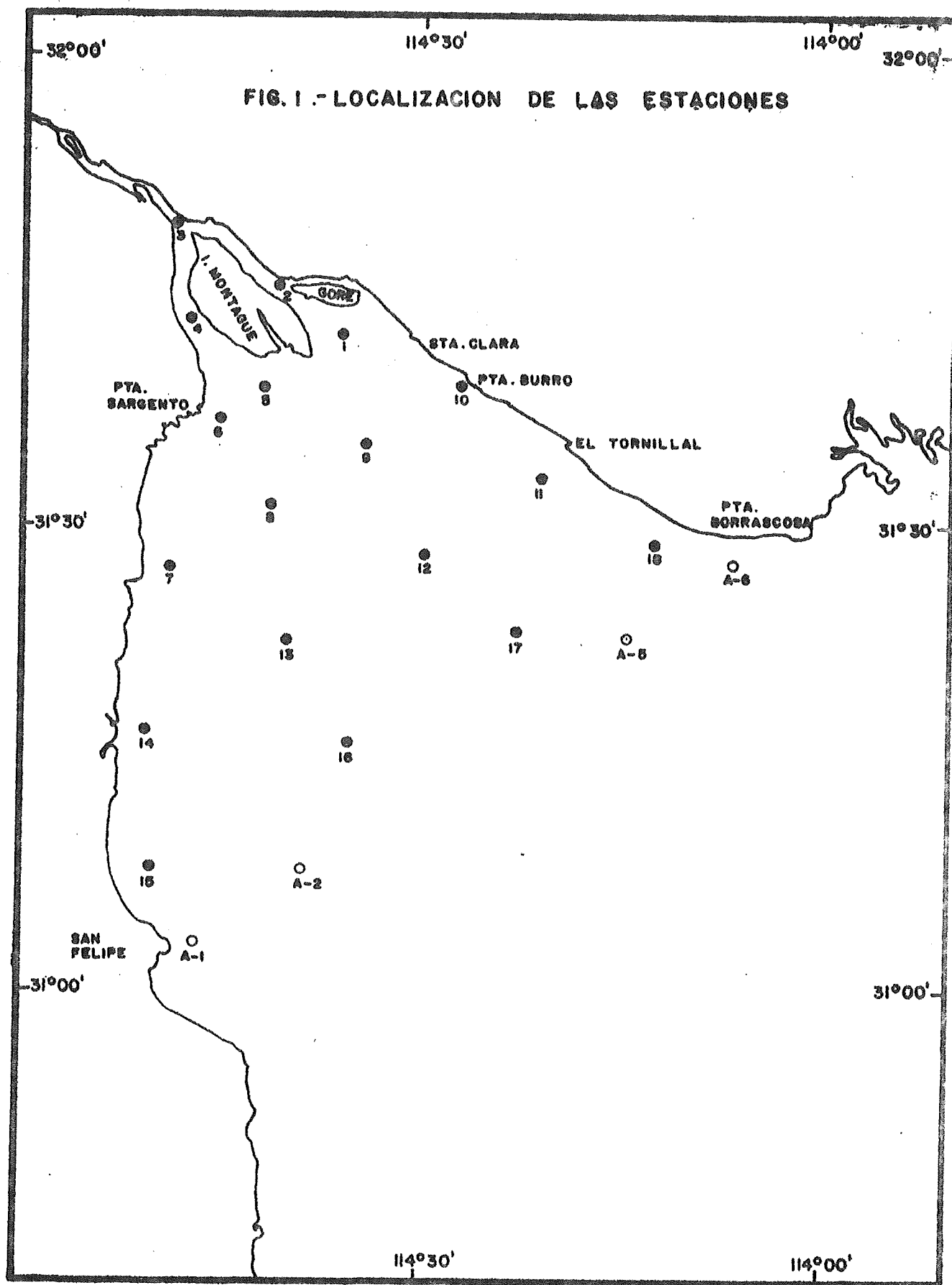
## II. MATERIALES Y METODOS DE OBTENCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

Se realizaron 10 cruceros oceanográficos en el periodo de Octubre de 1972 a Octubre de 1973, las fechas de estos cruceros fueron: 25-27 de Octubre, 9-14 de Diciembre, 16-19 de Enero, 1-2 de Febrero, 9-14 de Marzo, 21-24 de Mayo, 26-27 de Junio, 21-22 de Julio, 17-18 de Agosto y del 30 de Septiembre al 2 de Octubre. Para el crucero del 21 al 22 de Julio se uti

lizó el barco camaronero "Santa Lucía" de la Cooperativa "Adair" de Puerto Peñasco, Son.; para el crucero del 17 al 18 de Agosto se utilizó el barco camaronero "Don Chuy", propiedad del Doctor Guevara de Puerto Peñasco, Son.; para los 8 cruceros restantes se utilizó la embarcación "Adventyr" de 44 pies de eslora, operada por la Universidad de Arizona hasta Junio de 1973 y perteneciente a la Universidad de Sonora.

La localización de las estaciones hidrográficas se muestra en las figuras 1 y 2.- Las estaciones representadas por círculos oscuros, de la figura 1, se ocuparon en los cruceros de Octubre de 1972 y de Febrero, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre-Octubre de 1973; en Marzo de 1973 se ocuparon todas las estaciones de la figura 1. El patrón de estaciones de la figura 2 se cubrió en los cruceros de Diciembre de 1972 y de Enero de 1973. En estos últimos cruceros se cambió la posición de las estaciones para trabajar en conjunto con el personal de la Universidad de Arizona; en el resto de los cruceros se trabajó totalmente independiente. Lo anterior no afecta los muestreos y los datos de crucero a crucero son comparables, sobre todo cuando se trata de estudiar la distribución superficial de las diferentes propiedades.

En cada crucero se determinaba la temperatura "in situ" con termómetros reversibles; la concentración de oxígeno disuelto, utilizando el método macro-winkler descrito por Strickland y Parsons (1965); el pH, utilizando electrodos de vidrio y un potenciómetro marca Orión modelo 407, de baterías con precisión de  $\pm 0.01$  de unidad de pH; la transparencia mediante un disco de Secchi; y las condiciones meteorológicas (porcentaje de nubosidad, dirección y velocidad del viento, utilizando un anemómetro marca Kahlsico, temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo con un psicrómetro); se tomaban muestras de salinidad para su posterior análisis en el laboratorio; para determinar la salinidad se utilizó un salinómetro Beckman, modelo 118 WA 200. Donde la profundidad lo permitía, además de muestrear en



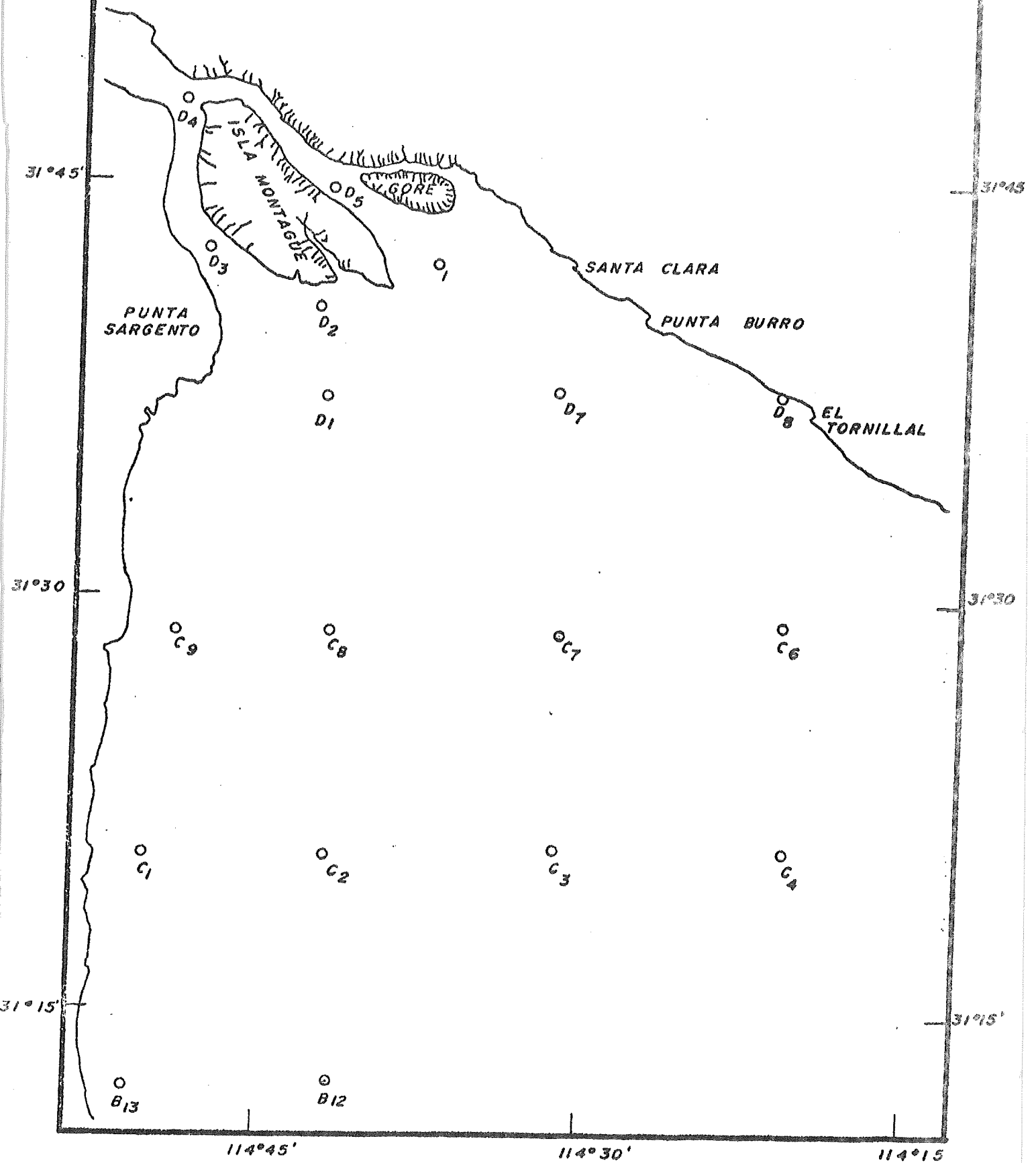


114°45'

114°30'

114°15' 6

FIG.2.- LOCALIZACION DE ESTACIONES HIDROGRAFICAS.



la superficie, se muestreaba a profundidad, cada 5 m. En los cruceros de Enero, Marzo y Agosto de 1973 no se determinó el pH debido a fallas en el potenciómetro.

Al estudiar la distribución superficial de los parámetros físicos y químicos se debe tomar en cuenta que en un determinado crucero las diferentes estaciones no se ocupan simultáneamente. En algunas ocasiones existen no solamente horas sino hasta días de diferencia entre los tiempos en que se ocuparon las diferentes estaciones. Al estar dibujando una gráfica que muestra la distribución superficial de una variable estamos asumiendo que los datos se tomaron simultáneamente, por lo tanto la gráfica es sólo una aproximación a la realidad. Si los rangos de variación en función del tiempo exclusivamente, son relativamente pequeños para la duración del crucero, la aproximación es aceptable. En el caso particular de nuestra zona de interés, más importante que las variaciones que ocurran de día a día, son las que ocurren a través de un día determinado en que se realizan muestreos. Por ejemplo, en un punto geográfico determinado en el Alto Golfo de California, la diferencia de los valores de un parámetro de las 12:00 a las 24:00 horas del mismo día es mayor que de las 12:00 horas de un día a las 12:00 horas del día siguiente. Por lo tanto, las interpretaciones que se obtengan al comparar directamente los valores tomados en las diferentes estaciones solamente son completamente válidas cuando se toman en consideración los cambios que pudieron haber ocurrido durante el tiempo que haya durado el muestreo, debido a los efectos de las mareas, irradiación solar, evaporación, fotosíntesis, etc. Con el fin de conocer la variación diurna de los diferentes parámetros físico-químicos, se realizaron determinaciones de los mismos durante 24 horas, cada 2 horas, en dos ocasiones: una en Marzo y otra en Mayo de 1973; el estudio de variación diurna de Marzo se realizó en la estación A-6 (círculo claro) de la figura 1, y el de Mayo se realizó frente a Santa Clara, Son.

### III. RESULTADOS.

#### a) TEMPERATURA.

En los meses de Octubre, Diciembre, Enero y Febrero,

la temperatura superficial en el Alto Golfo de California disminuye del sureste al noroeste (Figs. 3, 4, 5 y 6). Durante el crucero de Octubre la temperatura superficial más baja fue de  $20.20^{\circ}\text{C}$ . y se registró al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1). Durante el crucero de Diciembre fue de  $8.25^{\circ}\text{C}$ . y se registró al oeste de isla Montague (estación  $D_3$ , Fig. 2). En los cruceros de Enero y Febrero las temperaturas más bajas también se presentaron al oeste de isla Montague y fueron de  $12.21^{\circ}\text{C}$ . y  $10.85^{\circ}\text{C}$ . respectivamente (estación  $D_3$ , Fig. 2 y estación 4, Fig. 1, respectivamente).

En general, para un determinado momento las temperaturas más bajas durante el período de Octubre a Febrero, se registran al norte de isla Montague. El hecho que durante los cruceros de Diciembre, Enero y Febrero se registrara al oeste de la isla se debió a que la estación hidrográfica localizada en este sitio se ocupó a una hora más temprana que la estación localizada al norte de la isla.- La temperatura superficial en esta última estación fue mayor por el efecto de la variación diurna debido a la radiación solar. En el área estudiada, las temperaturas superficiales más elevadas se registraron en la zona sureste, durante estos meses. En el crucero de Octubre fue de  $24.00^{\circ}\text{C}$ . (estación 18, Fig. 1); en el crucero de Diciembre fue de  $17.55^{\circ}\text{C}$ . (estación  $C_6$ , Fig. 2); en Enero fue de  $16.81^{\circ}\text{C}$ . (estación  $C_4$ , Fig. 2); y en Febrero fue de  $15.90^{\circ}\text{C}$ . (estación 18, Fig. 1). La distribución superficial de temperatura fue muy regular en los meses de Diciembre, Enero y Febrero. (Figs. 4, 5 y 6), pero en Octubre fue irregular, mostrando lengüetas de bajos valores en el lado oeste (Fig. 3).

Para el mes de Marzo, la distribución superficial de

114° 45' 114° 30' 114° 15'

FIG. 3 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE T°C  
EN OCTUBRE

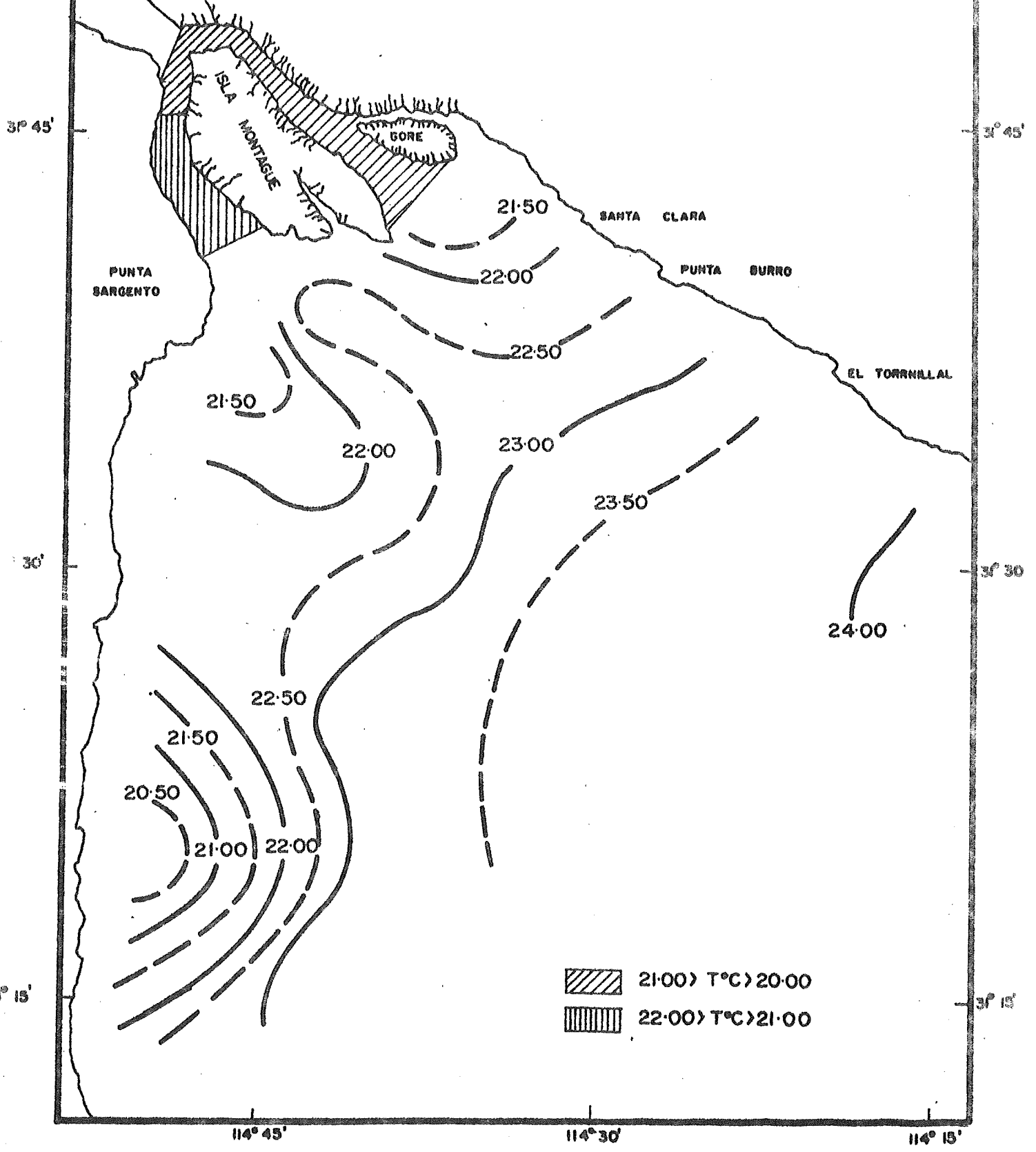
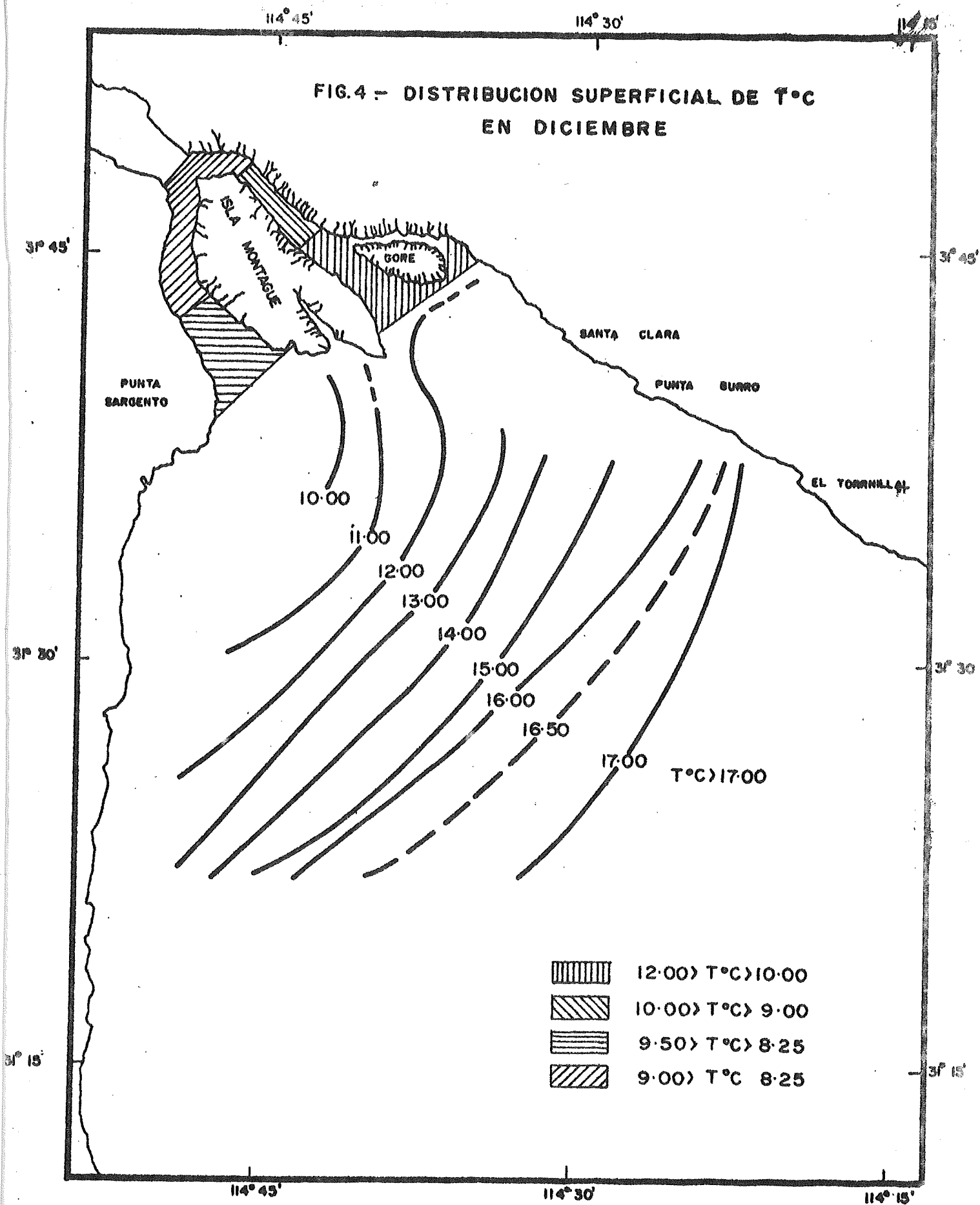
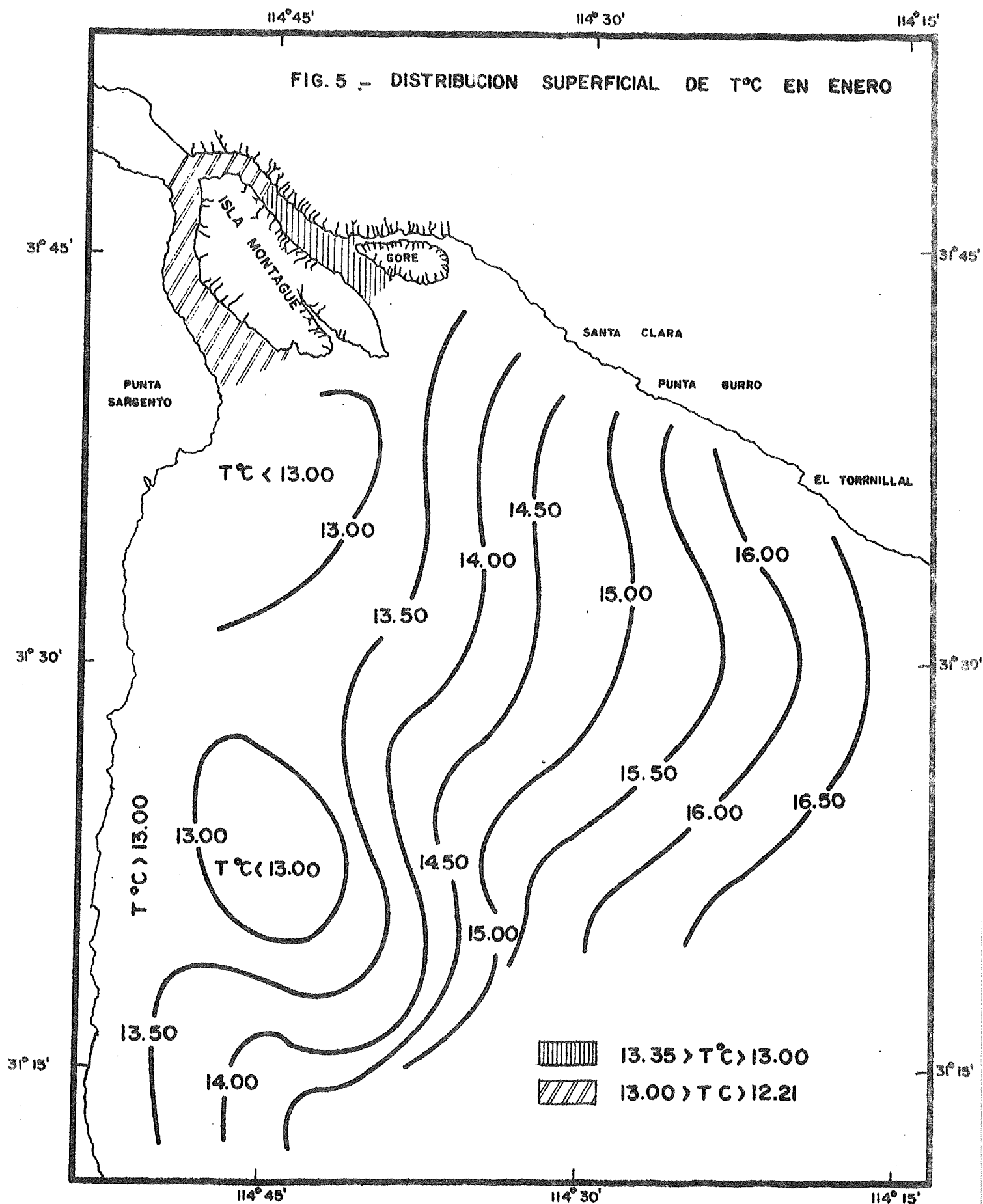
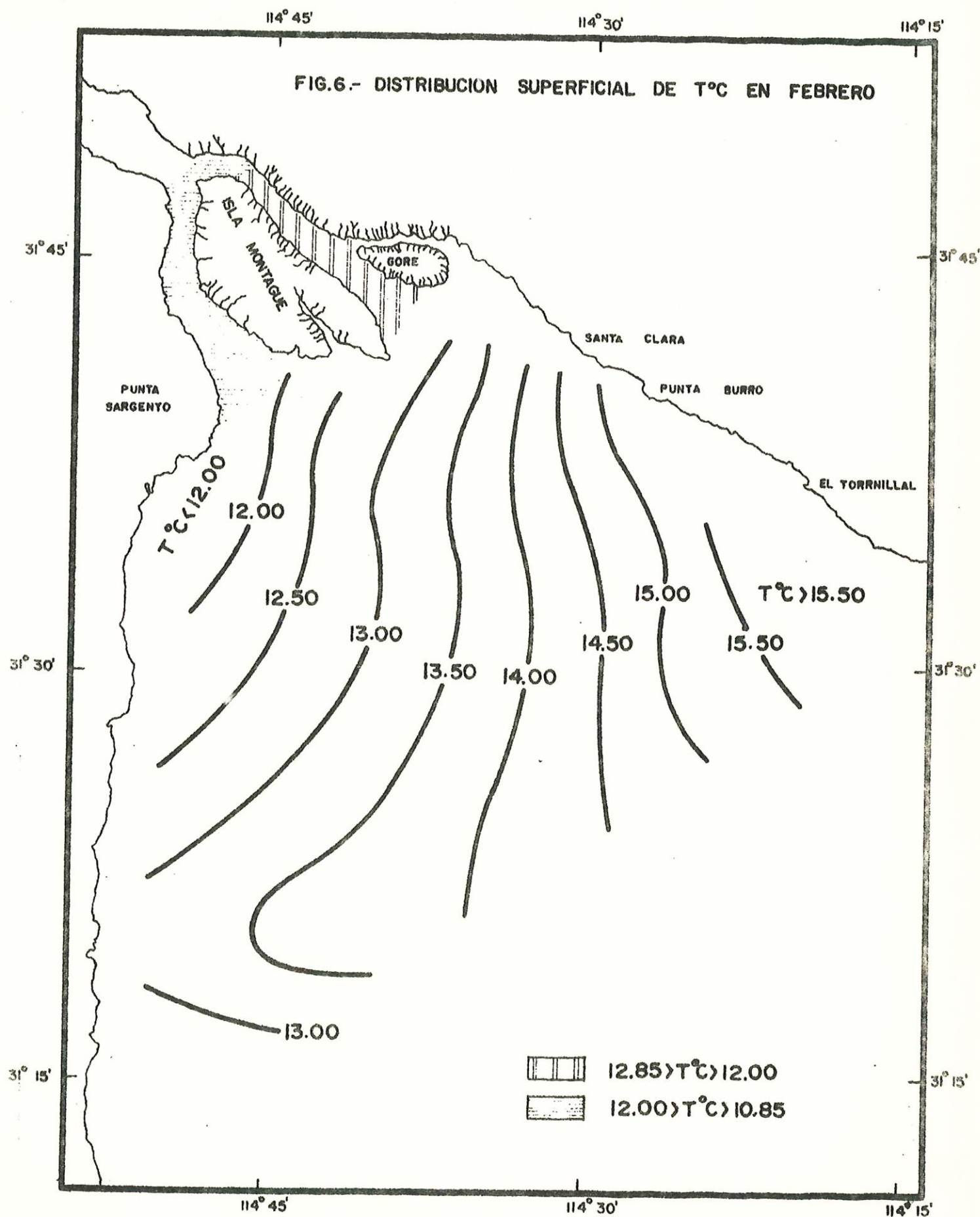


FIG.4 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE T°C  
EN DICIEMBRE







temperatura es muy irregular, sin presentar un gradiente monotónico (Fig.7). La temperatura mínima superficial registrada en este mes fue de  $16.40^{\circ}\text{C}$ . y se registró al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1); y la máxima fue de  $17.90^{\circ}\text{C}$ . y se registró en la parte central de la zona de estudio (estación 13, Fig. 1).

Para los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto de 1973, existe en general una tendencia de la temperatura superficial de aumentos de sureste a noroeste (Fig.8,9,10 y 11), contrario a la situación de los meses de Invierno y Primavera. Mientras que en el crucero de Septiembre-Octubre de 1973 se observa de nuevo la inversión de la distribución superficial de temperatura con los valores disminuyendo hacia el noroeste (Fig.12). Las temperaturas superficiales mínimas registradas en estos cruceros fueron las siguientes:  $23.90^{\circ}\text{C}$ . en Mayo (estaciones 16 y 17, Fig. 1);  $27.80^{\circ}\text{C}$ . en Junio (estación 17, Fig. 1);  $27.05^{\circ}\text{C}$ . en Julio (estación 17, Fig. 1);  $30.60^{\circ}\text{C}$ . en Agosto (estación 18, Fig. 1);  $25.56^{\circ}\text{C}$ . en Septiembre-Octubre, al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1). Las temperaturas superficiales máximas registradas en estos cruceros fueron:  $28.80^{\circ}\text{C}$  en Mayo (estación 7, Fig. 1);  $31.50^{\circ}\text{C}$ . en Junio (estación 14, Fig. 1);  $31.30^{\circ}\text{C}$ . en Julio, en la parte central de nuestra zona de interés (estación 12, Fig. 1);  $32.58^{\circ}\text{C}$ . en Agosto, al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1);  $29.34^{\circ}\text{C}$ . en Septiembre-Octubre, en la parte sureste (estación 11 Fig.1). La distribución superficial de temperatura en el crucero de Mayo fue muy regular, pero las de los cruceros de Junio, Julio, Agosto y Septiembre-Octubre fueron irregulares, con las isotermas en forma concéntricas o en forma de lenguetas.

Las temperaturas superficiales más bajas, durante el ciclo anual estudiado se registraron en el mes de Diciembre (Fig.4), y las más elevadas se registraron en el mes de Agosto (Fig. 11).

#### b) SALINIDAD.

La distribución superficial de salinidad para los diferentes cruceros se muestran en las figuras 13 al 22. Con--

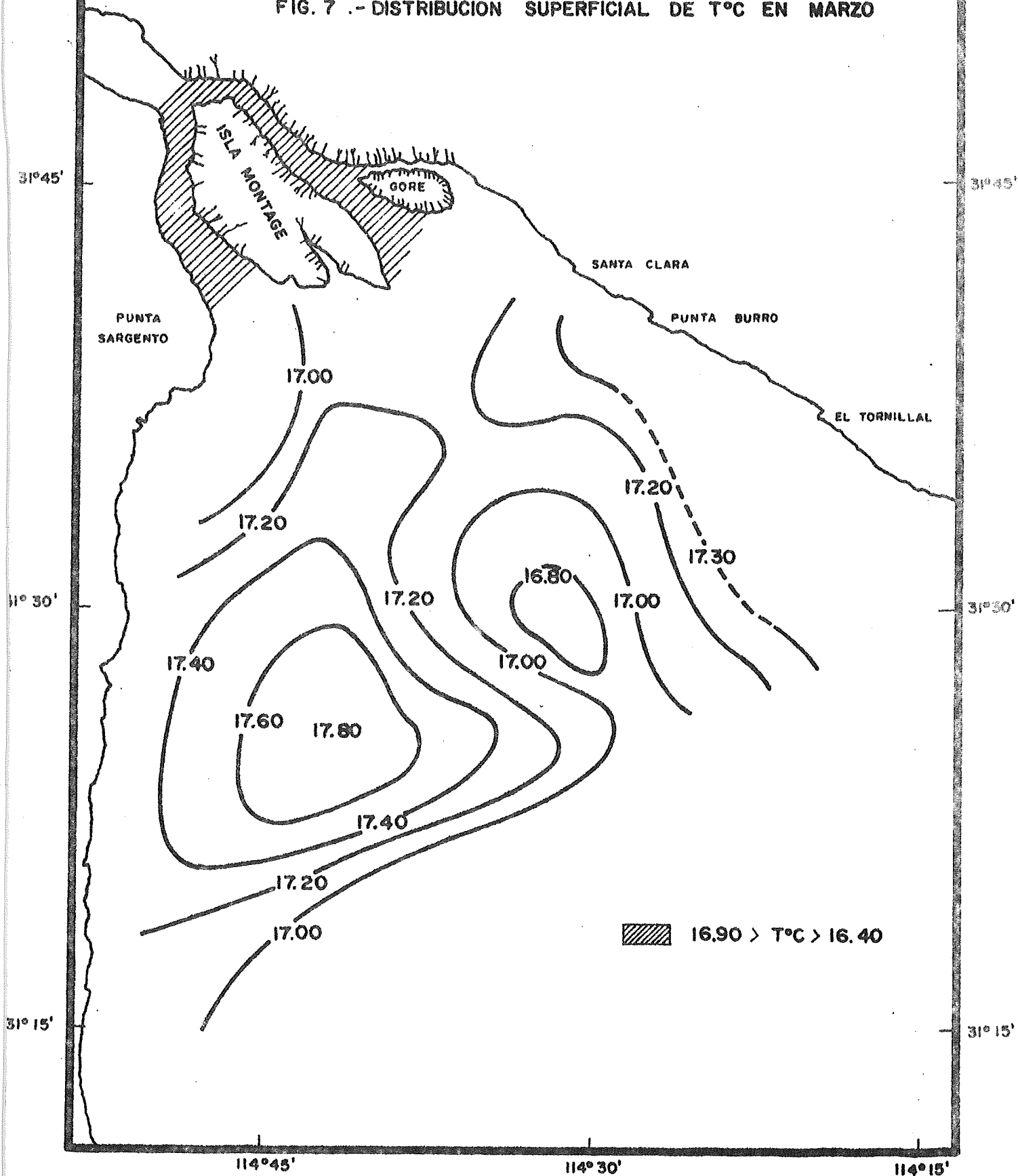


114° 45'

114° 30'

114° 15'

FIG. 7 .- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE T°C EN MARZO



114° 45'

114° 30'

114° 15'

FIG. 8 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE T°C EN MAYO

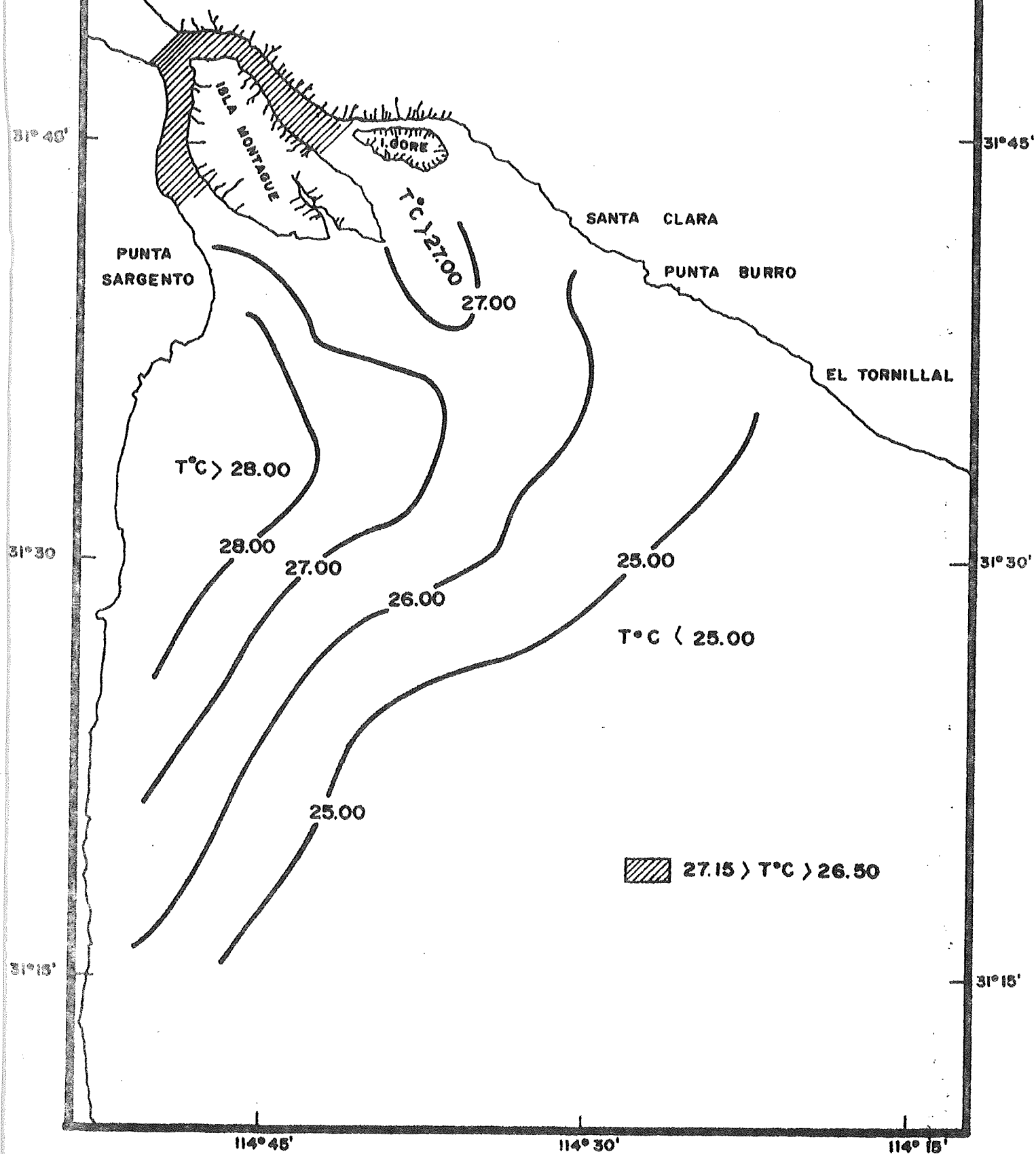
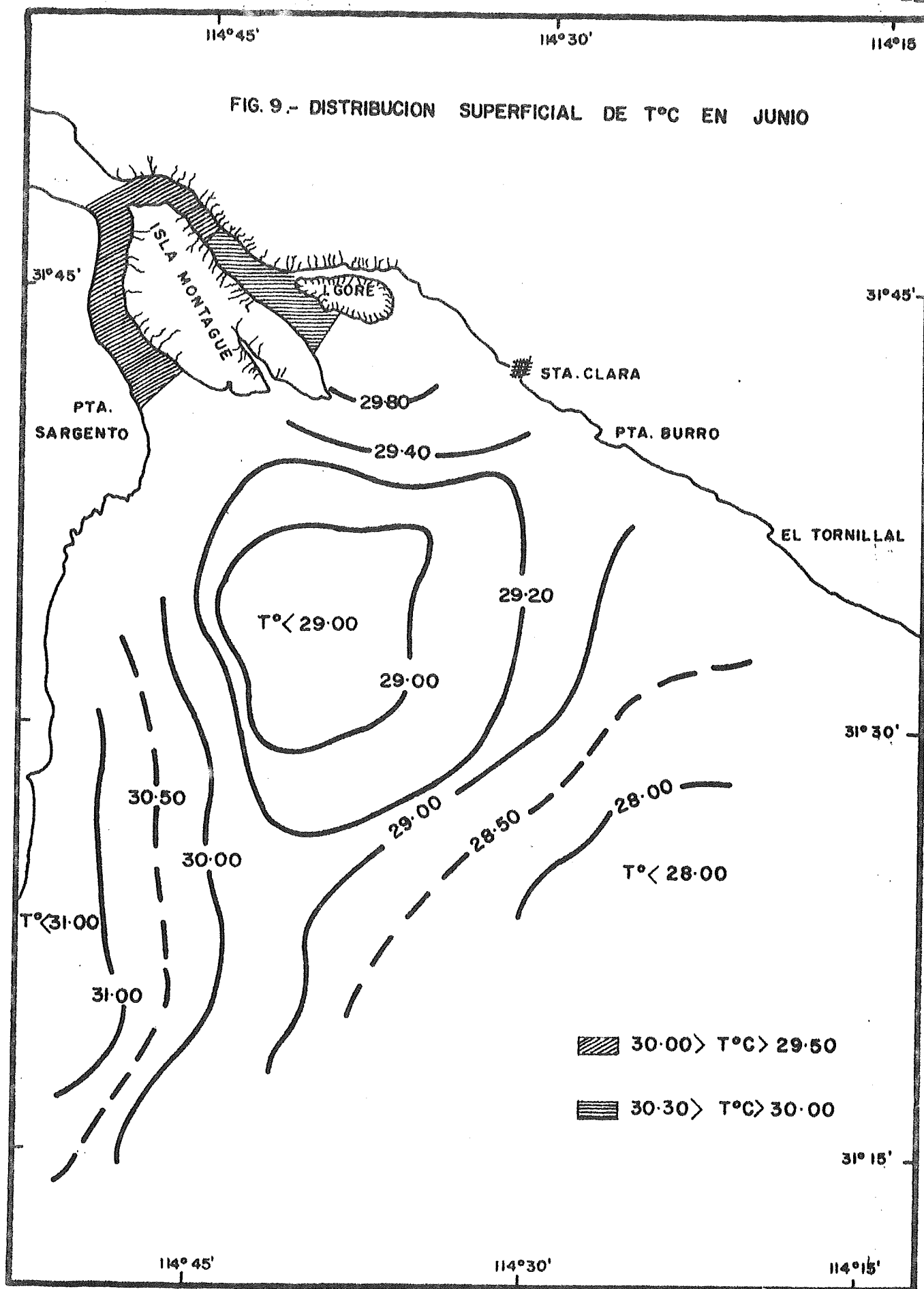
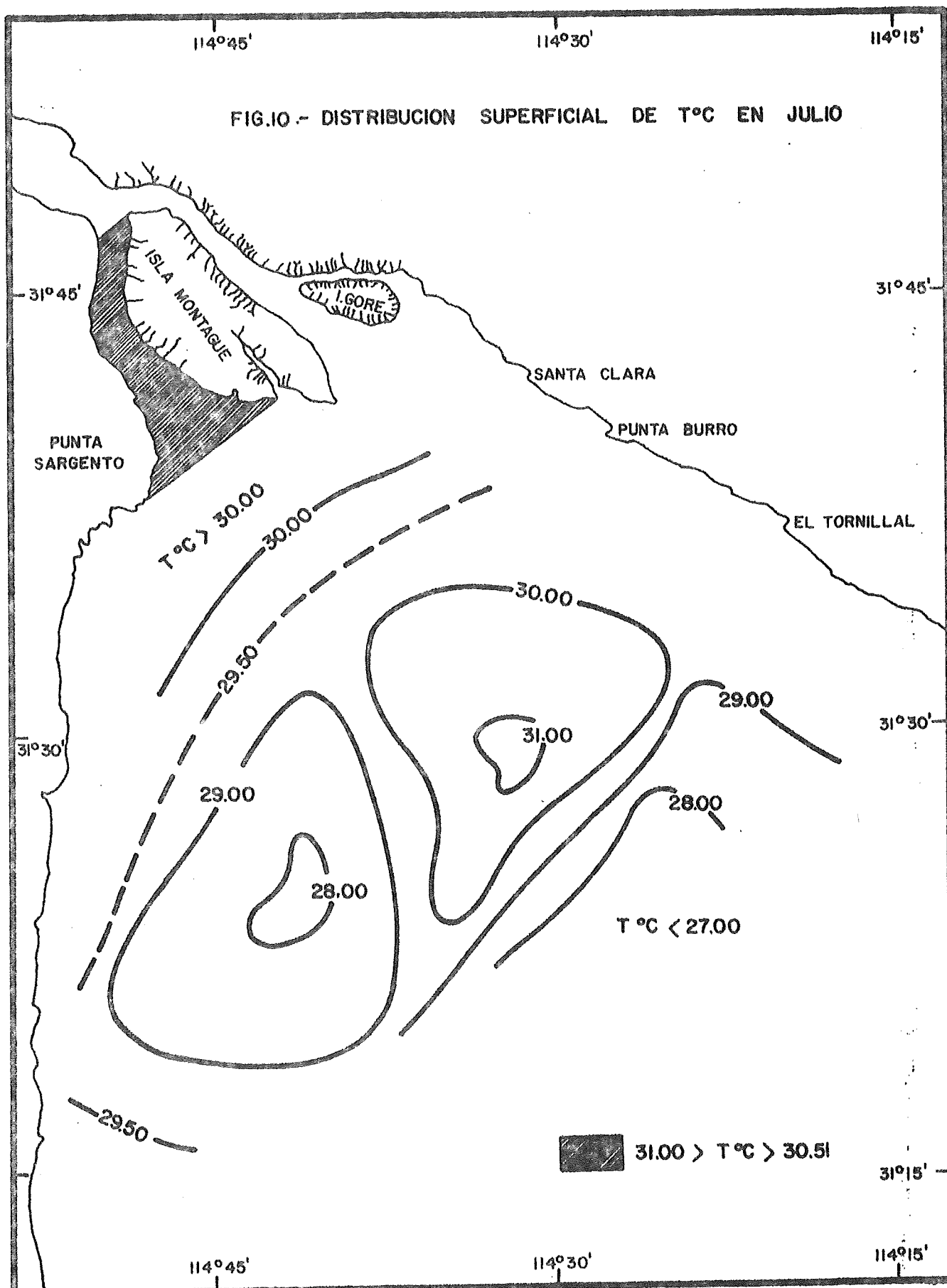
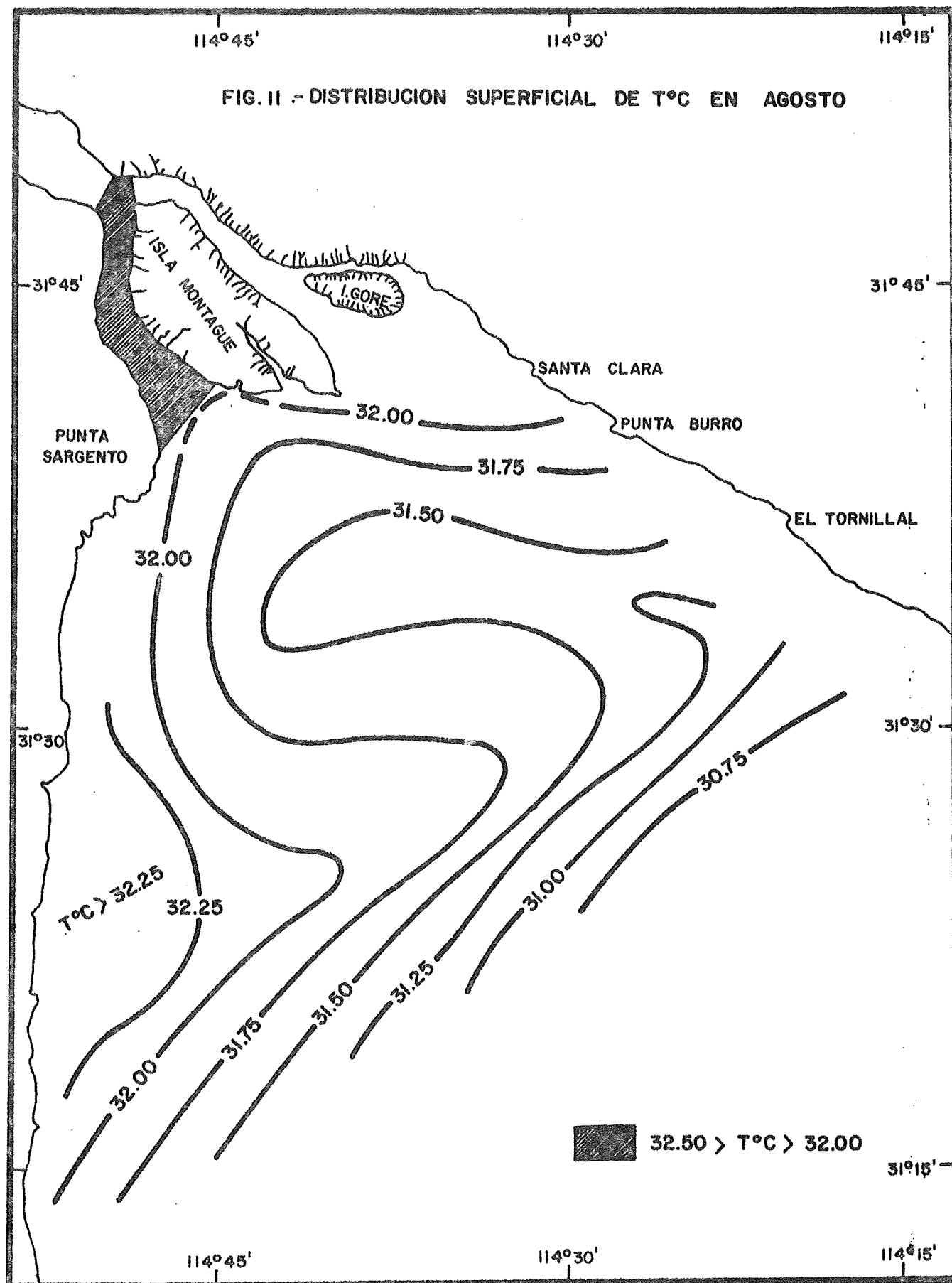
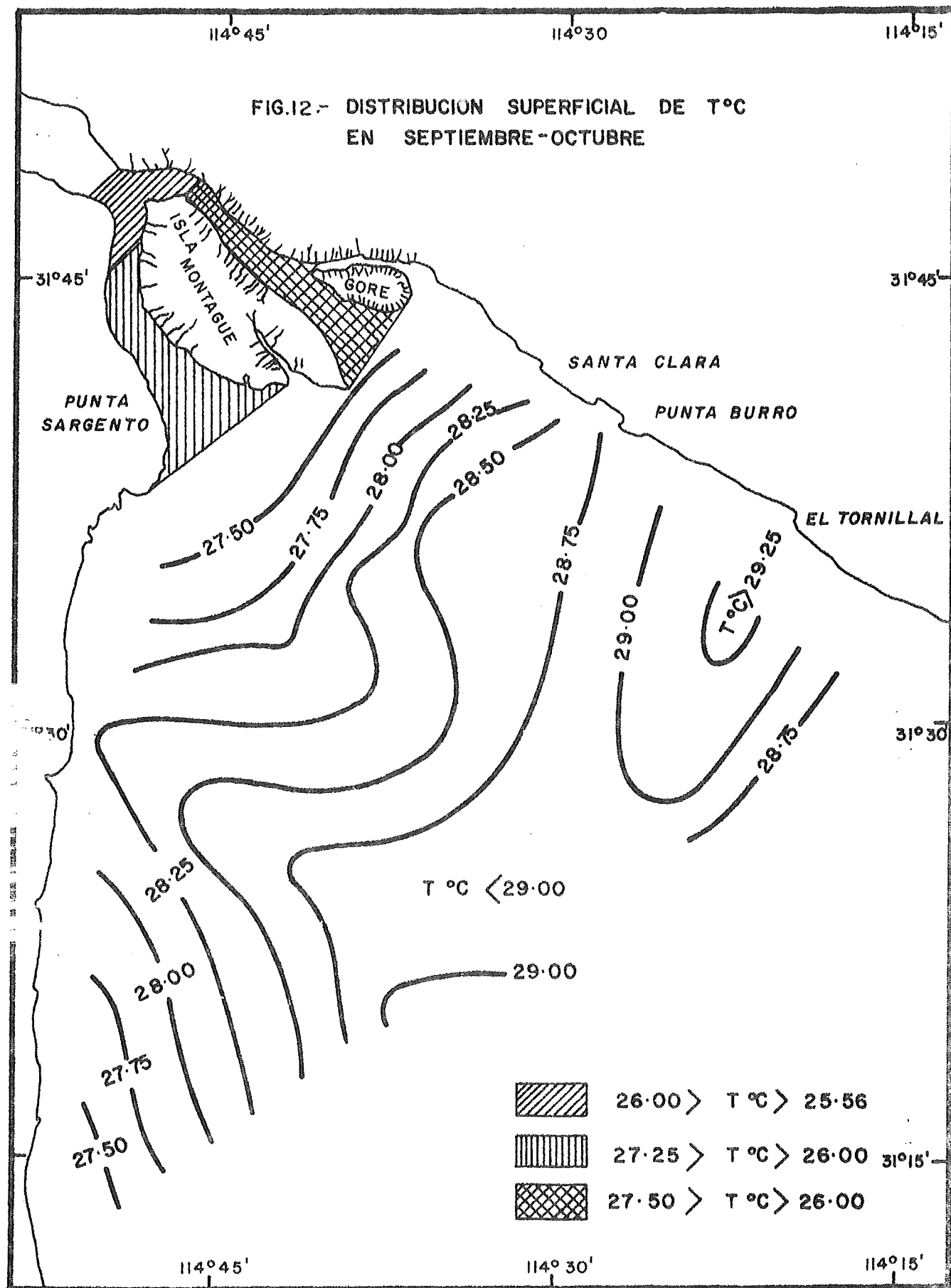


FIG. 9.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE T°C EN JUNIO







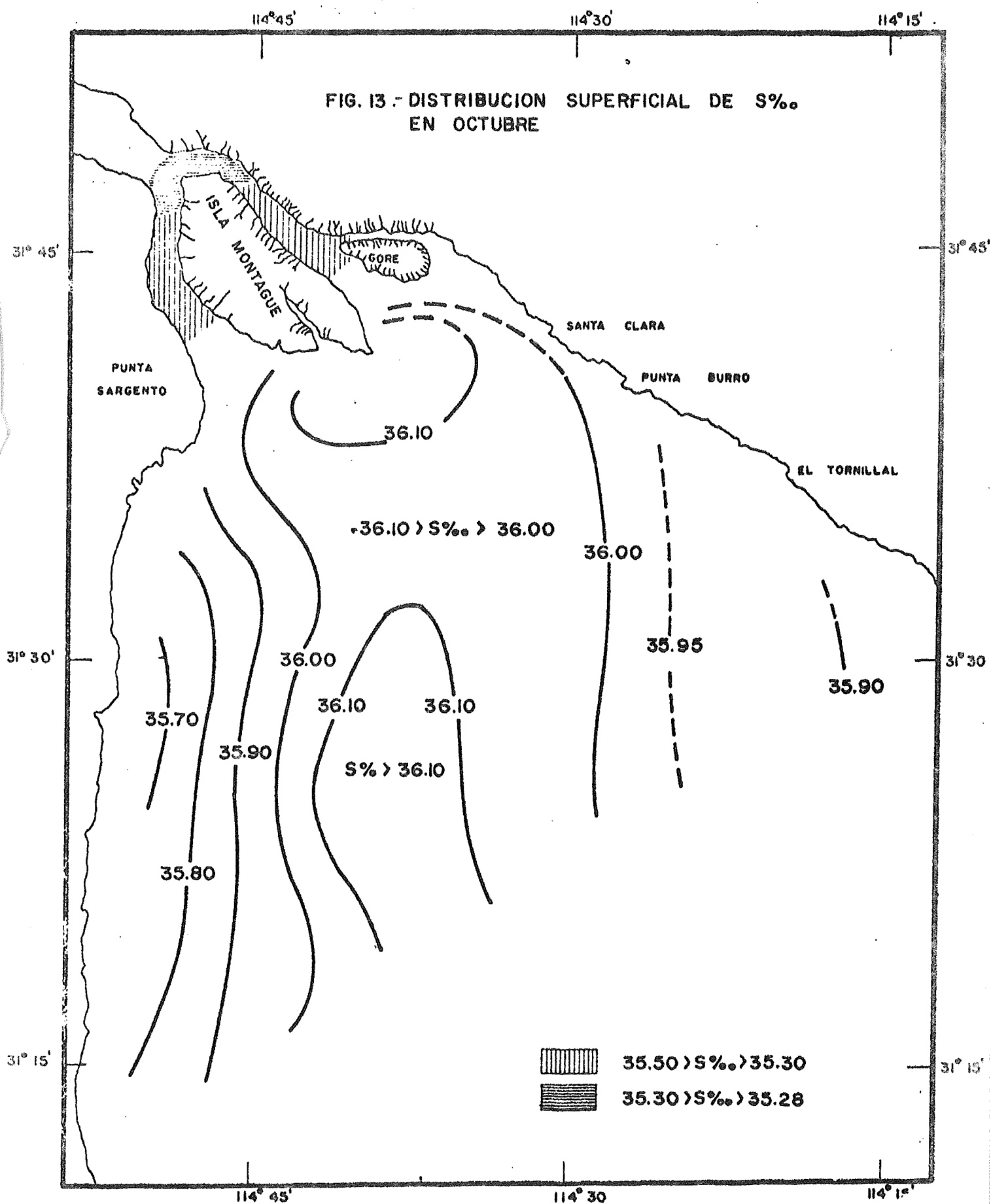


trario a la distribución superficial de temperatura, la de salinidad no muestra una inversión en función de la estación del año, sino generalmente presenta la misma variación monotónica con los valores aumentando de sureste a noroeste. Los únicos casos en que no se presenta esta situación son aquellos en que inmediatamente antes o durante el crucero existió una precipitación pluvial significativa. Esto es notable especialmente para el crucero de Octubre de 1972, único caso en que la salinidad mínima fué registrada al norte de isla Montague. Para este crucero la distribución superficial de salinidad muestra una lengüeta de valores altos, provenientes del sur en la parte central (Fig.13). A los lados de esta lengüeta los valores decrecen hacia ambas costas. El valor mínimo registrado fué de  $35.29\text{‰}$ . Las aguas cercanas a la costa de Baja California tenían en general valores de salinidad más bajos que los de las aguas cercanas a la costa de Sonora (Fig.13). La salinidad superficial más alta registrada durante el crucero de Octubre fué de  $36.18\text{‰}$  (estación 13, Fig.1).

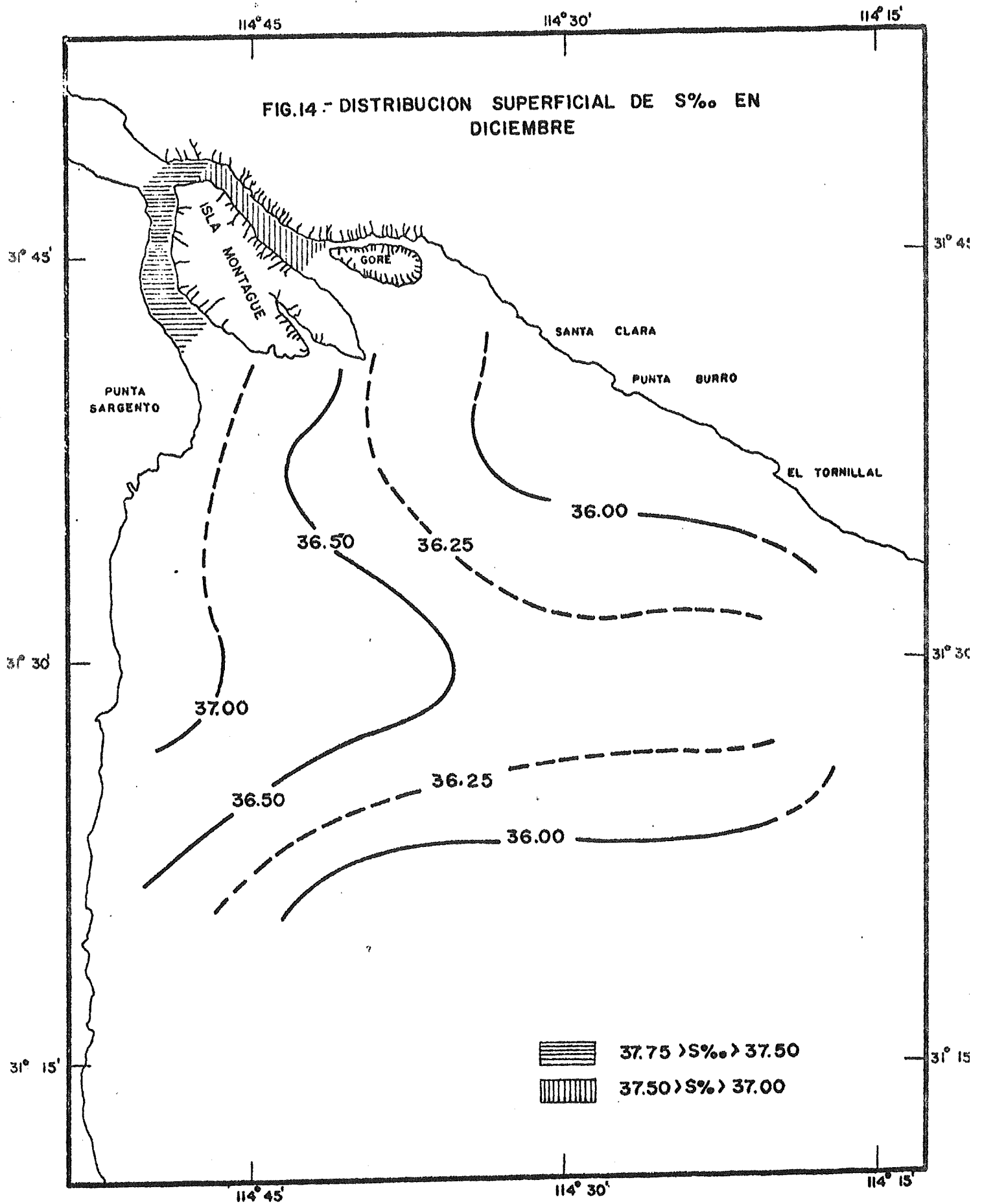
Para el crucero de Diciembre la distribución superficial de salinidad muestra una lengüeta de valores altos, que se originan en la parte cercana a la costa de Baja California y se extiende hacia la costa de Sonora (Fig.14). La situación es casi inversa que en el crucero de Octubre. El máximo de salinidad ( $37.73\text{‰}$ ) se registró al oeste de isla Montague (estación  $D_3$ , Fig. 2). Las más bajas salinidades se registraron en la parte oriental de nuestra zona de estudio, cerca de la costa de Sonora.

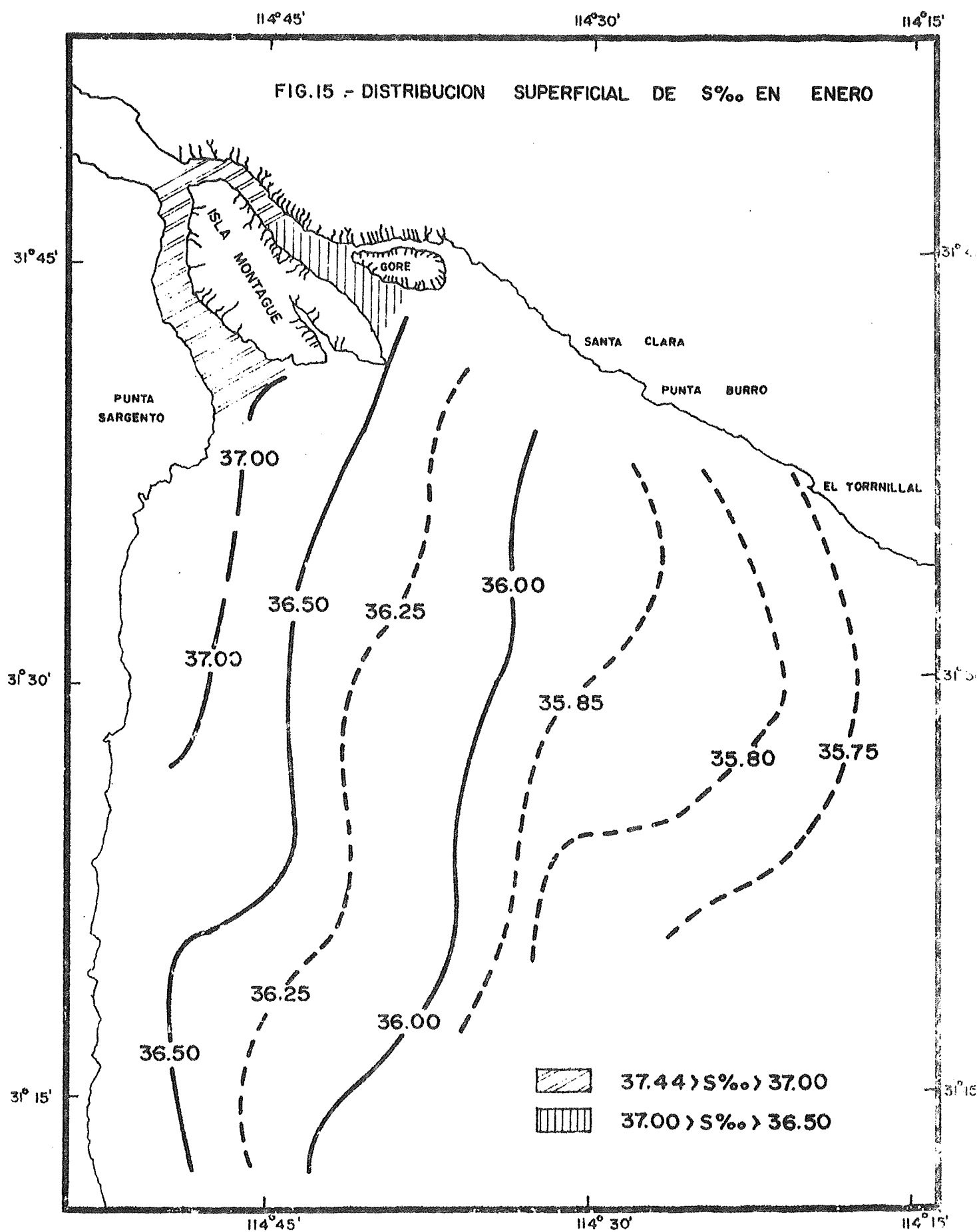
Para el crucero de Enero las isohalinas tienen una dirección casi totalmente meridional, con los valores aumentando de Este a Oeste (Fig.15). La salinidad mínima registrada en Enero fué de  $35.73\text{‰}$  (estación  $C_4$ , Fig. 2). La salinidad superficial máxima fué de  $37.44\text{‰}$  que se registró al noroeste de isla Montague (estaciones  $D_3$  y  $D_4$ , Fig. 2).

Para el mes de Febrero la distribución superficial de









salinidad fué muy similar a la del mes de Enero y con valores muy semejantes (Fig.16). El valor máximo registrado en este crucero fué de 37.58‰ y se registró al oeste de la isla (estación 4, Fig. 1). El valor mínimo fué de 35.83‰ y se registró en la parte oriental, cerca de El Tornillal (estación 11, Fig.1).

En el crucero de Marzo la distribución superficial de salinidad fué un poco irregular (Fig.17). Las isohalinas forman meandros en la parte central, quizá debido a la precipitación pluvial registrada en el período del crucero. El valor mínimo registrado fué de 35.69‰ (estación 11, Fig.1); y el máximo fué de 36.99‰, cerca de Punta Sargento (estación 6, Fig.1).

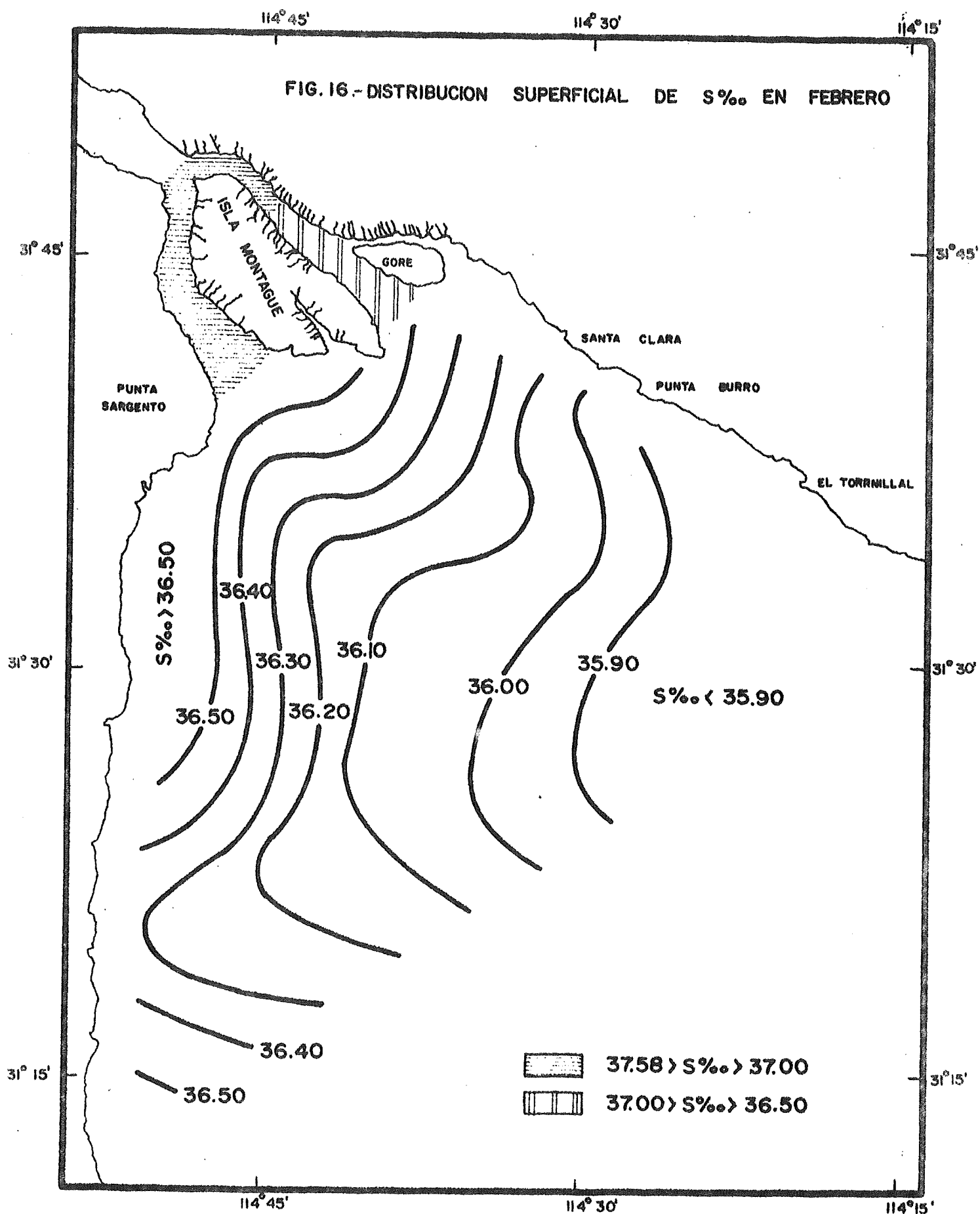
La distribución superficial de salinidad de Mayo a Septiembre-Octubre de 1973, fué muy uniforme (Figs.18,19, 20, 21 y 22). Los valores máximos se registraron al norte de isla Montague en todo este período (estación 3, Fig. 1), y fueron: 39.76‰ en Mayo, 39.31‰ en Junio, 41.00‰ en Julio, 39.66‰ en Agosto, y 39.79‰ en Septiembre-Octubre. Las salinidades superficiales mínimas en nuestra zona de estudio, se registraron durante este período en la parte suroriental y fueron: 35.67‰ en Mayo (estación 17, Fig. 1); 35.80‰ en Junio (estación 17, Fig. 1); 35.68‰ en Julio (estación 18, Fig. 1), 35.58‰ en Agosto (estación 18, Fig.1), y 36.00‰ en Septiembre-Octubre (estación 18, Fig. 1).

Las salinidades más bajas en el período estudiado se registraron en el crucero de Octubre de 1973 (Fig.13); y las más elevadas se registraron en el mes de Julio (Fig.20).

#### c) CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO.

La distribución superficial de la concentración de oxígeno disuelto ( $O_2$ ) se muestra en las gráficas 23 al 32. El  $O_2$  no se distribuye tan uniformemente, en los diferentes meses del año, como la temperatura y la salinidad. Durante el crucero de Octubre la distribución superficial de  $O_2$  fué relativamente compleja (Fig. 23). La única tendencia general se registró en la parte norte donde el  $O_2$  aumentó de la costa de

FIG. 16.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE S‰ EN FEBRERO

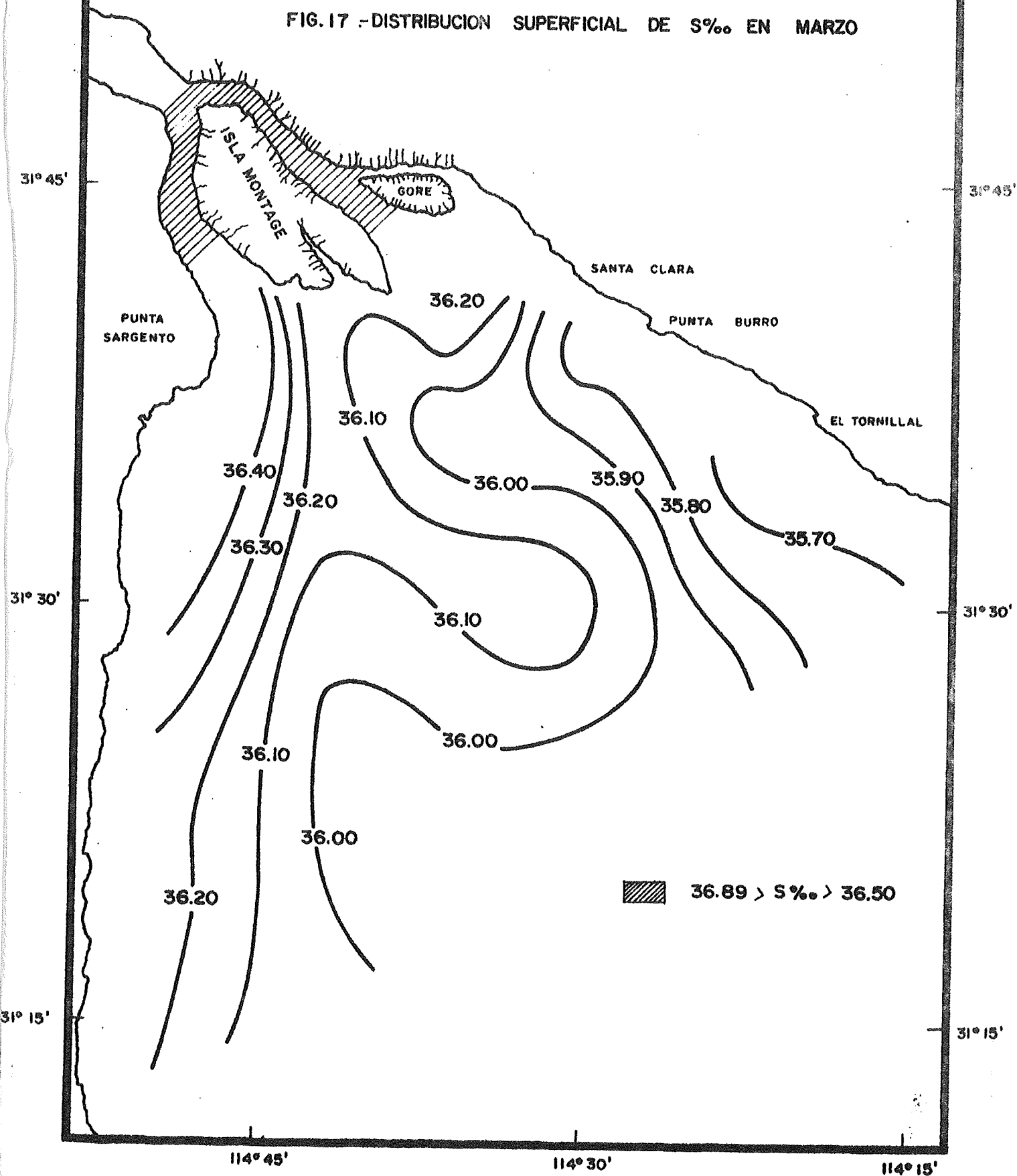


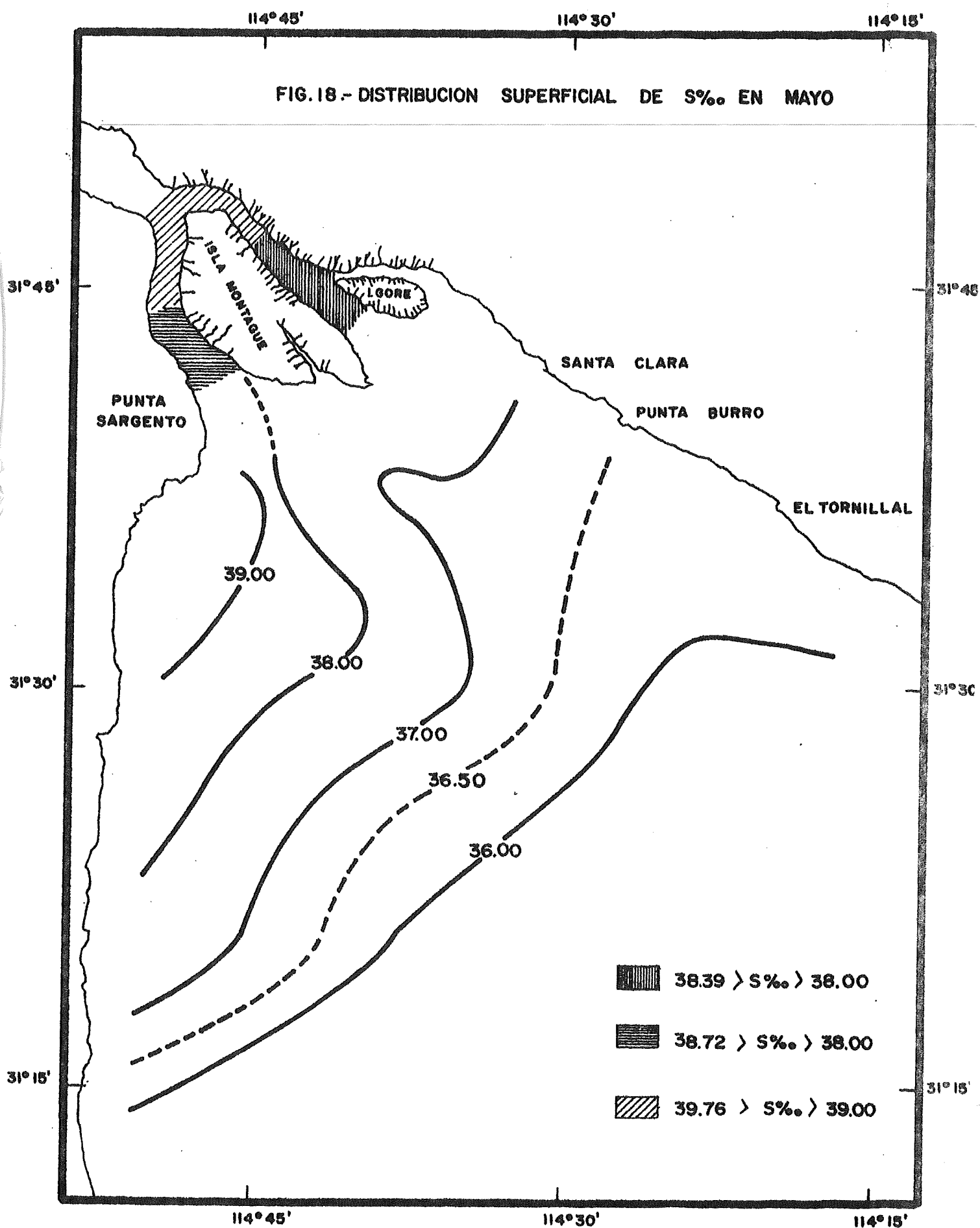
114° 45'

114° 30'

114° 15'

FIG. 17 -DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE S‰ EN MARZO



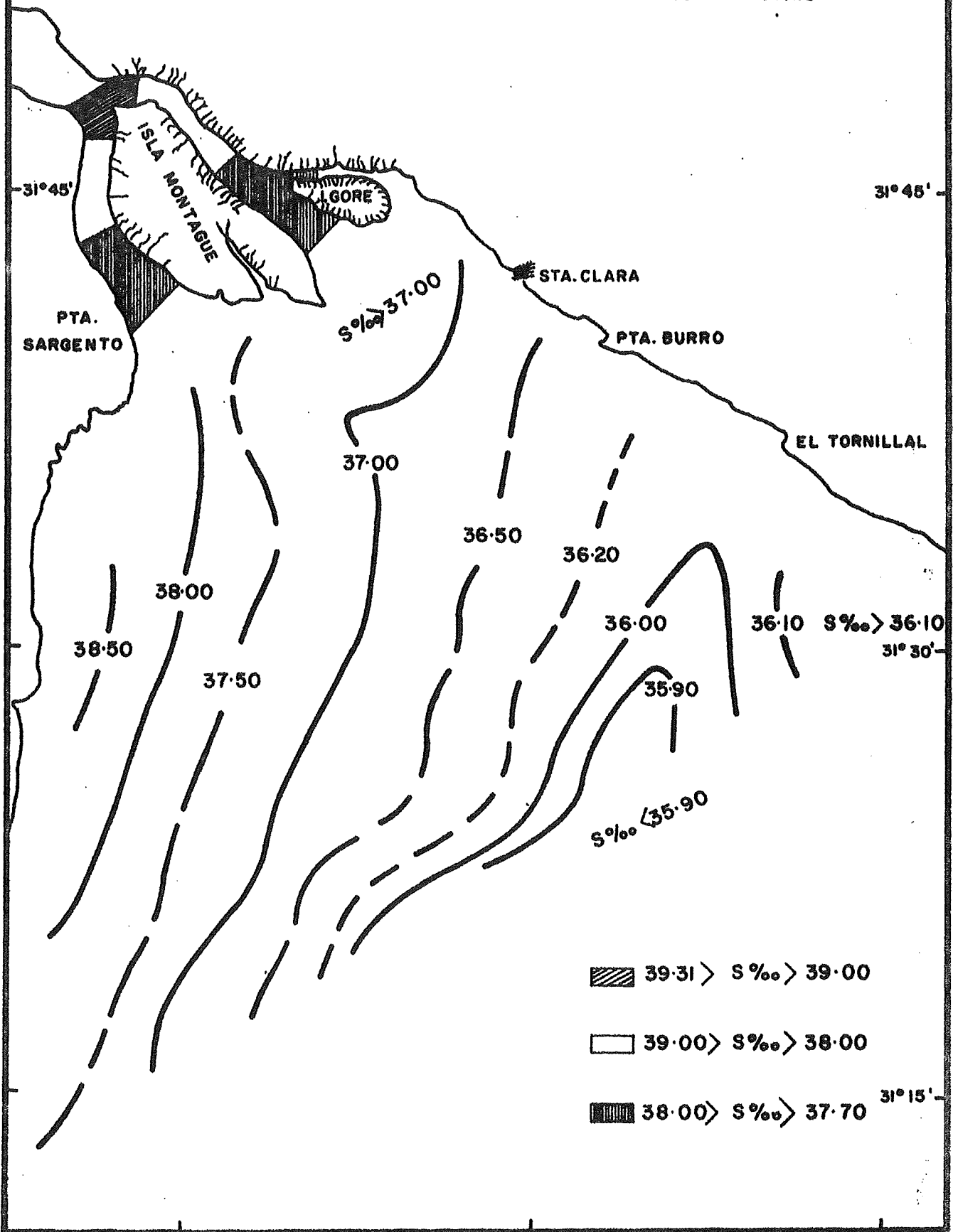


114°45'

114°30'

114°15'

FIG.19-DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE S‰ EN JUNIO



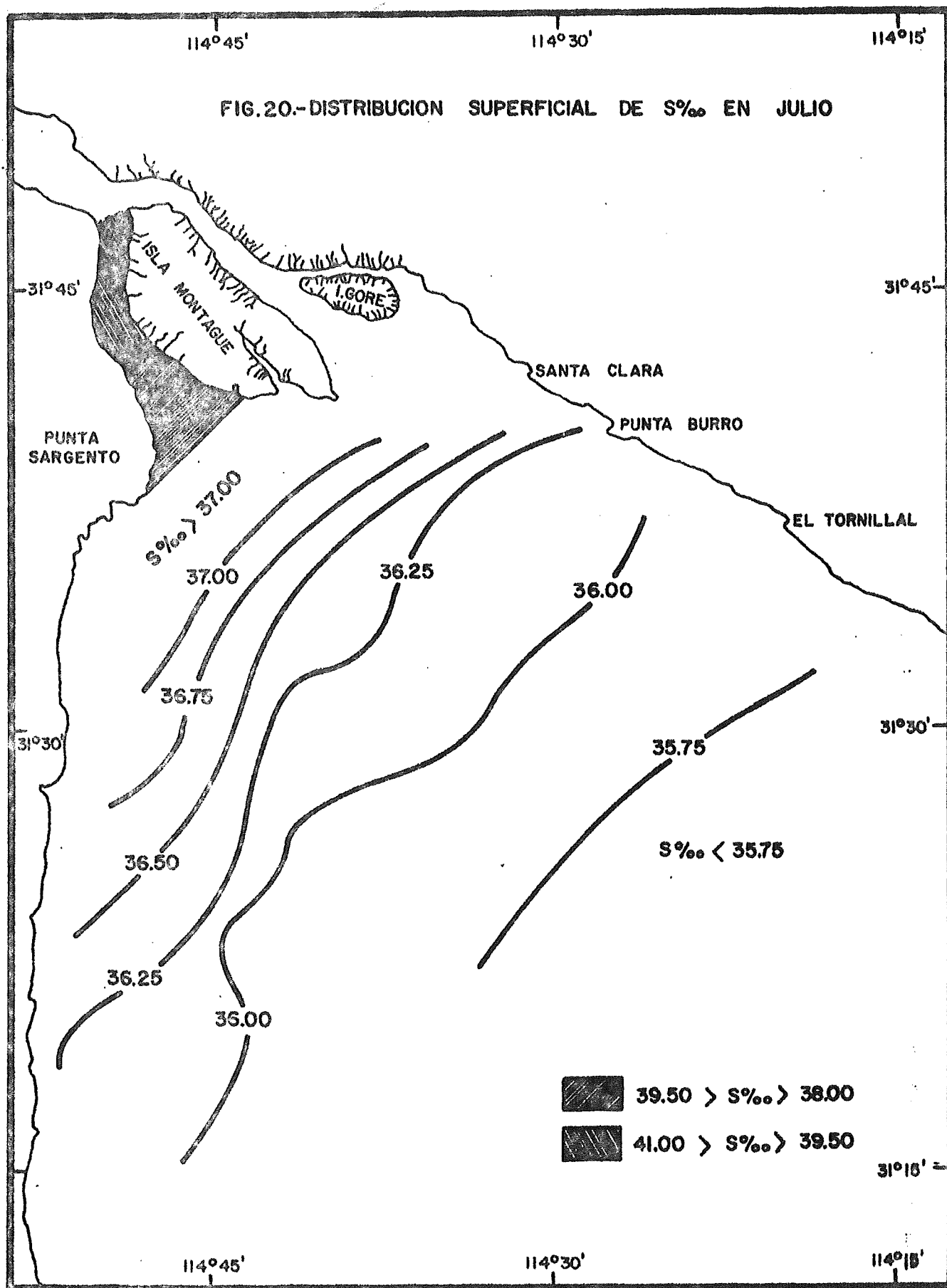




FIG. 21 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE S‰ EN AGOSTO

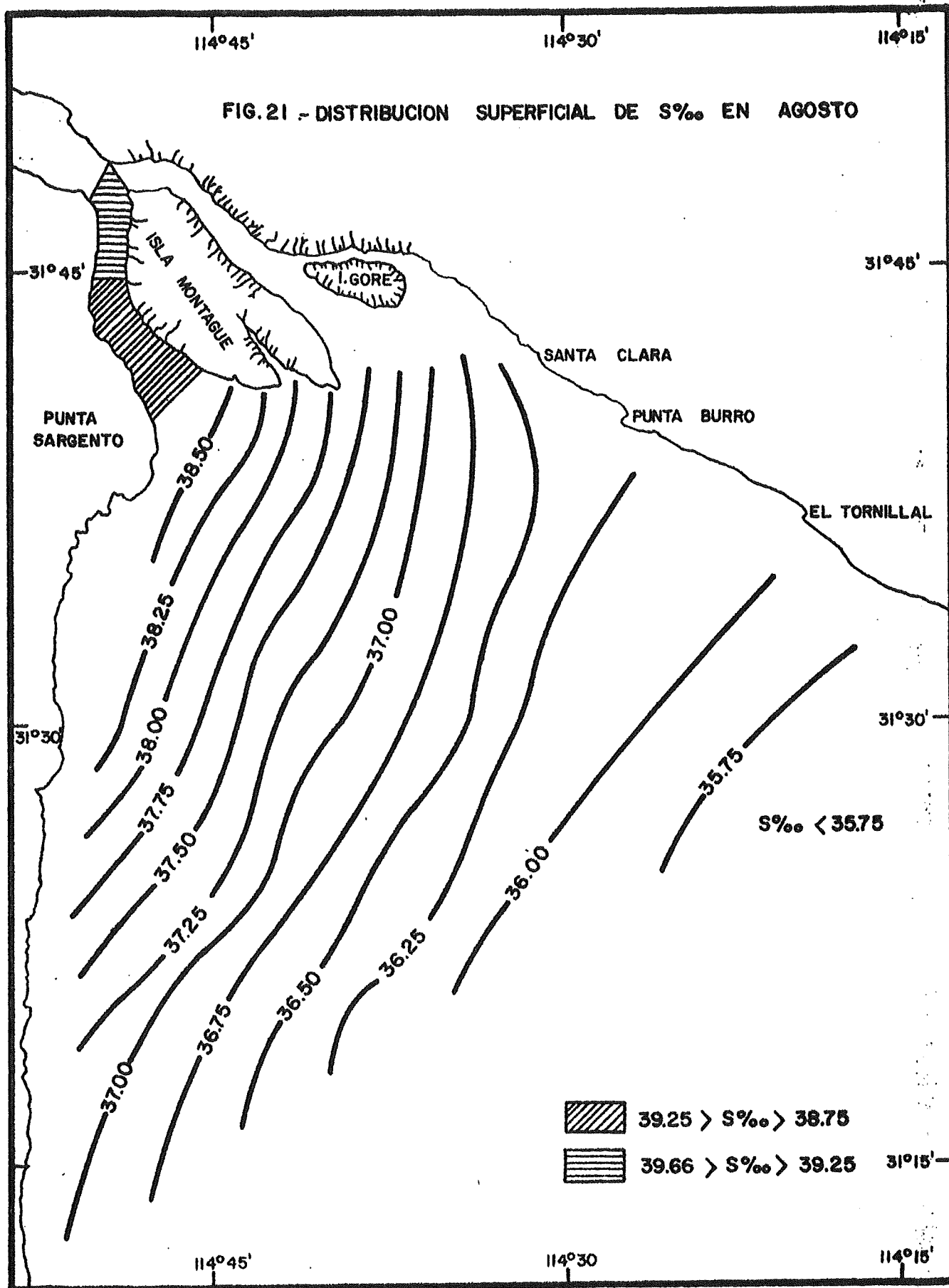


FIG. 22.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE S‰  
EN SEPTIEMBRE-OCTUBRE

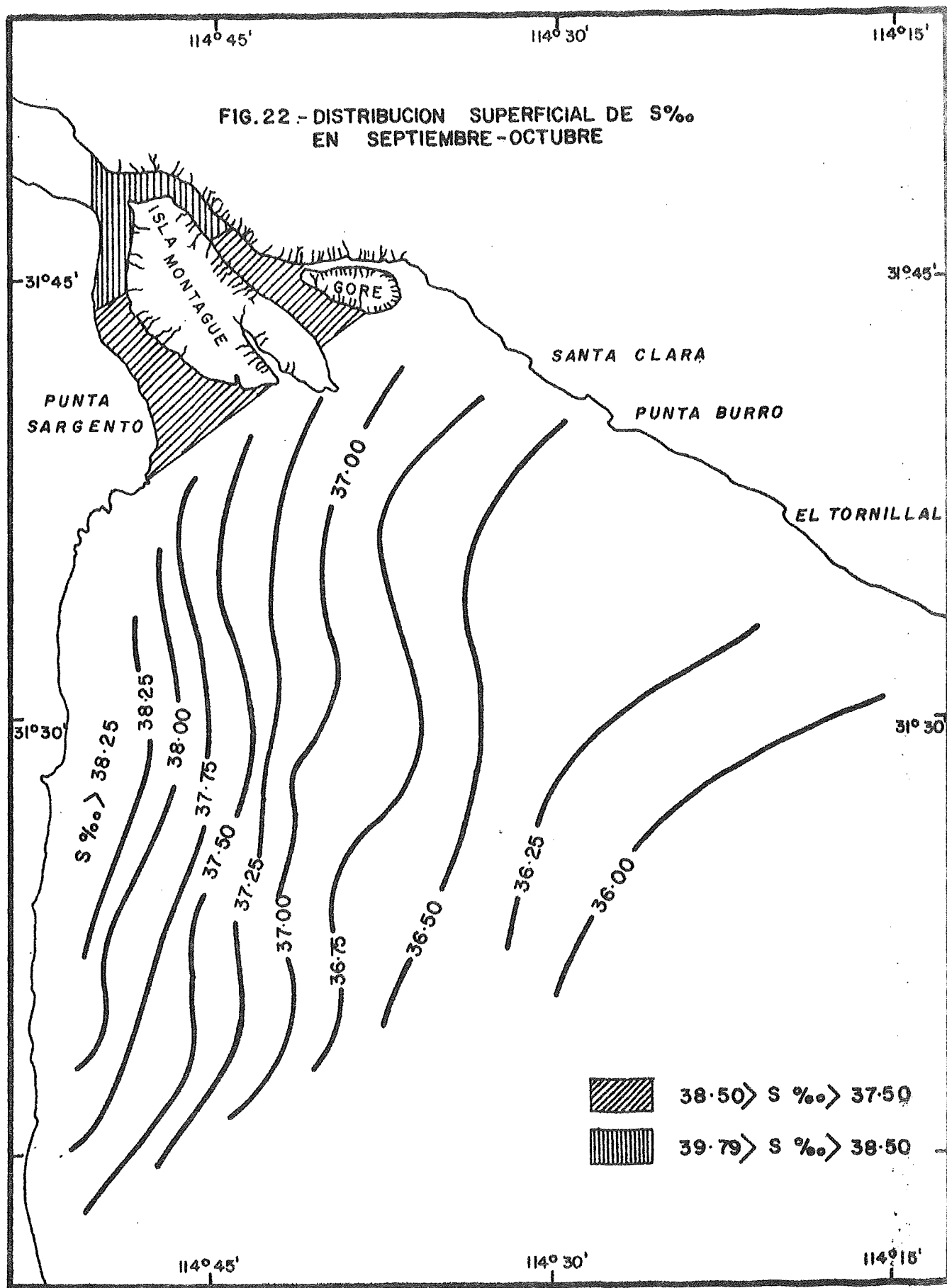
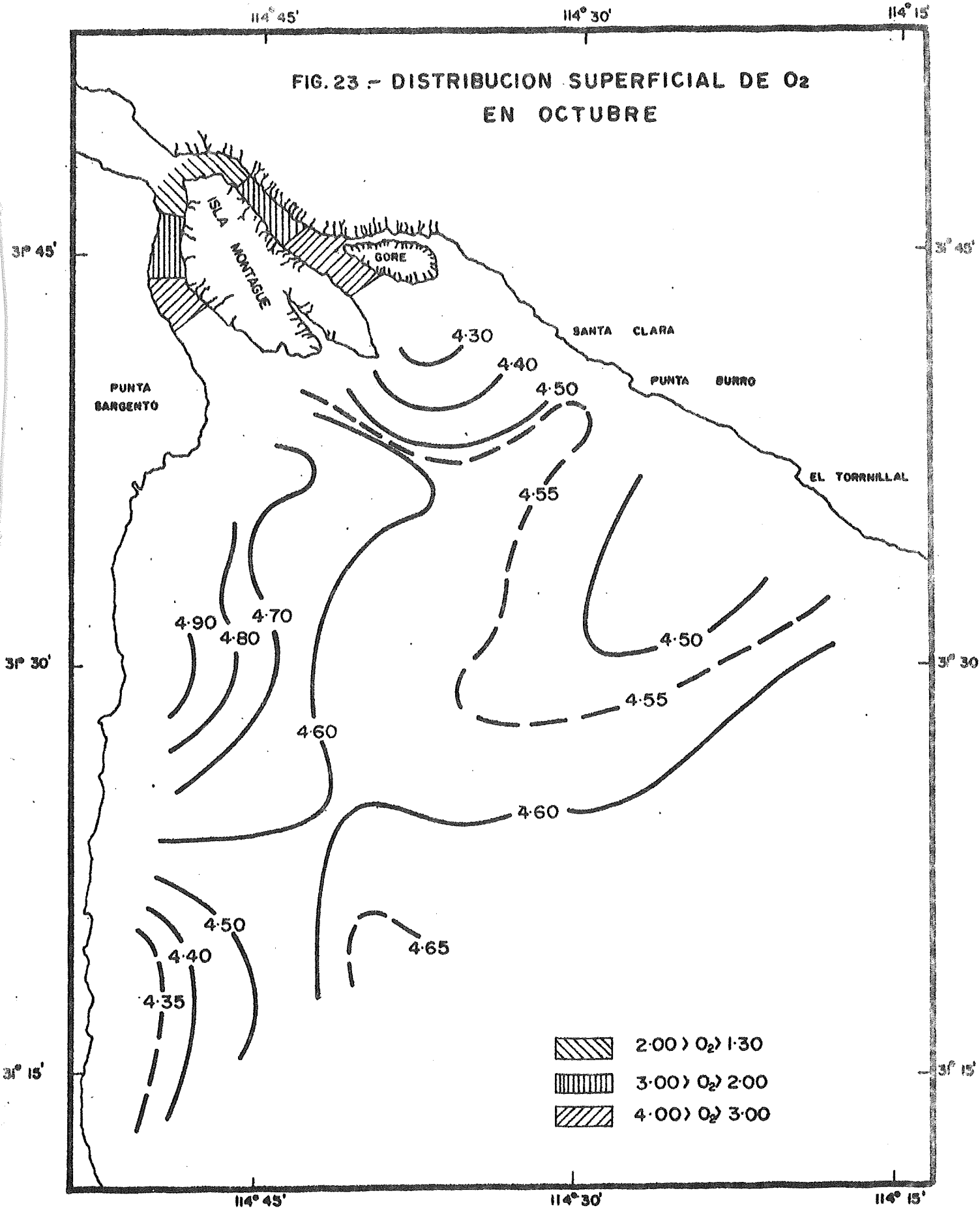


FIG. 23 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub>  
EN OCTUBRE



Sonora a la de Baja California. El valor superficial mínimo de  $O_2$  se registró al norte de isla Montague y fué de 1.33 ml/l. El máximo fué de 4.96 ml/l y se registró cerca de la costa de Baja California (estación 7, Fig. 1).

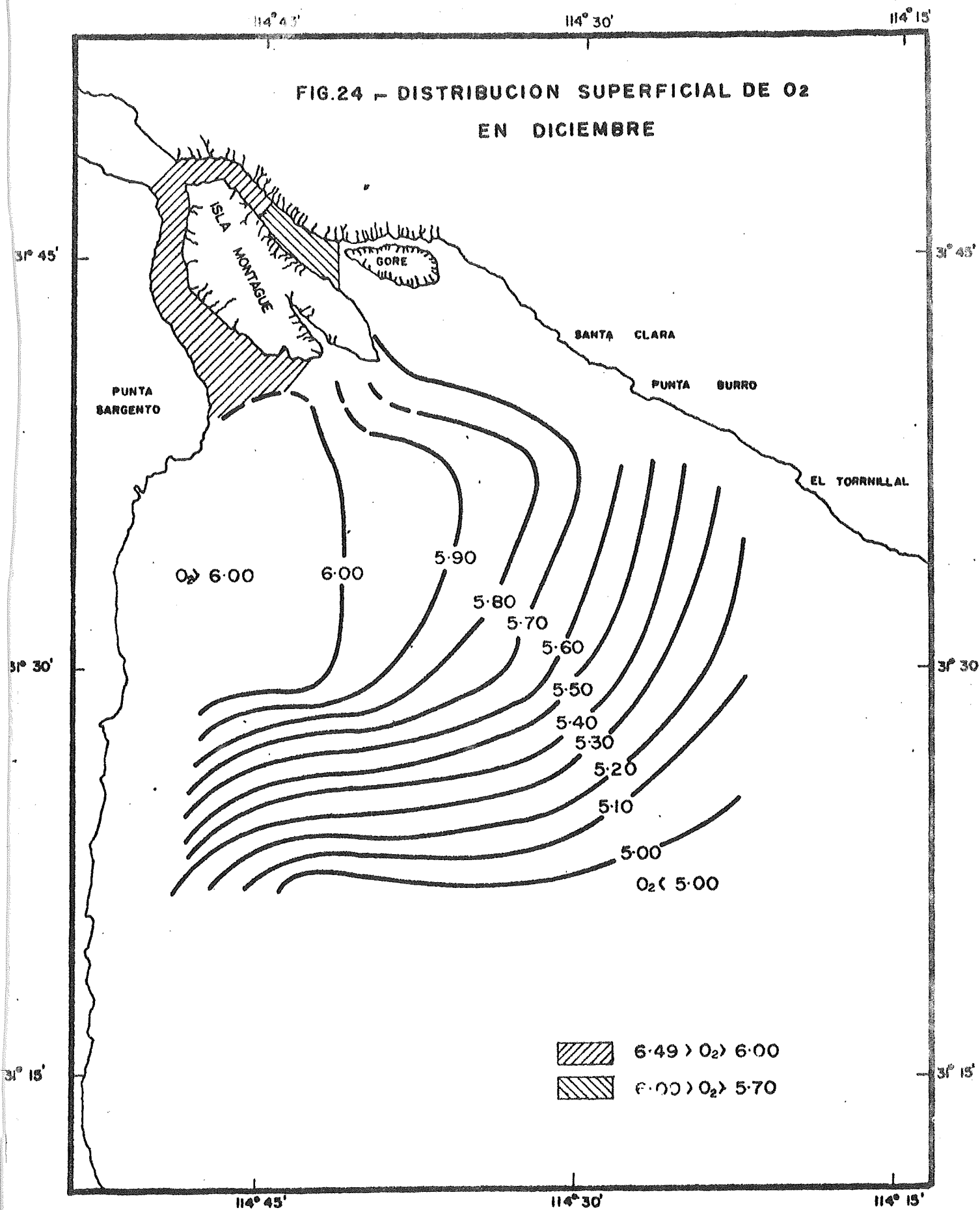
Durante el crucero de Diciembre, la distribución superficial de  $O_2$  indica en general un aumento de sureste a noroeste (Fig. 24). Las isogramas de  $O_2$  muestran un comportamiento muy semejante al de las isotermas (Figs. 4 y 24). El valor superficial máximo de  $O_2$  para el crucero de Diciembre se registró al oeste de isla Montague (estación  $D_3$ , Fig. 2) y fué de 6.49 ml/l. El valor mínimo fué de 4.90 ml/l y se registró en la estación  $C_2$  (Fig. 2).

En el crucero de Enero la distribución superficial de  $O_2$  presentó también en general una tendencia de aumentar de sureste a noroeste (Fig. 25), pero con valores mayores que en Diciembre. Al sur de isla Montague se presentó un centro de valores altos (Fig. 25). El valor de  $O_2$  más bajo fué de 5.70 ml/l y se registró en la estación  $C_3$  (Fig. 2), y el valor más elevado fué de 6.92 ml/l y se registró al este de isla Montague (estación  $D_5$ , Fig. 2).

En el crucero de Febrero la distribución superficial de  $O_2$  presentó una disminución de valores de la parte central hacia el noroeste y hacia el sureste; y un aumento hacia el suroeste y hacia el noreste (Fig. 26). El valor mínimo de  $O_2$  para este crucero fué de 5.60 ml/l y se registró al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1), el máximo se registró cerca de Punta Burro (estación 10, Fig. 1) y fué de 7.20 ml/l.

Para el crucero de Marzo la distribución superficial de  $O_2$  muestra, cerca de la costa de Baja California un centro de valores altos (Fig. 27), desde el cual el  $O_2$  disminuye hacia todas las direcciones en el área de estudio. El valor más bajo fué de 5.20 ml/l y se registró cerca de la costa de Sonora al sur de isla Gore (estación 1, Fig. 1) y el más alto fué de 6.70 ml/l y se registró en el centro antes mencionado (estación

FIG.24 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub>  
EN DICIEMBRE



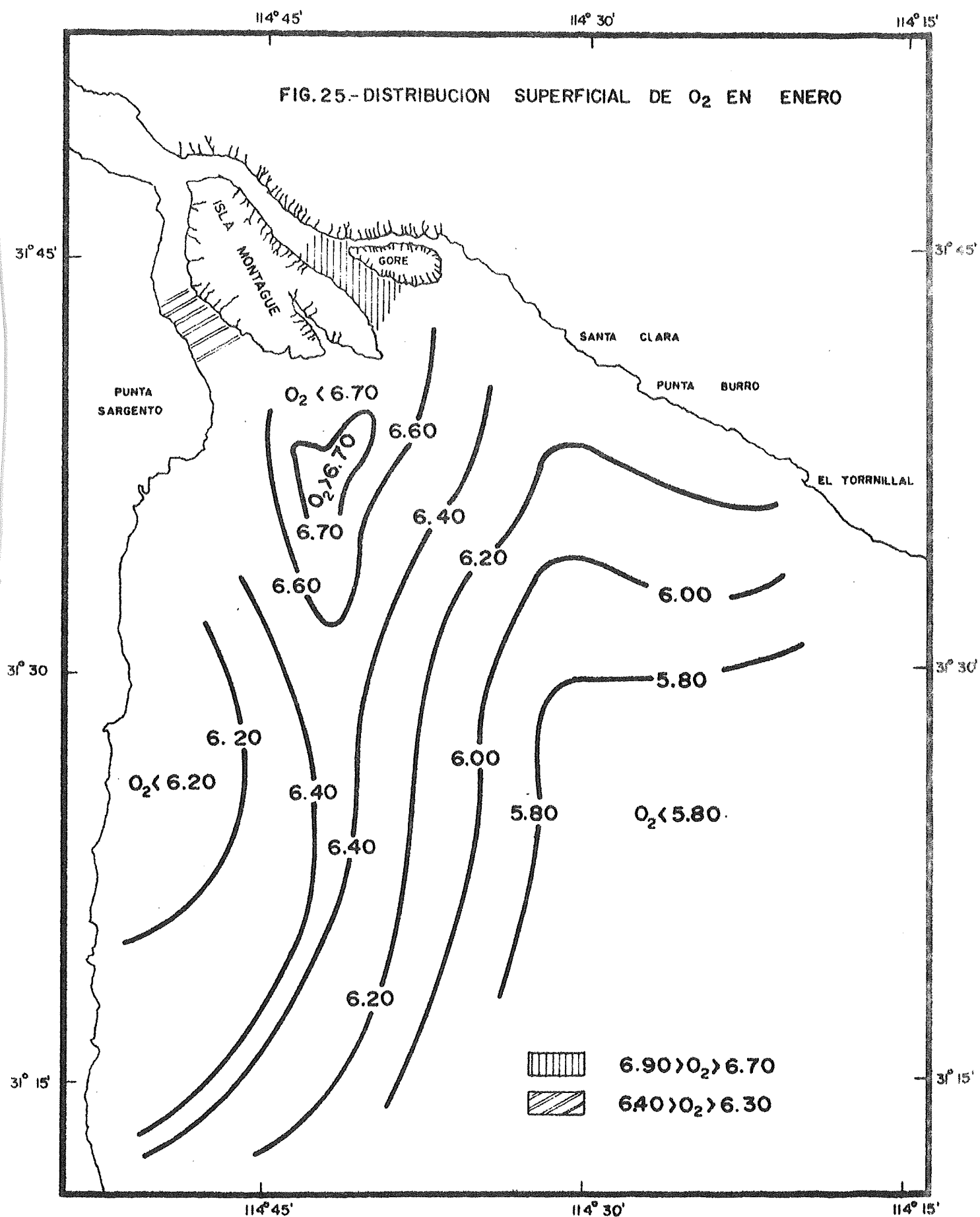
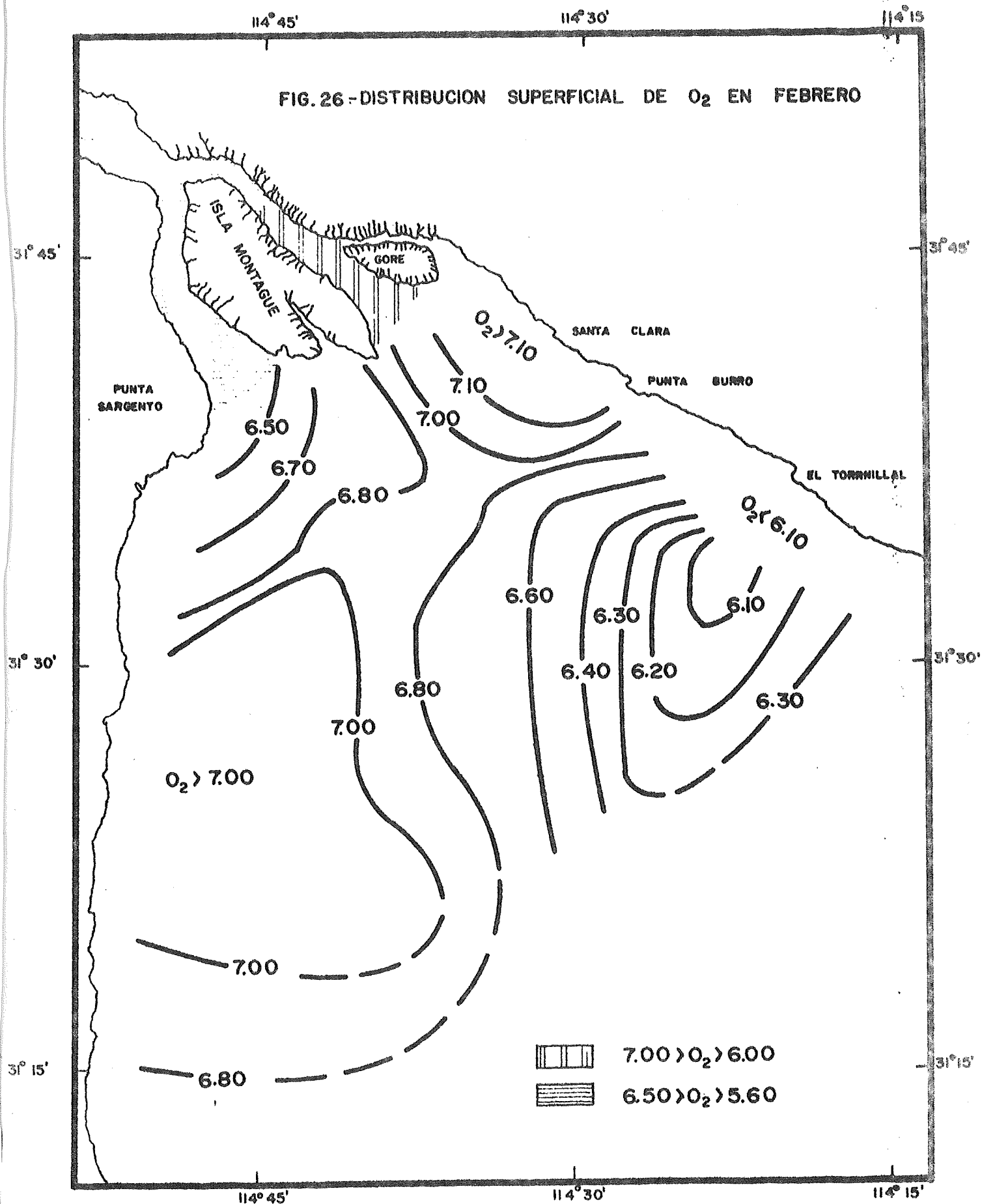
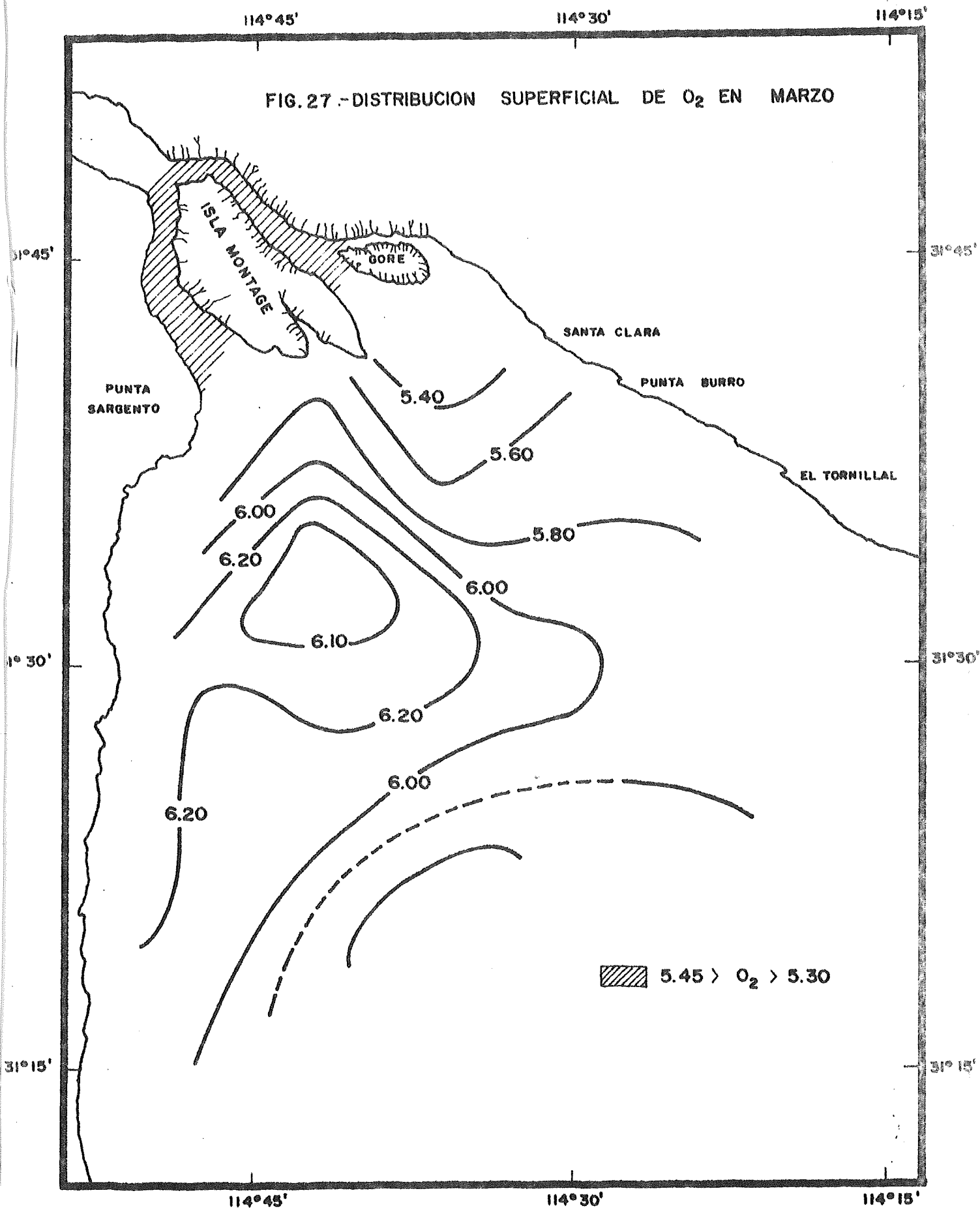


FIG. 26 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN FEBRERO







8, Fig. 1).

En Mayo, el  $O_2$  disminuye de sureste a noroeste (Fig. 28); con un valor mínimo de 3.88 ml/l, registrado al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1); y un valor máximo de 5.69 ml/l en la parte suroriental (estación 17, Fig. 1).

En Junio se presentó una distribución superficial de  $O_2$  diferente a la de los otros meses del año (Fig. 29), en el sentido de que el gradiente se presentó de suroeste a noreste, con valores aumentando hacia el noreste. El valor mínimo registrado en este mes fué de 4.70 ml/l (estaciones 14 y 16, Fig. 1); y el valor máximo fué de 5.97 ml/l y se registró cerca de Punta Burro (estación 10, Fig. 1).

En los cruceros de Julio, Agosto y Septiembre-Octubre, la distribución superficial de  $O_2$  se presentó muy compleja, sin gradientes bien establecidos (Figs. 30, 31 y 32). En el mes de Julio se presentó un centro con valores altos en la parte suroriental de nuestra zona de estudio, y un centro de valores bajos más al norte (Fig. 30). El mínimo registrado en este mes fué de 4.76 ml/l (estación 9, Fig. 1), y el máximo fué de 5.65 ml/l, al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1). En el mes de Agosto, la distribución de  $O_2$  presenta una lengüeta de valores elevados que se origina en la parte cercana a la costa de Baja California (Fig. 31). El mínimo registrado en este crucero fué de 3.91 ml/l (estación 13, Fig. 1); y el máximo fué de 4.93 ml/l (estación 7, Fig. 1). En el crucero de Septiembre-Octubre la distribución se presentó menos irregular que en los meses de verano (Fig. 32); con un centro de altos valores en la parte central. El mínimo en este crucero fué de 3.33 ml/l y se registró al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1); y el máximo fué de 5.24 ml/l (estación 9, Fig. 1).

d) pH.

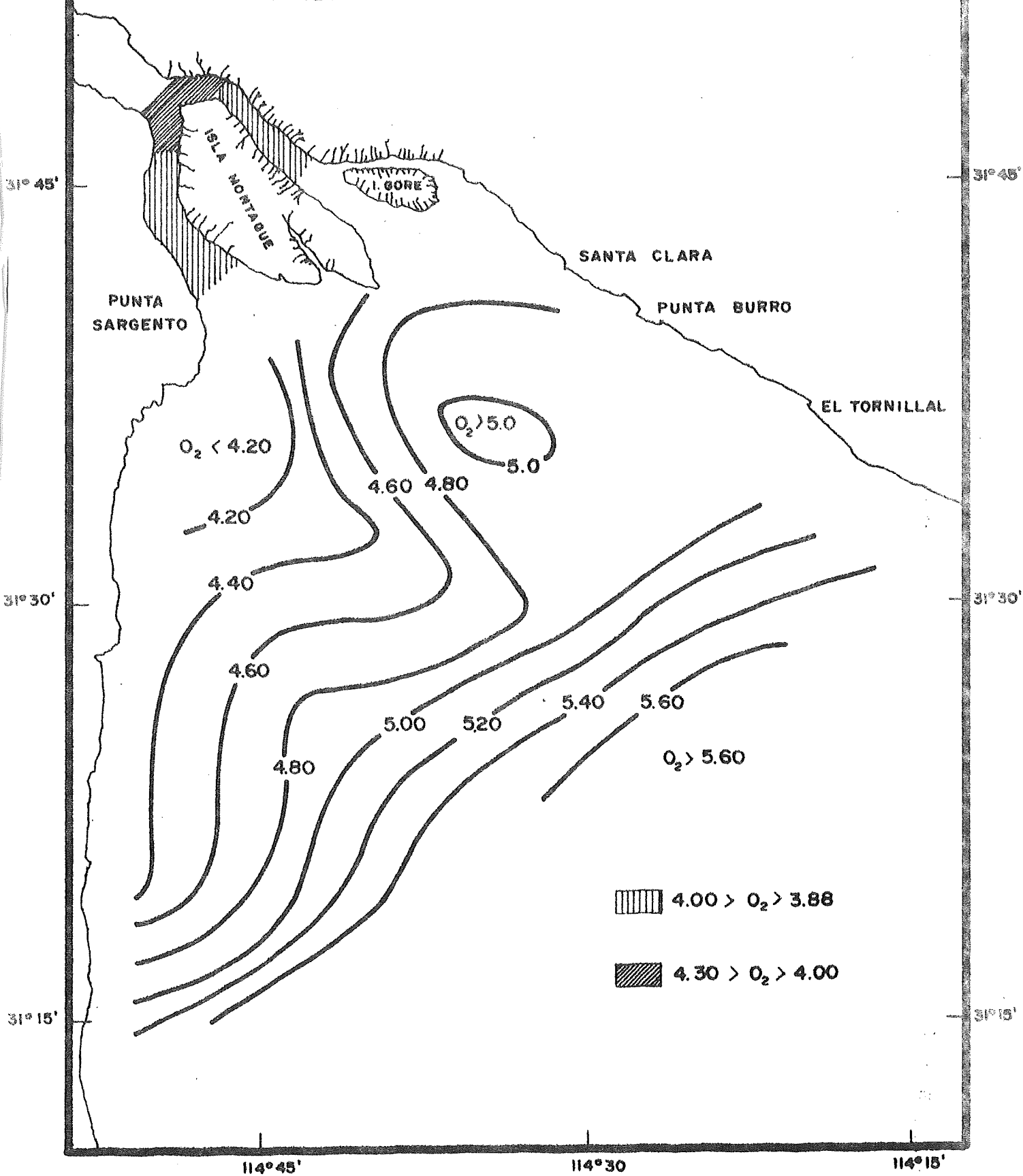
En los cruceros de Enero, Marzo y Agosto no se obtuvieron datos de pH debido a desperfectos en el potenciómetro. Durante el crucero de Octubre el pH superficial mostró en general la tendencia a disminuir del suroeste al noreste,

114° 45'

114° 30'

114° 15'

FIG.28 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN MAYO



114°45'

114°30'

114°15'

FIG.29- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN JUNIO

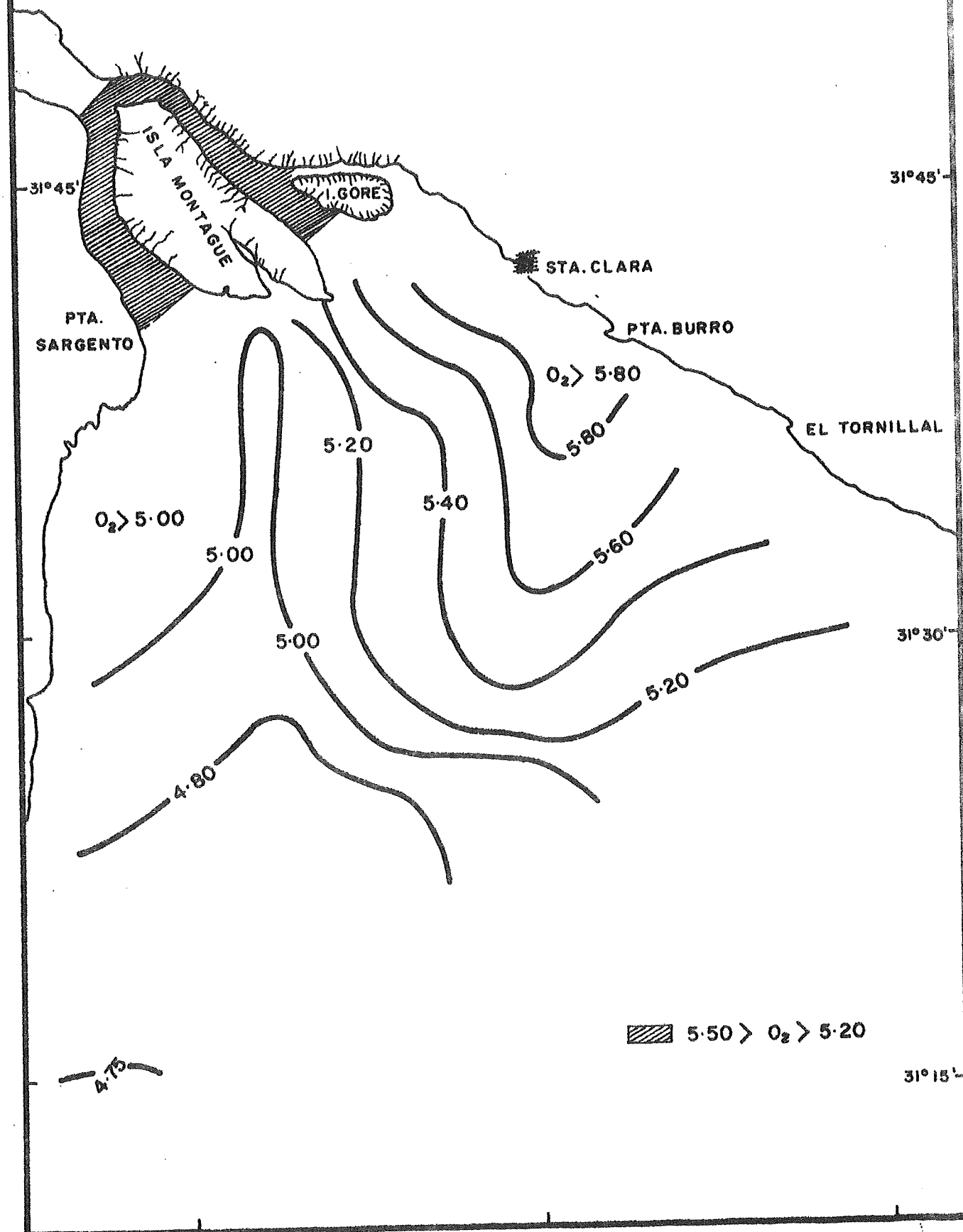


FIG.30 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN JULIO

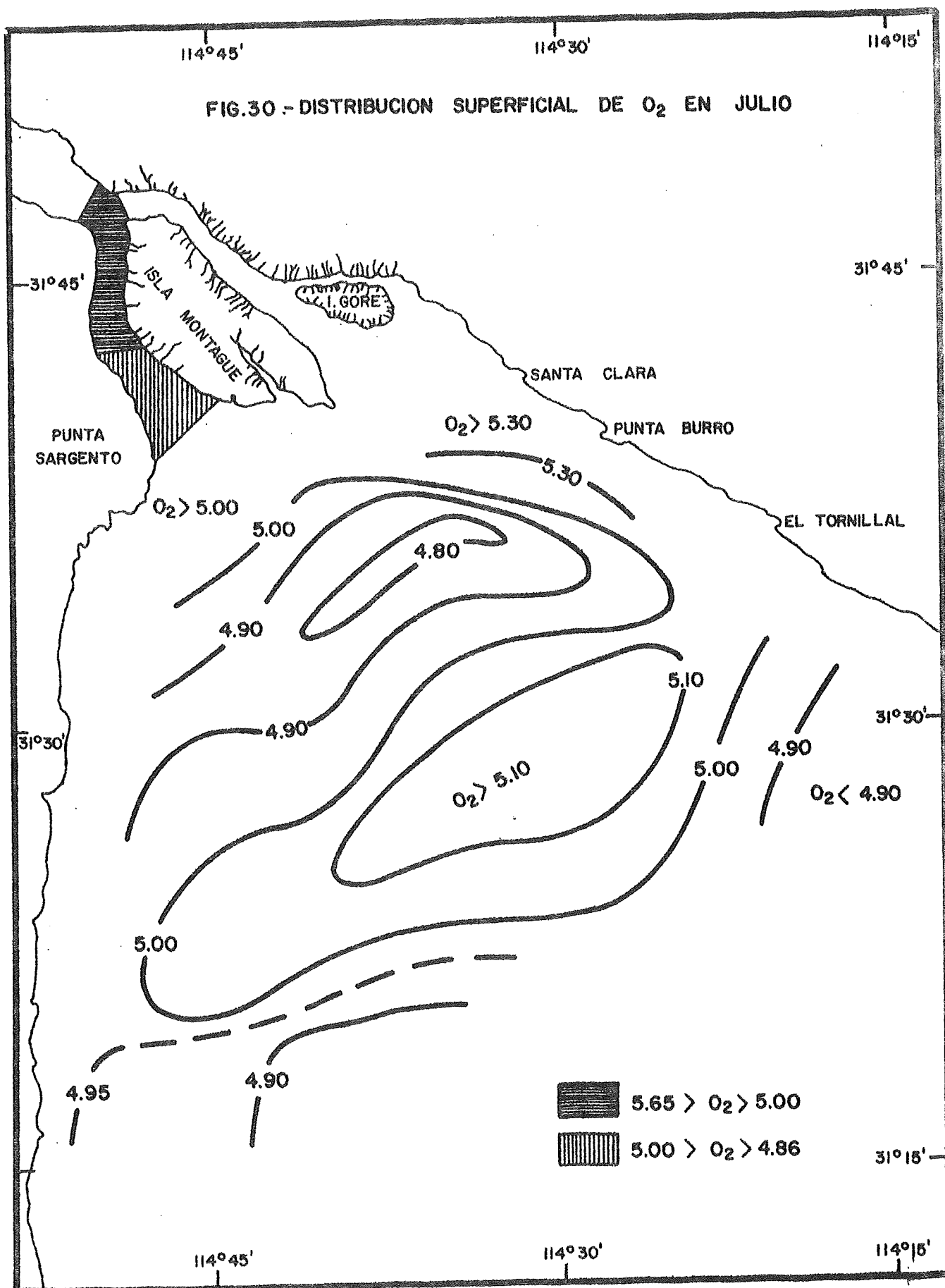


FIG. 31 -DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN AGOSTO

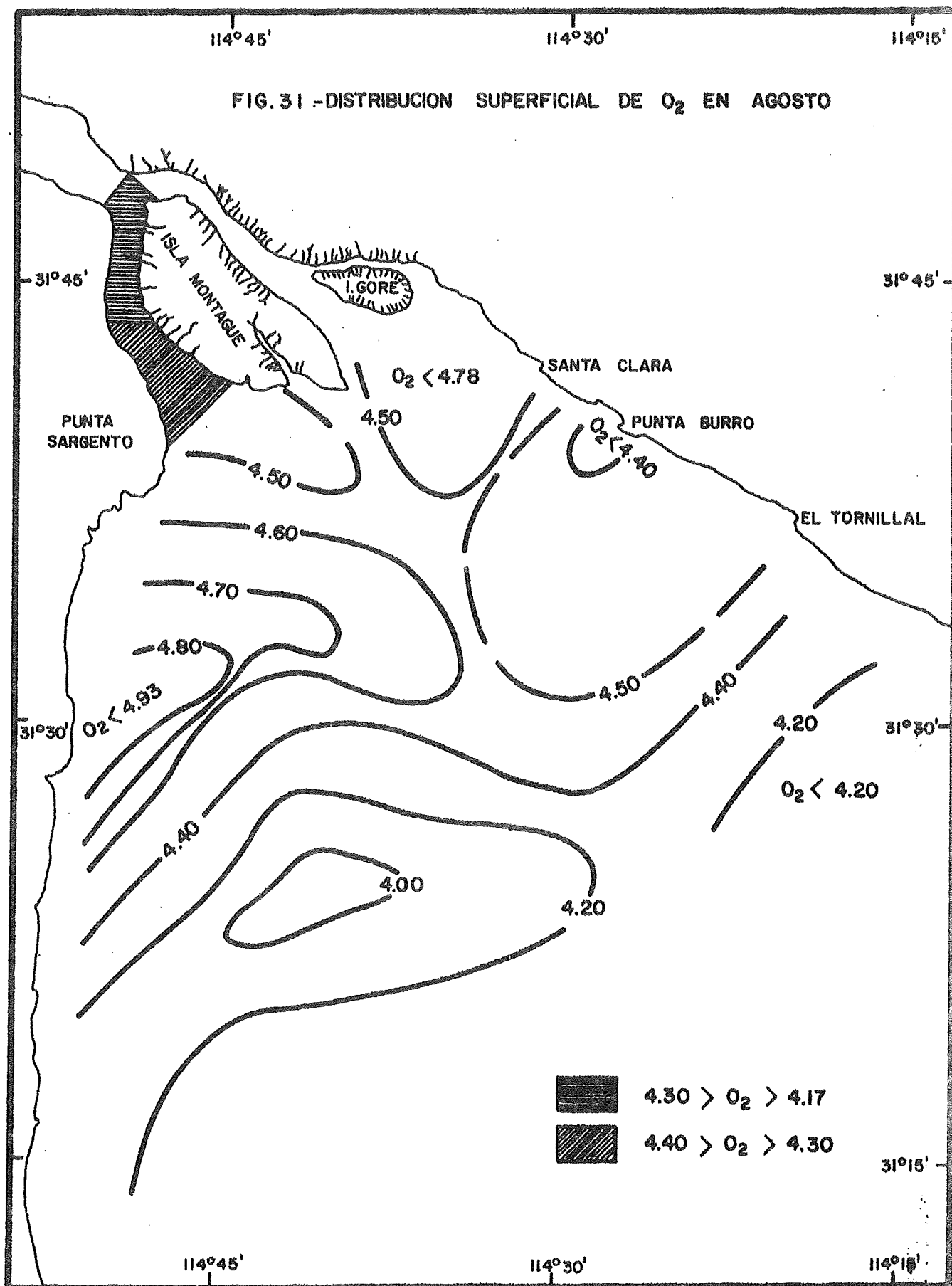
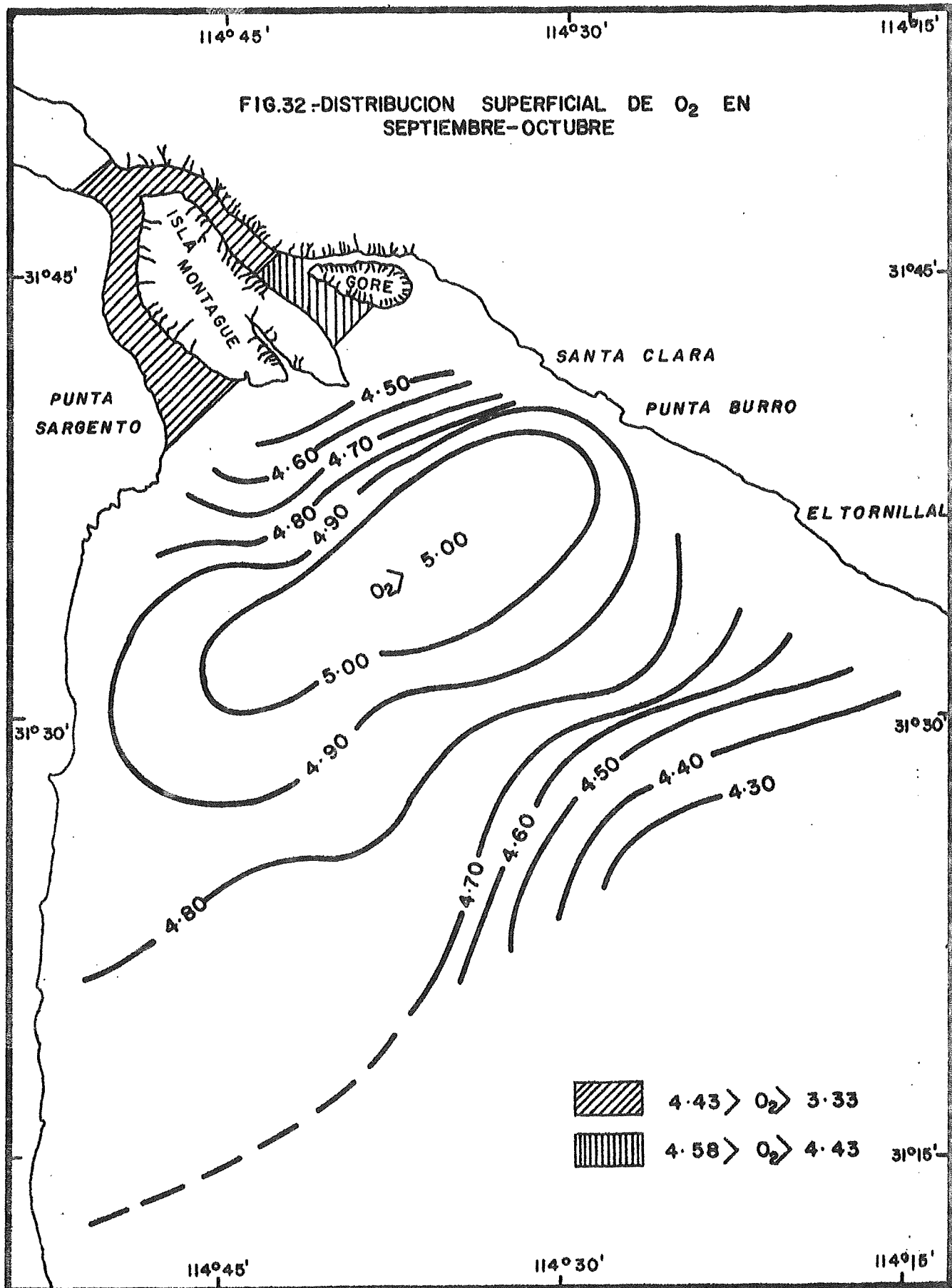


FIG.32 -DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE O<sub>2</sub> EN SEPTIEMBRE-OCTUBRE



con excepción de una lengüeta pequeña de valores altos en la parte cercana a Santa Clara (Fig. 33). El valor mínimo superficial de pH en este crucero se registró, al igual que el de  $O_2$  y  $T^\circ C$ . al norte de isla Montague (estación 3, Fig. 1), y fué de 7.83. El valor máximo se registró en la estación 14 (Fig. 1) y fué de 8.32.

La distribución superficial de pH en el crucero de Diciembre mostró una característica especial, no mostrada por ninguno de los parámetros mencionados anteriormente (Fig. 34). Los valores fueron mínimos en la parte sur, en el centro y aumentaron en forma concéntrica hacia la costa. El valor mínimo registrado en la estación  $C_3$  (Fig. 2) fué de 7.63. El valor máximo se registró al este de isla Montague (estación  $D_5$ , Fig. 2) y fué de 8.27.

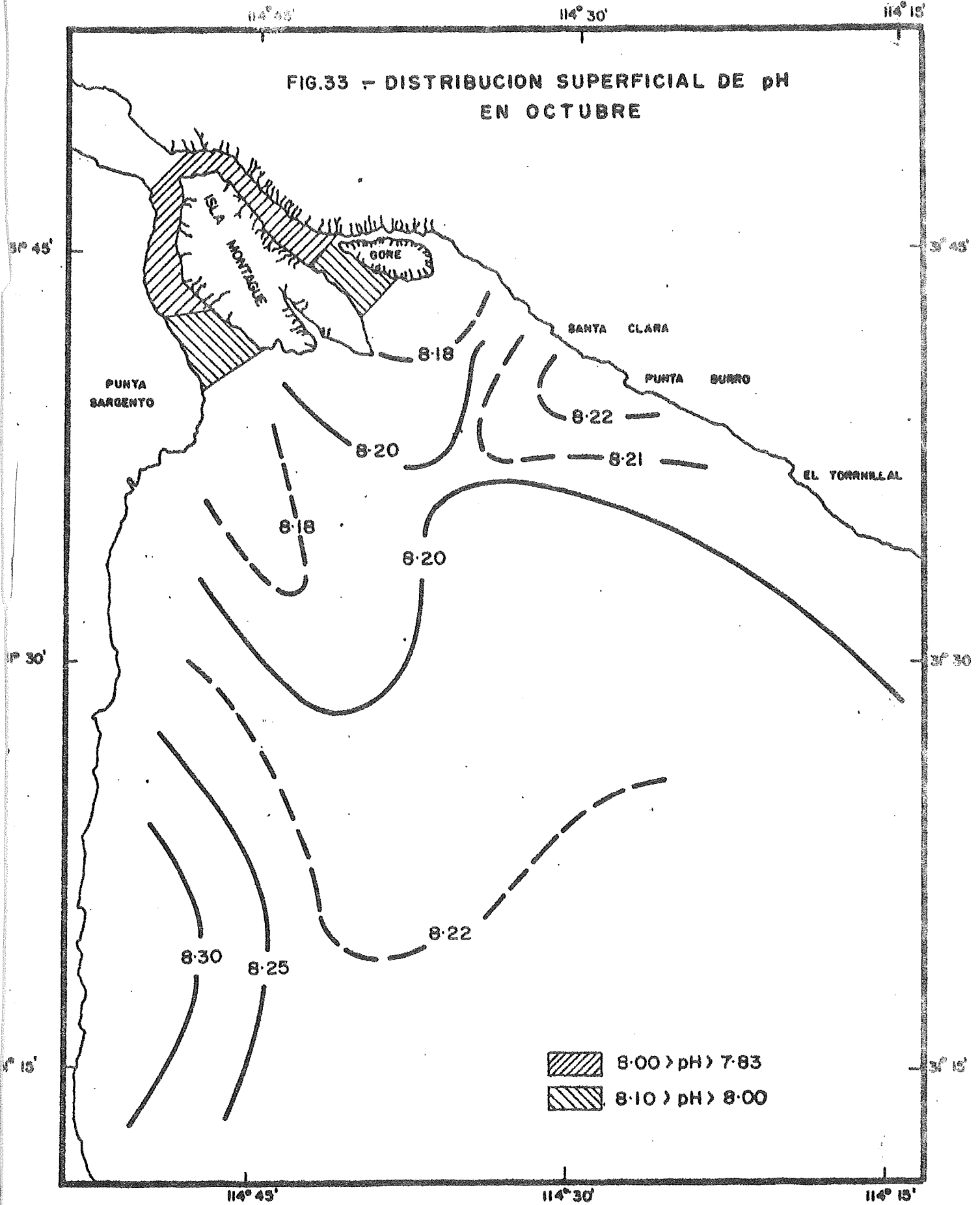
En el crucero de Febrero los valores de pH disminuyeron de las costas de Baja California y Sonora hacia el centro y de la parte central hacia el norte de isla Montague (Fig. 35). El valor mínimo fué de 7.99 y se registró en la estación 3 (Fig. 1); el máximo fué de 8.33 y se registró cerca de la costa de Baja California (estación 7, Fig. 1).

En Mayo, el pH superficial varió dicotónicamente, disminuyendo desde la parte sur hacia el centro, aumentando luego del centro hacia el norte, para alcanzar un máximo al sureste de isla Montague, y disminuyendo de nuevo hacia el norte de isla Montague (Fig. 36). El mínimo registrado en este crucero fué de 7.85, al norte de Isla Montague al igual que el mínimo de  $O_2$  (estación 3, Fig. 1); y el máximo fué de 8.15, registrado en la parte sur cerca de la costa de Baja California (estación 15, Fig. 1).

En el crucero de Junio la distribución superficial del pH fué muy uniforme con los valores aumentando de sur a norte (Fig. 37). El valor mínimo fué de 8.19 (estación 18, Fig. 1) y el máximo, registrado entre isla Montague e isla Gore (estación 2, Fig. 1) fué de 8.34.

En el crucero de Julio la situación fué casi inver-

FIG.33 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE pH  
EN OCTUBRE





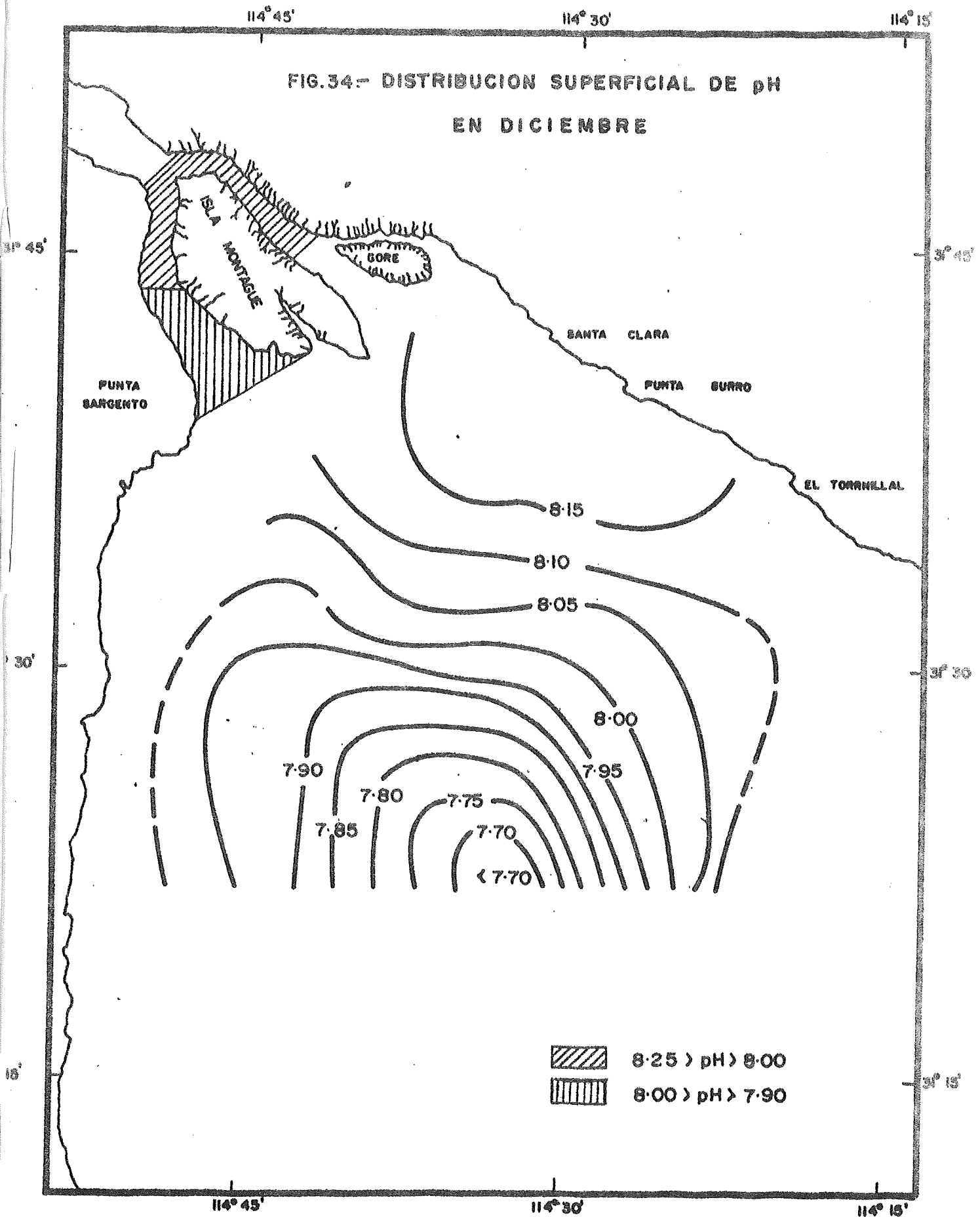
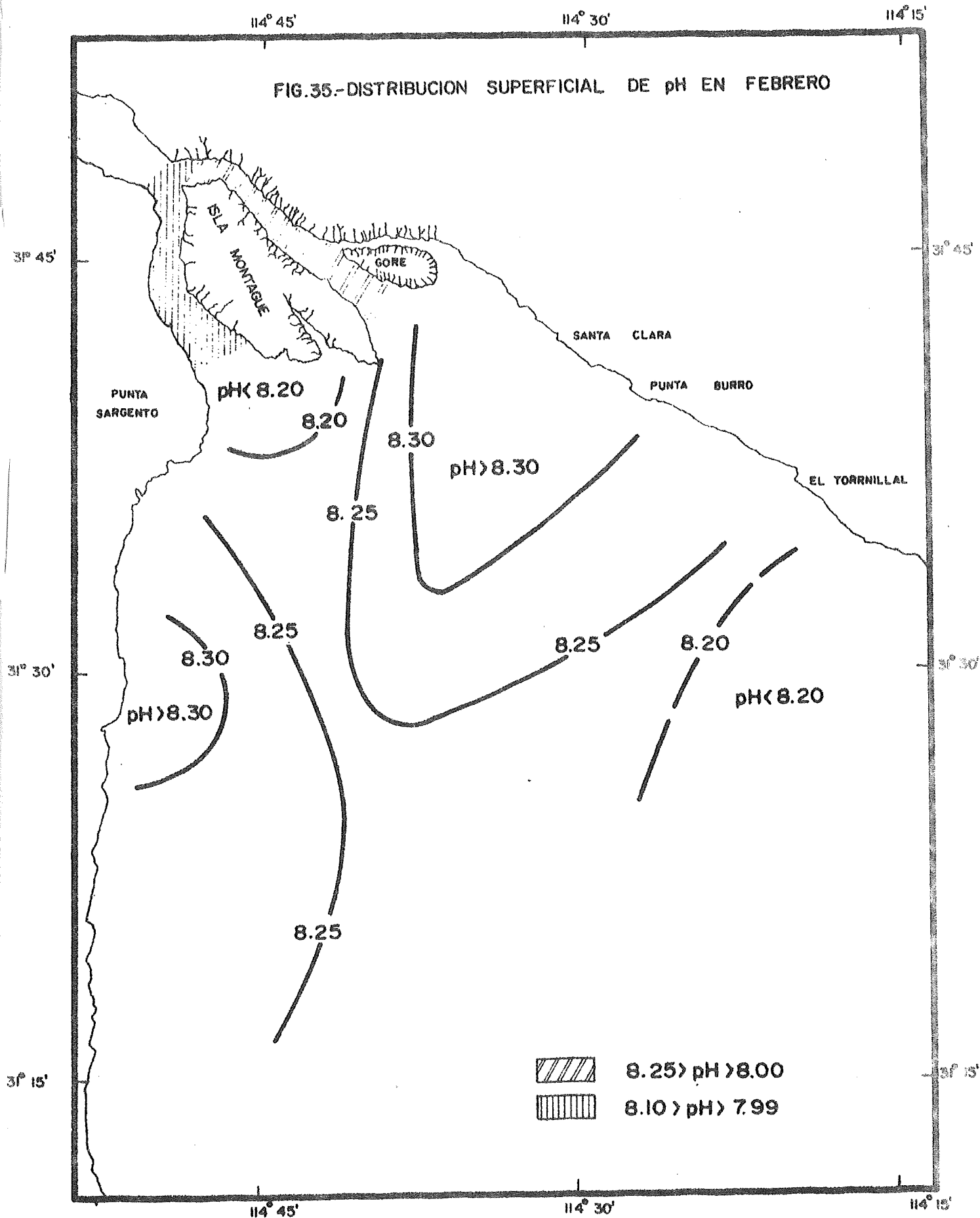
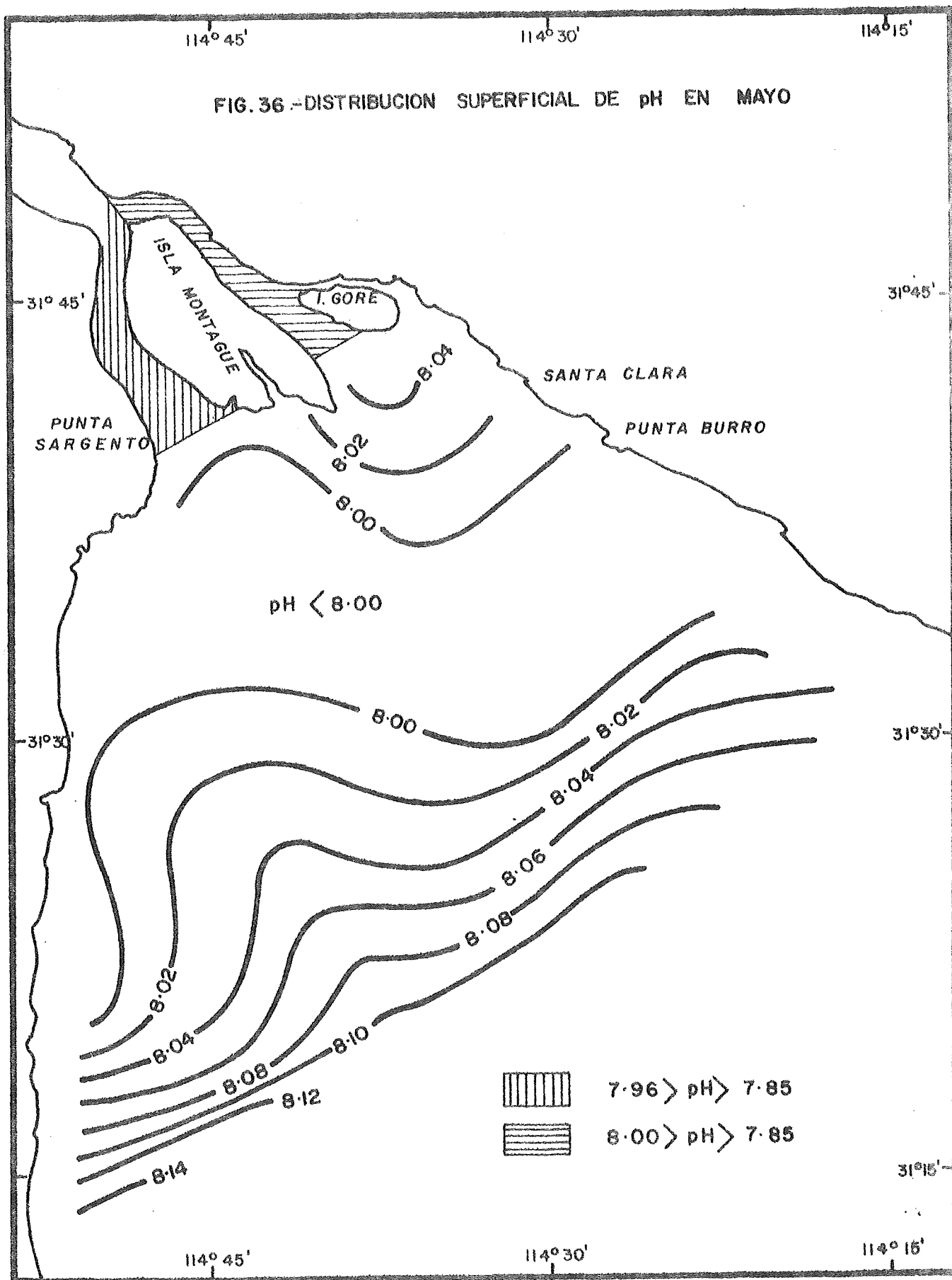
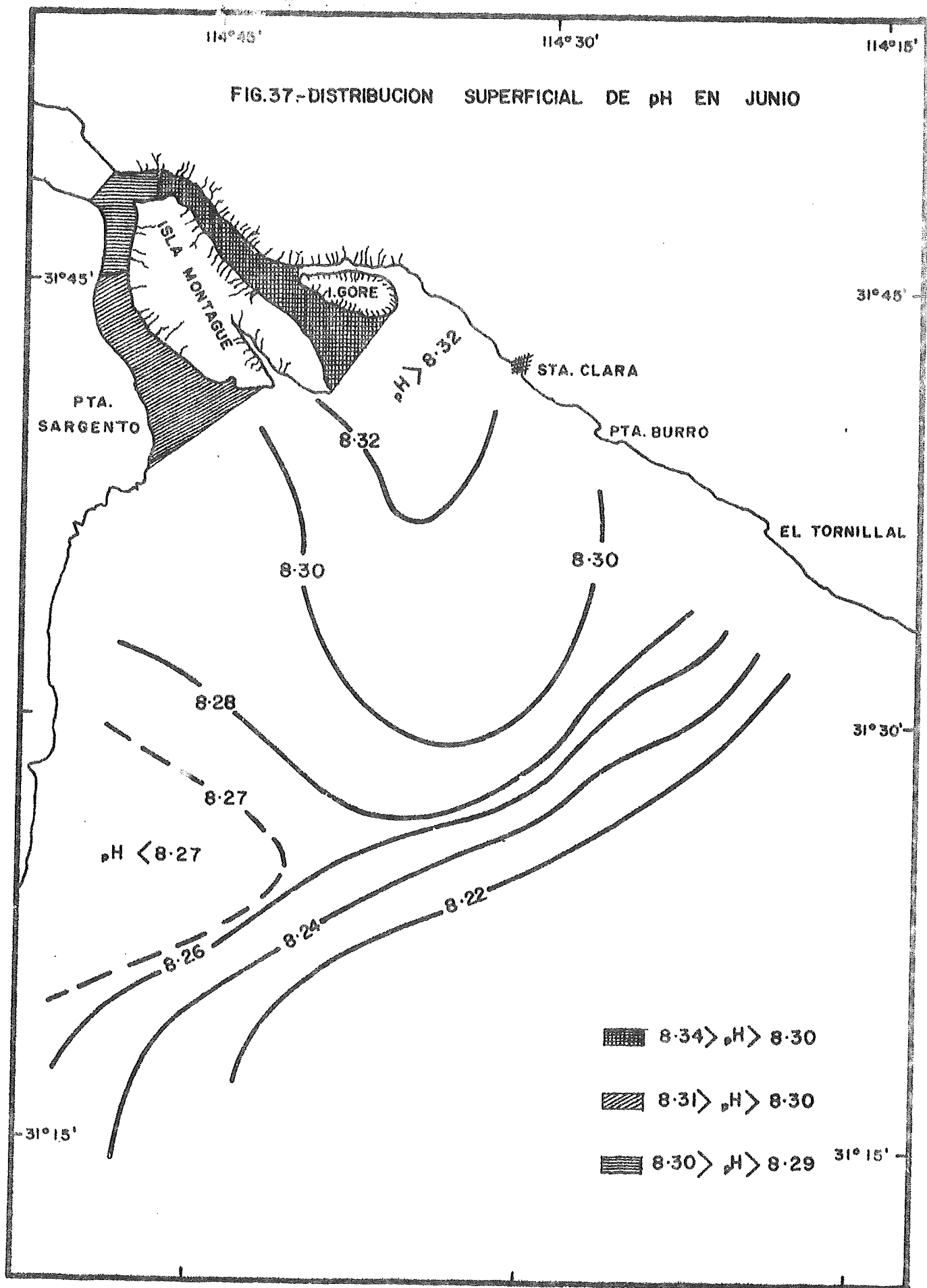


FIG.35.-DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE pH EN FEBRERO







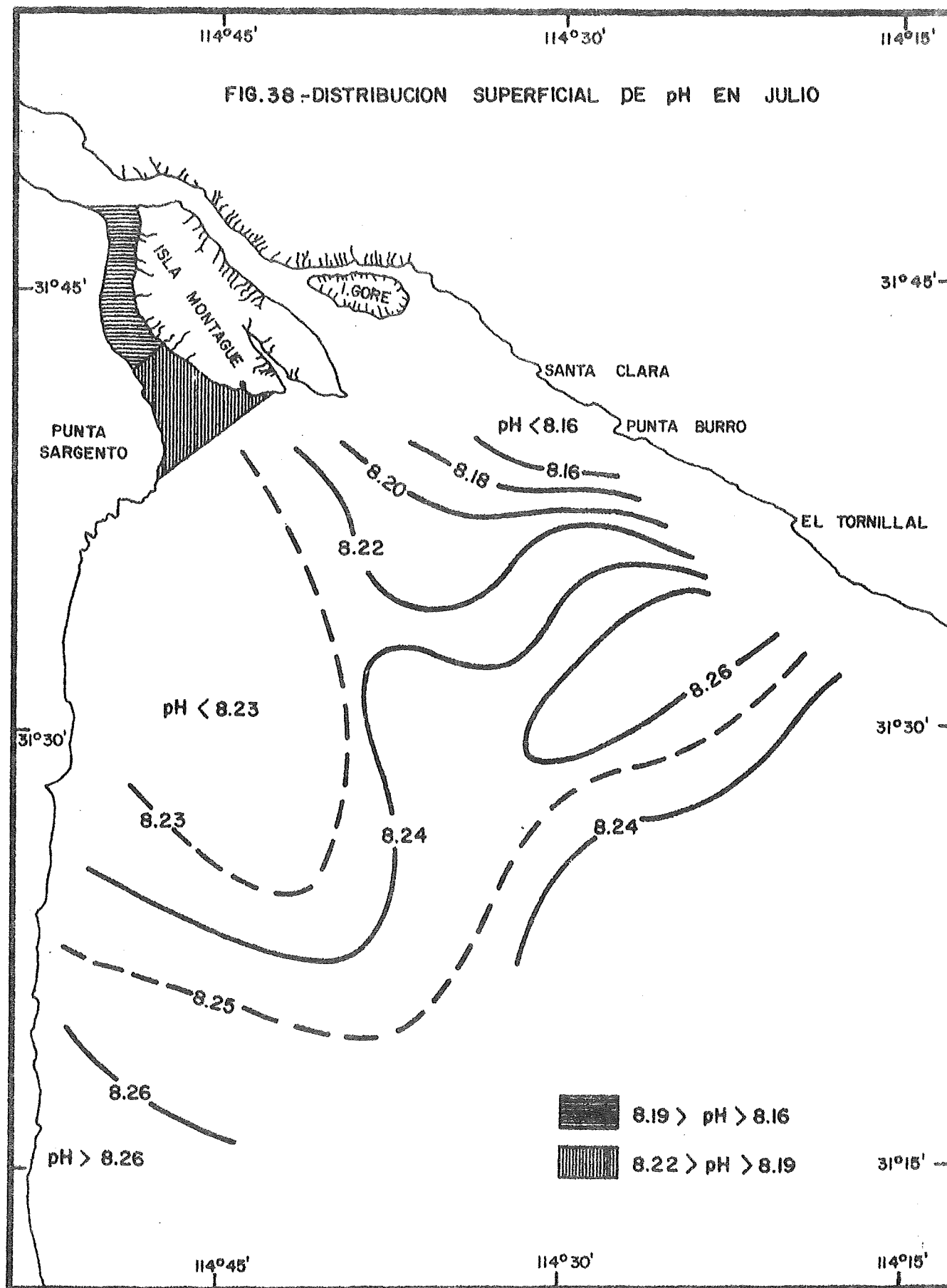
sa a la del crucero de Junio con referencia a la distribución superficial de pH, con los valores aumentando en general de suroeste a noreste (Fig. 38); y con una lengüeta de valores elevados en la parte suroriental, extendiéndose de la costa de Sonora hacia el centro. El valor mínimo registrado fué de 8.13, frente a Punta Burro (estación 10, Fig. 1), y el máximo fué de 8.27, en la parte sur cerca a la costa de Baja California (estación 15, Fig. 1).

En el crucero de Septiembre-Octubre la distribución de pH fué similar a la de  $O_2$ , con un centro de valores elevados localizado hacia el sur del de  $O_2$  (Fig. 39). De este centro los valores disminuyeron hacia todas direcciones. El mínimo registrado fué de 7.98 y corresponde al mínimo de  $O_2$  (estación 3, Fig. 1), y el máximo fué de 8.25 (estación 12, Fig. 1).

#### e) VARIACION DIURNA.

En el crucero de Marzo se estudió la variación de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto en un ciclo de 24 horas (estación A<sub>6</sub>, Fig. 1), de las 11:00 A.M. del 9 de Marzo a las 11:00 A.M. del 10 de Marzo. En general, sólo se presentó un mínimo y un máximo de salinidad. El máximo fué de 36.19‰ y se presentó a las 13:00 Hrs. y el mínimo fué de 35.80‰ y se presentó a las 19:00 Hrs. y a las 05:00 Hrs. (Figura 40). Entre las 19:00 Hrs. y las 05:00 Hrs. se registró un pequeño aumento en la salinidad, alcanzando un valor de 35.83‰; este incremento se considera real ya que el salinómetro tiene una precisión de  $\pm 0.005$ ‰. La temperatura, en general, también presentó, solamente un máximo y un mínimo (Fig. 40). El máximo fué 17.60°C. y se registró a las 17:00 Hrs., y el mínimo fué de 17.10°C. y se registró a las 07:00 Hrs.; entre las 03:00 Hrs. y las 05:00 Hrs. hubo un aumento de 0.10°C. para disminuir después hasta el mínimo mencionado. La concentración de oxígeno disuelto presentó una variación más compleja, con 3 mínimos y 2 máximos (Fig. 40). Los mínimos fueron: 5.20 ml/l, 5.47 ml/l, y 5.42 ml/l y se registraron a las 11:00 Hrs. 23:00 Hrs. y 05:00-07:00 Hrs., respectivamente. Los máximos fueron 5.64 ml/l y 5.70 ml/l y se registra-

FIG.38 -DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE pH EN JULIO



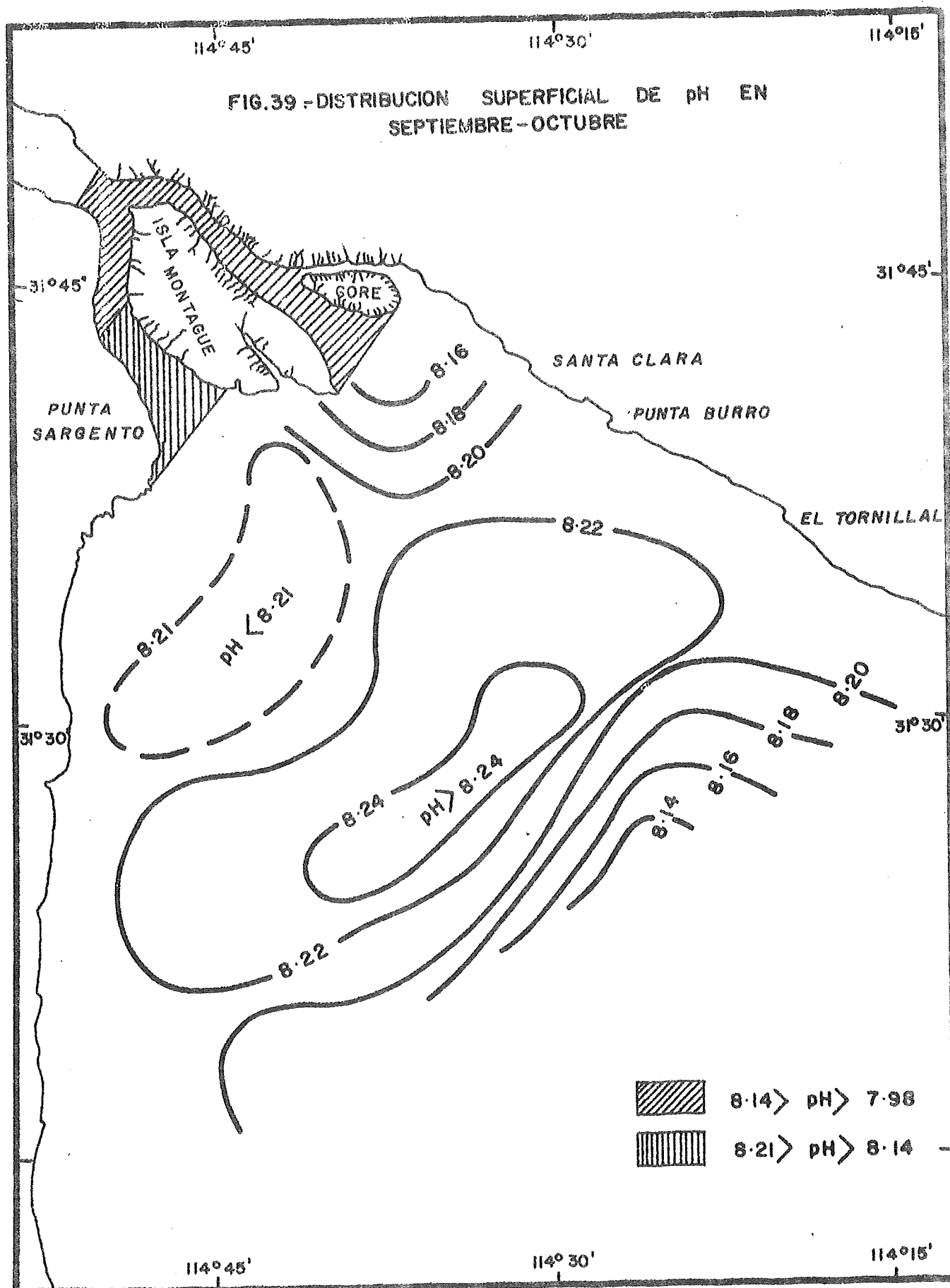
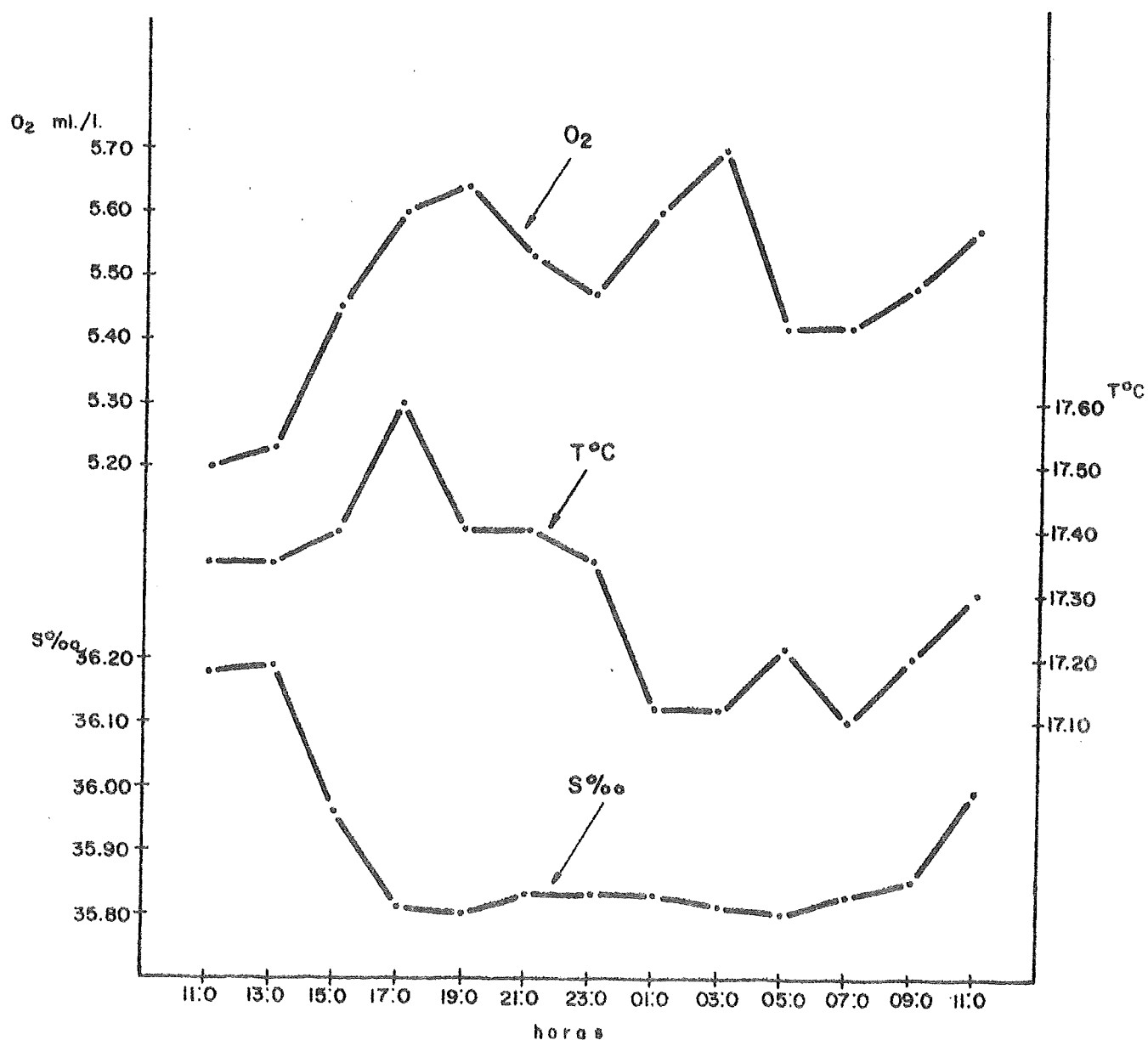


FIG. 40.- VARIACION DE TEMPERATURA, SALINIDAD Y CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO DURANTE UN CICLO DIURNO (DE LAS 11:00 DEL 9 DE MARZO A LAS 11:00 DEL 10 DE MARZO.)





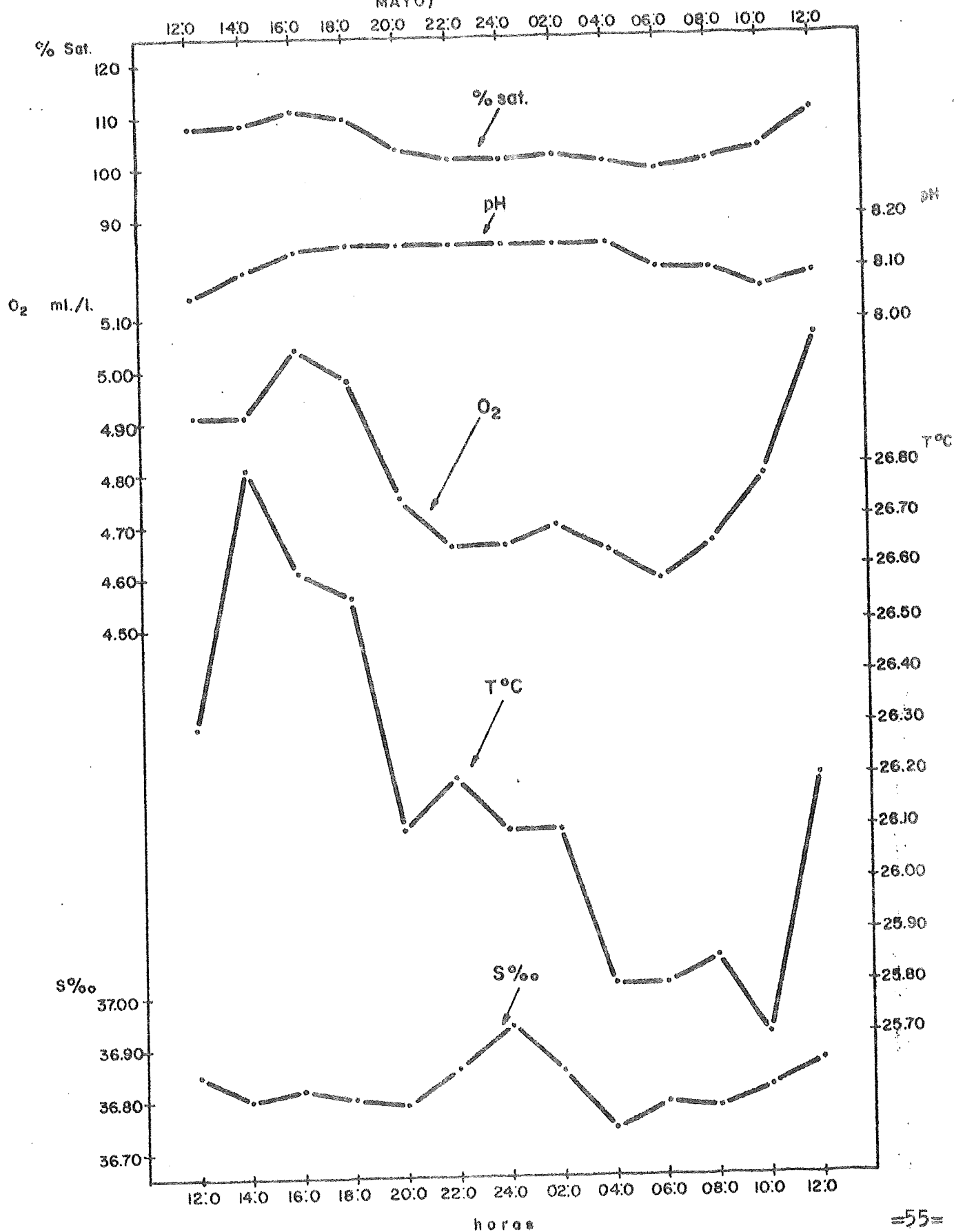
ron a las 19:00 Hrs. y 03.00 Hrs., respectivamente.

En el crucero de Mayo se estudió de nuevo la variación de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto en un ciclo de 24 horas, incluyéndose además pH; frente a Santa Clara, Son., de las 12:00 Hrs. del día 23 a las 12:00 Hrs. del 24 (Fig.41). De nuevo se presentó solamente un máximo y un mínimo de salinidad. El máximo fué de 36.94‰ y se registró a las 24:00 Hrs.; y el mínimo fué de 36.74‰ y se registró a las 04:00 Hrs. Entre las 12:00 y las 20:00 Hrs. se registró una variación muy ligera alrededor de 36.80‰. En general se registró un rango de salinidad menor que en el crucero de Marzo. (Figs. 40 y 41). El rango de temperatura fué mayor en Mayo que en Marzo. El máximo registrado de temperatura en Mayo fué de 26.80°C. y el mínimo fué de 25.70°C. a las 14:00 Hrs. y 10:00 Hrs. respectivamente. La variación diurna de la concentración de oxígeno disuelto fué menos compleja en Mayo que en Marzo (Figs.40 y 41). El máximo de  $O_2$  se registró a las 12:00 Hrs. del día 24, y el mínimo se registró a las 06:00 Hrs.; y fueron: 5.06 ml/l y 4.59 ml/l respectivamente. El pH no presentó una correlación muy elevada con el  $O_2$ ; se mantuvo constante de las 18:00 Hrs. a las 04:00 Hrs. El rango fué solamente de una décima de unidad de pH.

#### IV. DISCUSIONES.

Las distribuciones superficiales de temperatura, salinidad,  $O_2$  y pH registradas en los diferentes cruceros de Octubre de 1972 a Septiembre-Octubre de 1973, muestran claramente la tremenda variabilidad de las condiciones ambientales en el área estudiada. La influencia de la profundidad y de los fenómenos atmosféricos, tales como los cambios de temperatura del aire y la precipitación pluvial, en esta variabilidad, se puede deducir por ejemplo, comparando los resultados de Octubre con los de Diciembre de 1972. En los días que precedieron al crucero de Octubre de 1972, se registró una precipitación pluvial relativamente abundante para esta zona. En la estación meteorológica de la Secretaría de Recursos Hidráulicos en Mexicali, se registraron 21.0 y 55.5 mm. de precipitación

FIG. 41.- VARIACION DE TEMPERATURA, SALINIDAD, OXIGENO DISUELTO  
pH Y % DE SATURACION DE OXIGENO, DURANTE UN CICLO  
DIURNO (DE LAS 12:00 DEL 23 DE MAYO A LAS 12:00 DEL 24 DE  
MAYO)



pluvial el 6 y 7 de Octubre respectivamente. En la estación de San Felipe, B.C., se registraron 240 mm. el día 5 de Octubre; para el resto de los días que precedieron al crucero no se reportaron datos meteorológicos de la estación de San Felipe (Rep. de datos, Dir. de Hidrol., Div. Ensenada, SRH.). La figura 13 muestra claramente la influencia de la precipitación pluvial en la distribución superficial de salinidad para el crucero de Octubre. Las bajas salinidades en las aguas cercanas a la costa son producto de la influencia de escurrimientos (arroyos, etc.). El mínimo de salinidad al norte de isla Montague es producto de la aportación de agua dulce del sistema del delta del Río Colorado, durante estas lluvias. Estas lluvias causaron el que, por primera vez en muchos años, La Laguna Salada, zona totalmente árida al noroeste de lo que fuera la desembocadura del Río Colorado, tuviera agua en cantidad suficiente para persistir algunos meses. (Fot.1).

En los días que precedieron al crucero de Marzo y durante el mismo, se registró también cierta precipitación pluvial en nuestra área de interés. En la estación meteorológica de la S.R.H., en Ritos, Son., al norte del Golfo de Santa Clara, se registraron 3.9 mm. y 3.4 mm. de precipitación pluvial el 9 y 13 de Marzo respectivamente. En San Luis Río Colorado, Son., se registraron 7.1 mm. 11.7 mm. y 5.0 mm., el 9, 11 y 13 de Marzo respectivamente. En la estación de Presa Morelos, B.C., se registraron 14.0 mm. el 9 de Marzo; y en El Mayor, B.C., se registraron 4.0 mm. el 9 de Marzo y lluvias inapreciables el 12 y 13. (Rep. de datos, Dir. de Hidr., Div. Ensenada, SRH.). Mal tiempo, con fuertes vientos que provocaban oleaje de hasta más de un metro y medio de altura, pudo ser la causa de procesos intensos de mezcla responsables de la distribución un tanto irregular de la salinidad en este crucero (Fig.17). La precipitación pluvial registrada en el período de este crucero no fué suficiente para invertir el gradiente de salinidad, registrándose altas salinidades en la zona de isla Montague.

Groen (1969) describe dos tipos de situaciones en

lagunas costeras: una llamada estuarina y otra llamada antiestuarina. Cuando el aporte de agua dulce por ríos, arroyos, etc., excede la evaporación, existe una situación estuarina; en el caso inverso la situación es antiestuarina. Una clasificación semejante a ésta puede hacerse para zonas como el Alto Golfo de California. El único crucero en que se detectó una situación estuarina fué el de Octubre de 1972 (Fig. 13); en todos los demás meses se registró una situación antiestuarina (Figs. 14 al 22). El ascendente de salinidad, de sur a norte, registrado de Diciembre de 1972 a Septiembre-Octubre de 1973, indica que, con excepción de unos pocos días del año, la evaporación en el Alto Golfo de California es mayor que cualquier aporte de agua dulce. Las elevadas salinidades en la zona de isla Montague, con valores hasta de más de 37.40‰, en Diciembre, Enero y Febrero (Figs. 14, 15 y 16), indican que aún en invierno, con temperaturas atmosféricas bajas, la evaporación es considerable.

La reversión del gradiente de temperatura a través del año, con los valores ascendiendo de lo que fué la desembocadura del río hacia mar adentro en invierno y descendiendo en la misma dirección en verano, se debe a la influencia de la temperatura atmosférica en la del agua de mar. (Figs. 3 al 12). Esta influencia es más fuerte en las aguas someras que en las profundas. En los meses de Marzo y Septiembre se realizaron las inversiones del gradiente.

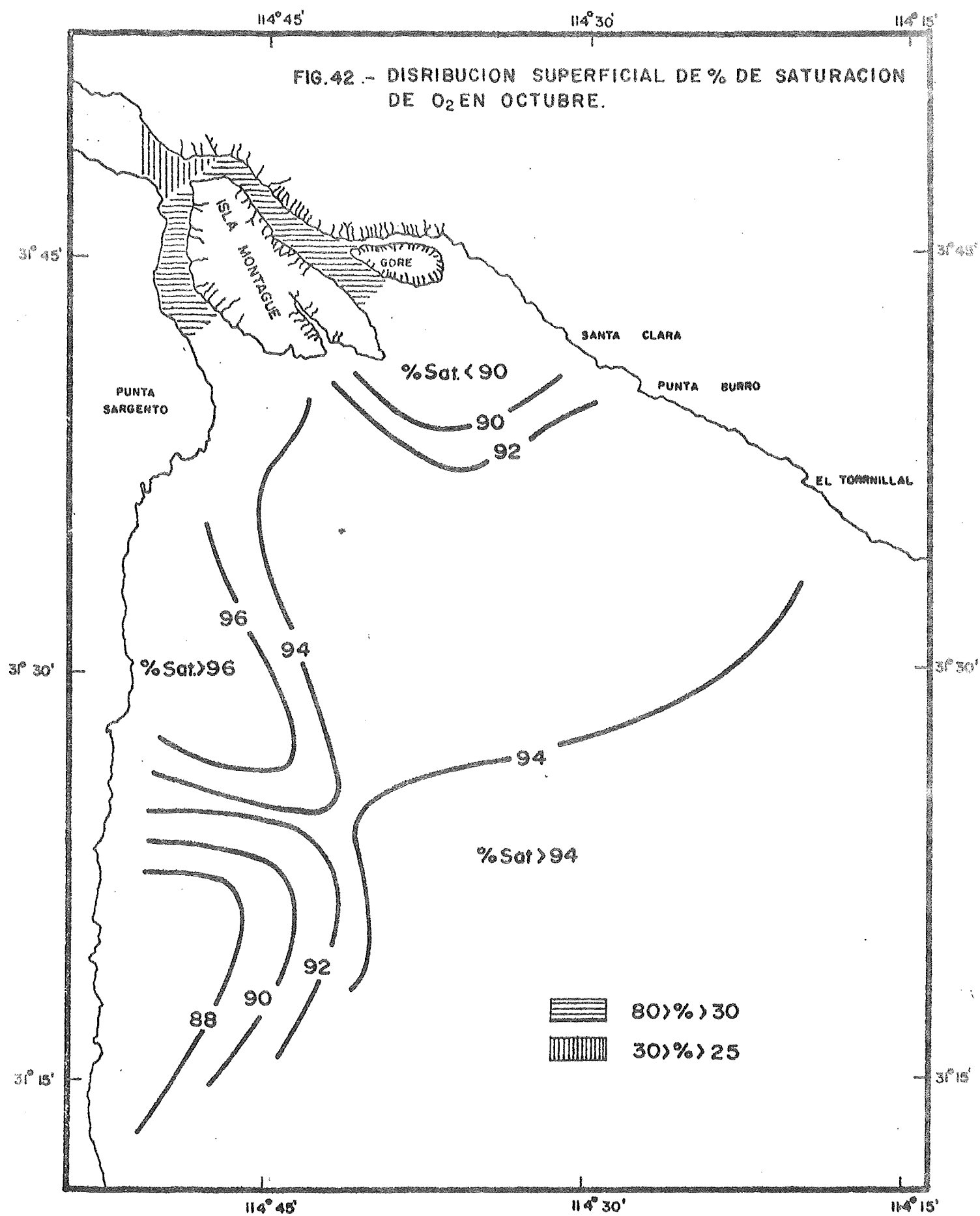
La distribución superficial de temperatura y salinidad registrada en los diferentes cruceros (Figs. 3 al 12 y 13 al 22) indica que la circulación neta, sin considerar el flujo y reflujo de las mareas, es rotatorio en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Thompson (1969) reportó que mediciones de corrientes de mareas mar adentro indican un sistema rotativo en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que mediciones a lo largo de la costa indican una circulación contraria a las manecillas del reloj. Thompson (1969) indicó

también que la distribución de sedimentos, la turbidez y la orientación de ondas grandes de arena en las marismas, indican una circulación contraria a las manecillas del reloj. Si la circulación neta es rotatoria en el sentido contrario al de las manecillas del reloj, se debe observar una influencia de las condiciones hidrológicas de la zona circundante a isla Montague en la zona cercana a la costa de Baja California; y se debe observar una influencia de las condiciones hidrológicas de la región oceánica del golfo (al sur de nuestra zona de estudio) en la zona cercana a la costa de Sonora, cerca de Santa Clara. En efecto, las figuras 3 al 12 y 13 al 22, muestran que lo anterior fué precisamente lo que se registró en los diferentes cruceros, sin excepción. Verbigracia: la figura 13 muestra que el mínimo de salinidad se registró al norte de isla Montague y las salinidades de la zona cercana a Baja California fueron más bajas que las de la zona cercana a Sonora; la figura 14 muestra que el máximo de salinidad se registró en la zona de isla Montague y las salinidades de la zona cercana a la costa de Baja California fueron más altas que las de la zona cercana a la costa de Sonora.

Fotografías espaciales tomadas por el satélite ERTS-I (Earth Resources Technology Satellite-I), puesto en órbita y operado por la National Aeronautical and Space Administration (NASA) de los Estados Unidos de América, muestran muy claramente la distribución de sedimentos en suspensión en el norte del Golfo de California (Fot. 1). La fotografía 1, tomada el 22 de Mayo de 1973, muestra la distribución de las partículas en suspensión en nuestra zona de estudio. Esta fotografía muestra que la mayor turbidez se halla en lo que fué la boca del Río Colorado, disminuyendo hacia mar adentro. En la parte cercana a la costa de Baja California esta turbidez se extiende más hacia el sur que en la parte cercana a la costa de Sonora, indicando también una circulación rotatoria en el sentido contrario al de las manecillas del reloj. La mayor parte de esta turbidez son arcillas en suspensión.

Las gráficas y la fotografía presentadas en este trabajo parecen resolver la discrepancia presentada por Thompson (1969) a favor de la circulación rotatoria en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Esto es muy importante para dilucidar diferentes fenómenos, pero en este trabajo nos concretamos a establecer la relación que tiene con los acarreos de contaminantes. De acuerdo con lo establecido anteriormente, los contaminantes de cualquier tipo que provengan de la zona del delta del Río Colorado, acarreados por las aguas, afectarán con mucha más intensidad a la zona del Alto Golfo de California cercana a la costa de Baja California que a la zona cercana a la costa de Sonora; y los contaminantes que provengan de fuentes remotas (v.g.: de la parte central del Golfo de California) acarreados por las corrientes marinas, afectarán más la zona cercana a la costa de Sonora que a la zona cercana a la costa de Baja California. Estas conclusiones no se pueden aplicar directamente a la explicación de la distribución de pesticidas en el Alto Golfo, porque es necesario considerar cuantitativa y conjuntamente los acarreos eólicos y los acarreos hidráulicos de los contaminantes. Los pesticidas contenidos en los polvos acarreados por los vientos son los de mayor significancia cuantitativa. (Guardado Puente y Nuñez Esquer, 1974)

La distribución superficial de  $O_2$  depende de la temperatura, que regula el intercambio gaseoso con la atmósfera, y de los procesos de respiración y fotosíntesis que ocurren en el agua; depende además, de procesos de mezcla y advección de masas de agua. La solubilidad del  $O_2$  en el agua de mar disminuye al aumentar la temperatura y también, en menor grado, al aumentar la salinidad. El porcentaje de saturación de  $O_2$  es un indicador de la tendencia del mismo a escapar hacia la atmósfera, o a penetrar de la misma al agua. En las figuras 42 al 51 se muestra el % de saturación de  $O_2$  para los diferentes cruceros. El % de saturación se calculó de la siguiente manera:



114° 45'

114° 30'

114° 15'

FIG. 43.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN DICIEMBRE.

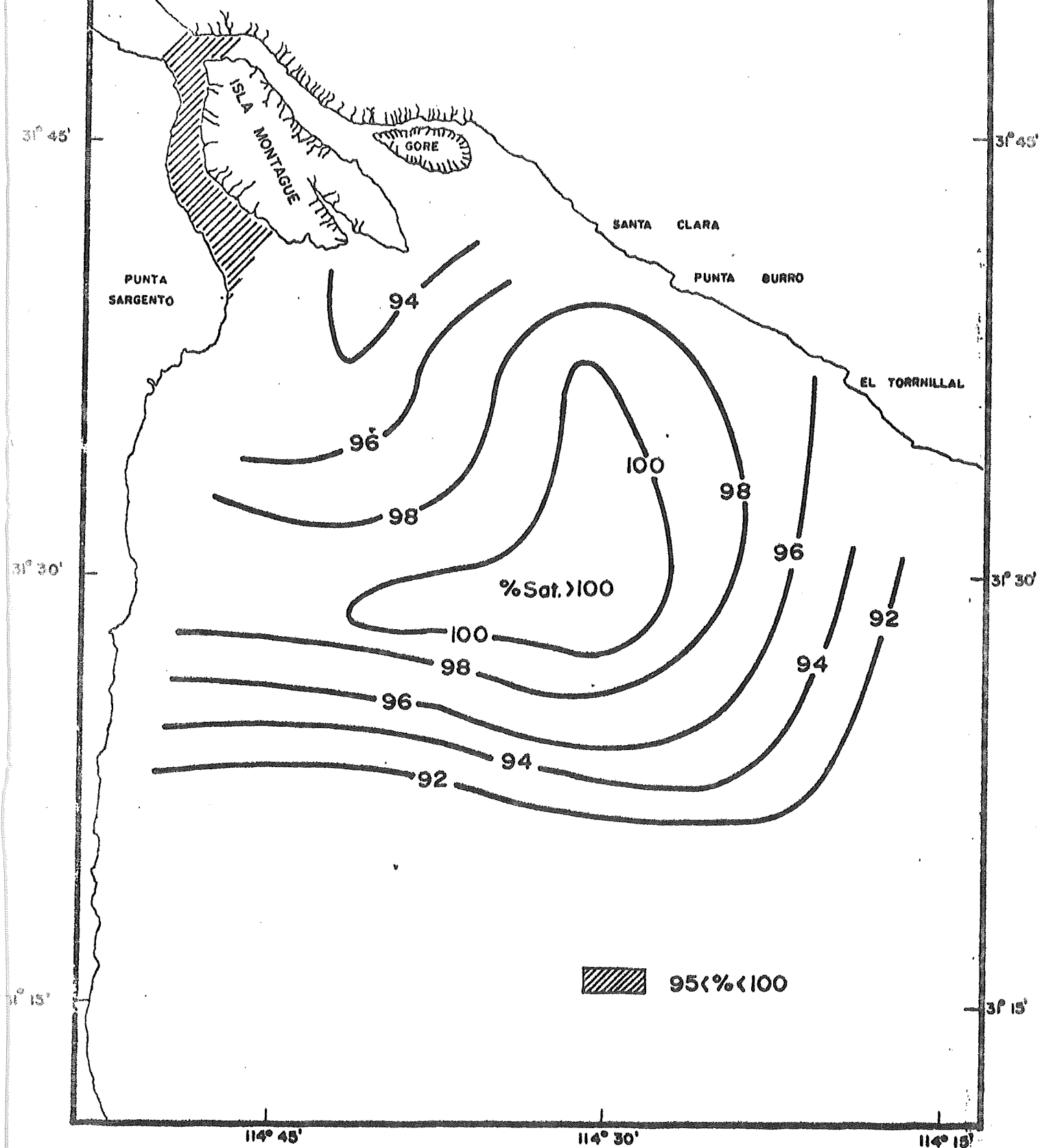
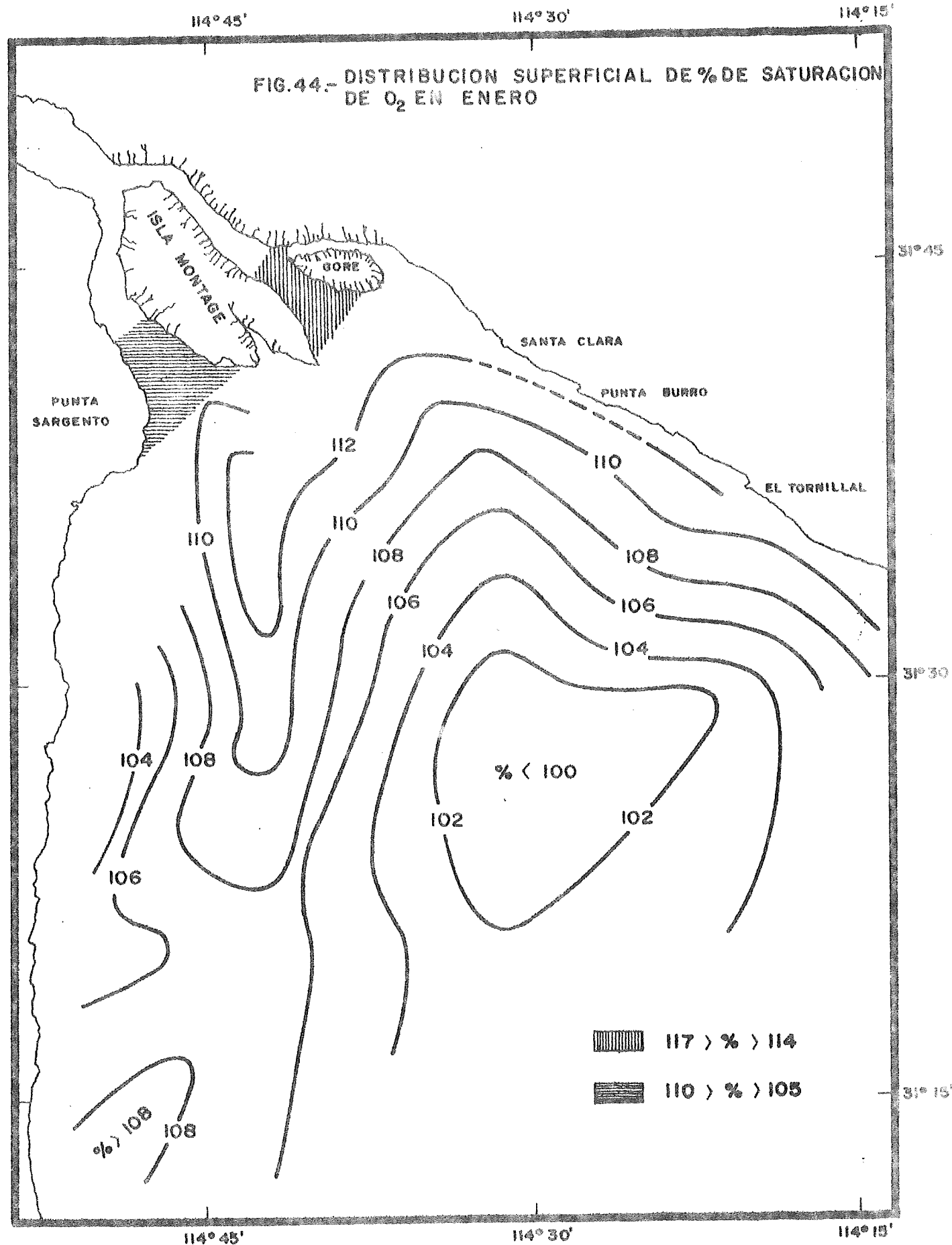




FIG.44.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN ENERO



114°45'

114°30'

114°15'

FIG.45.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION  
DE O<sub>2</sub> EN FEBRERO

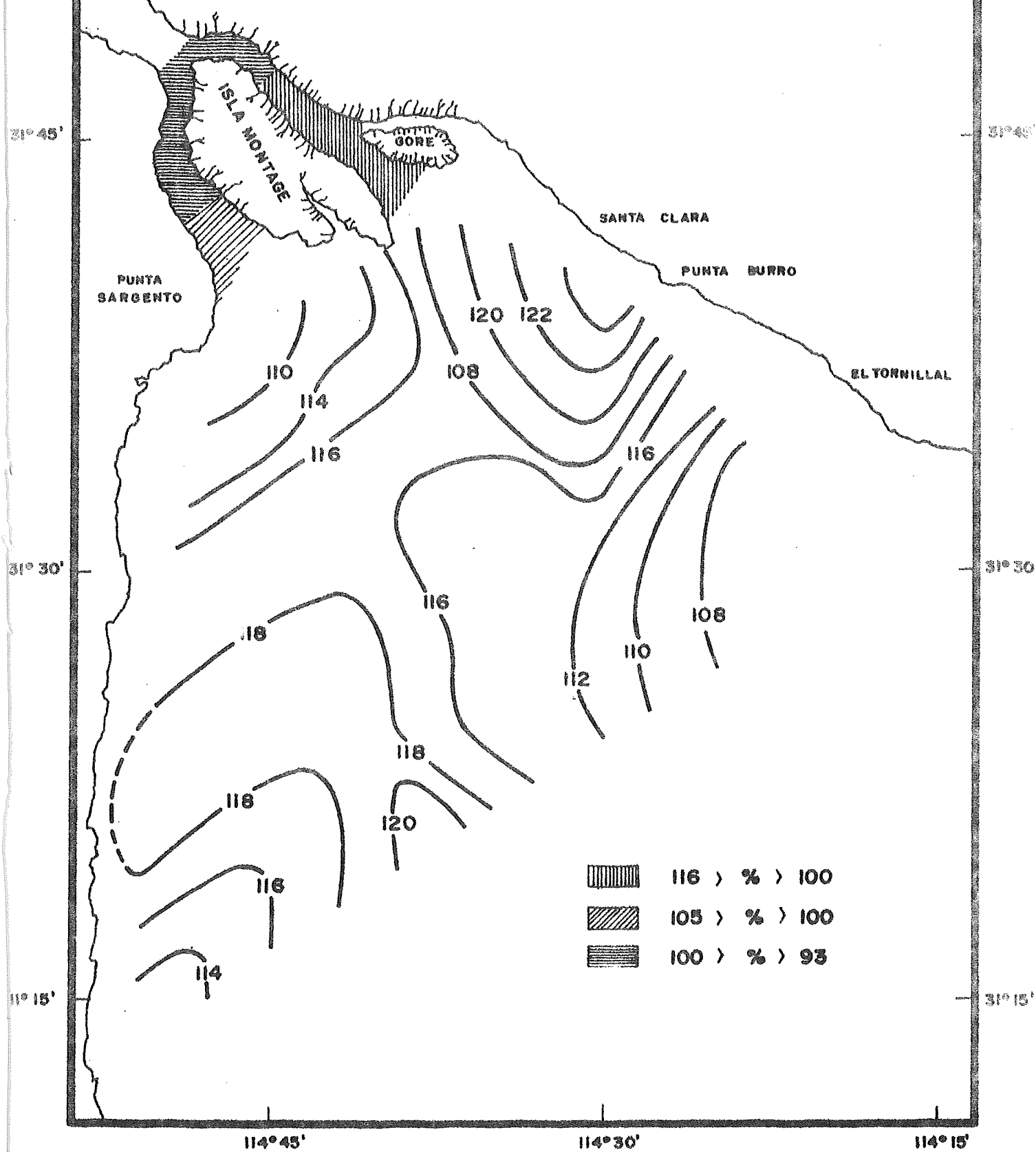
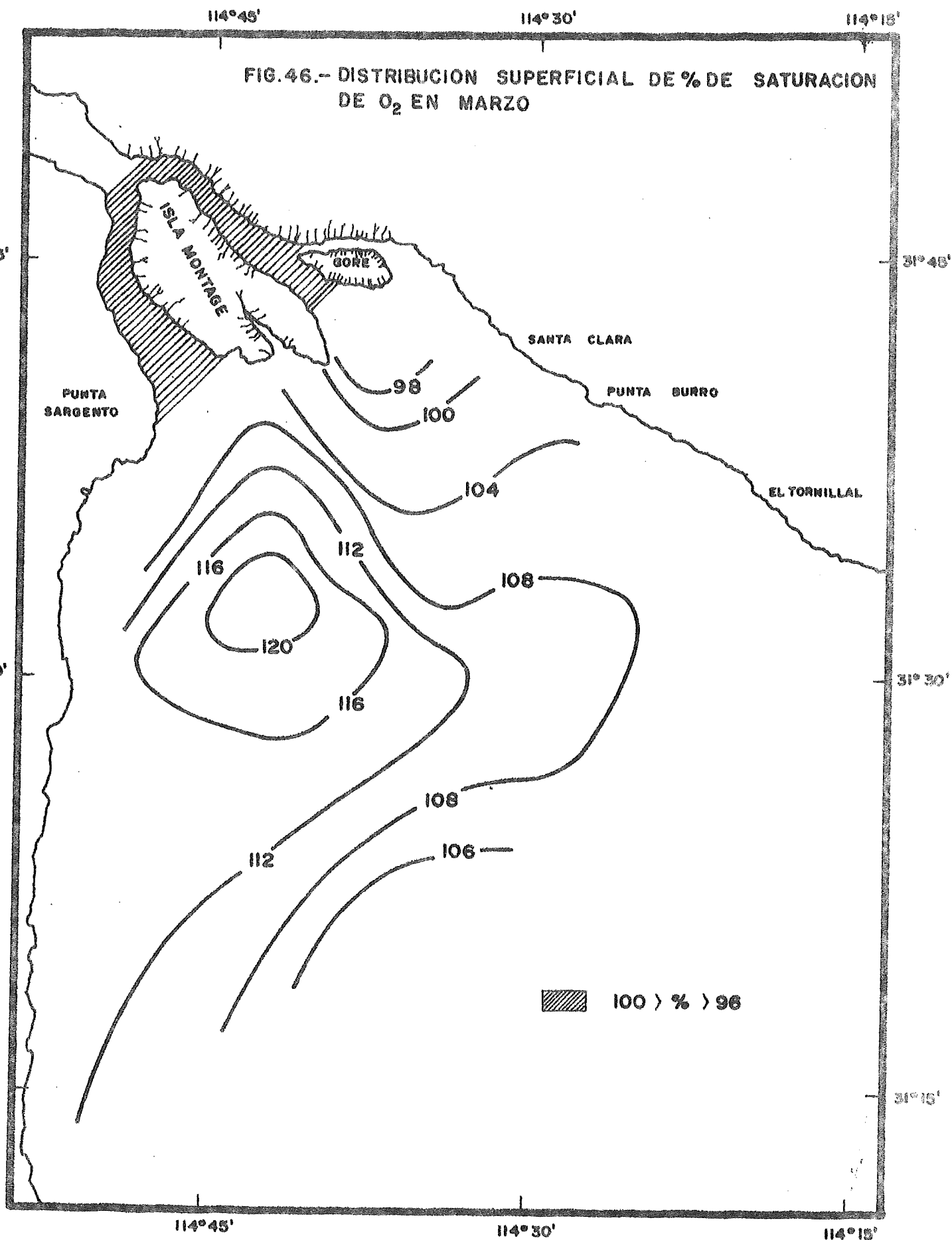
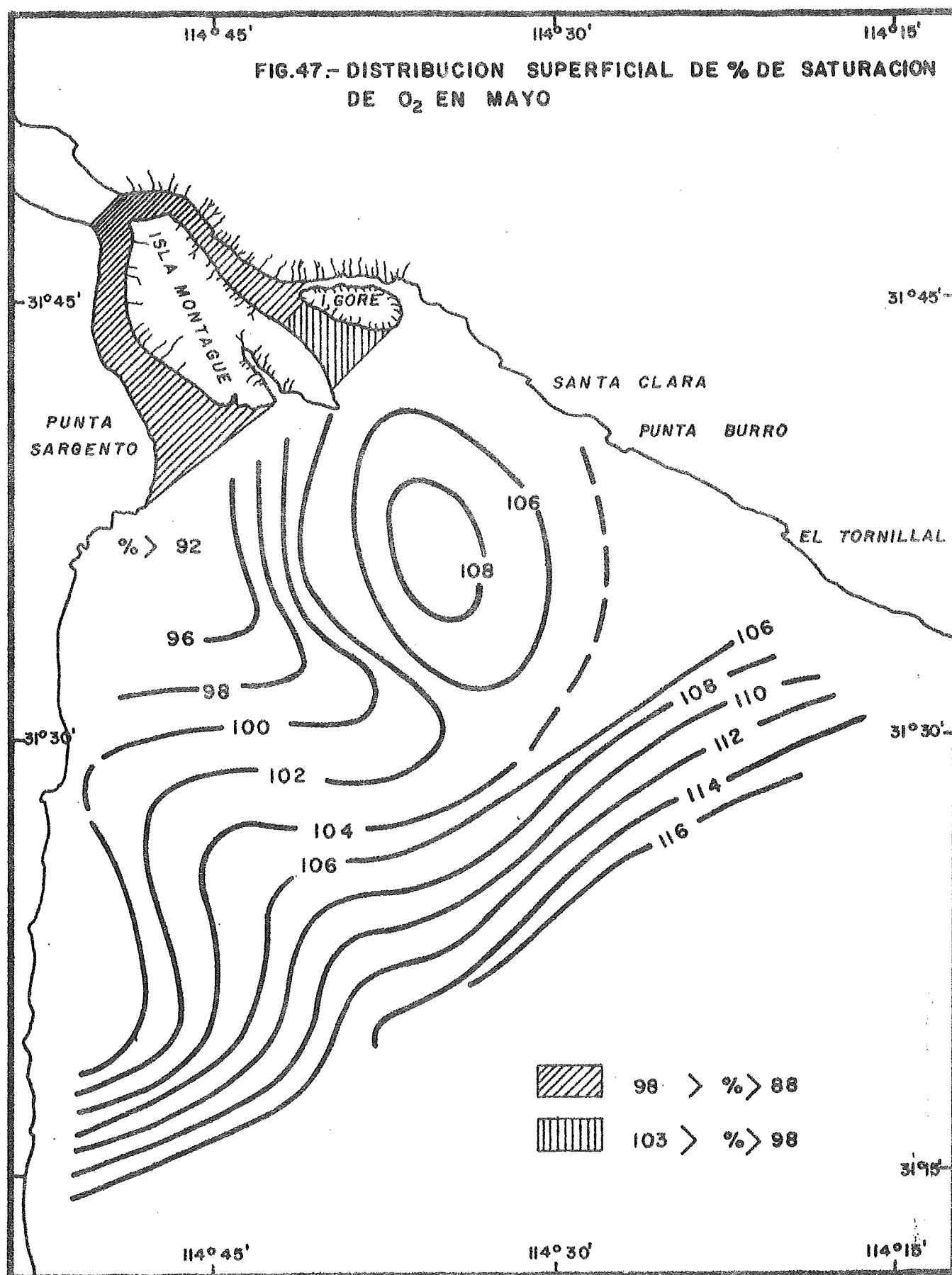


FIG.46.- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN MARZO





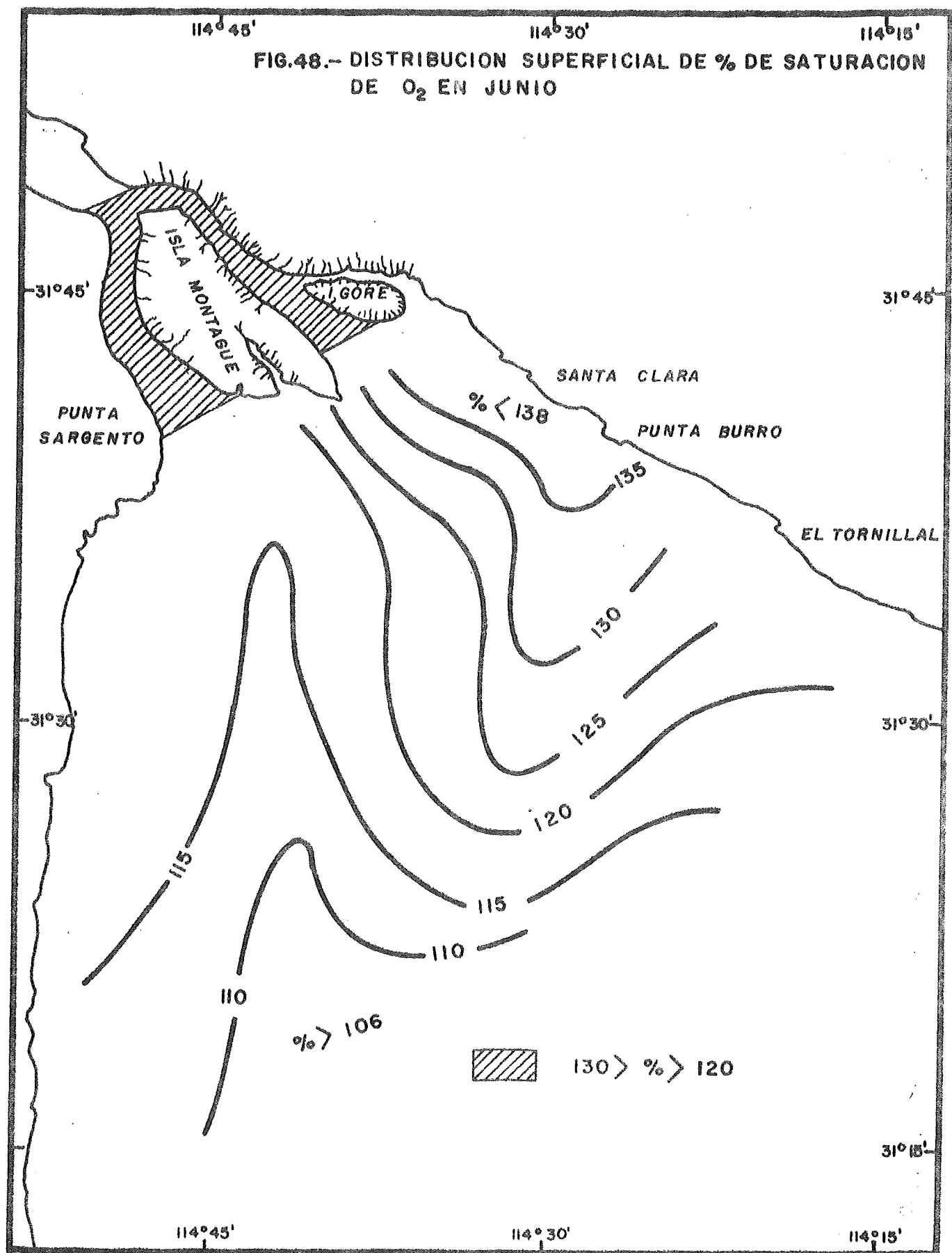
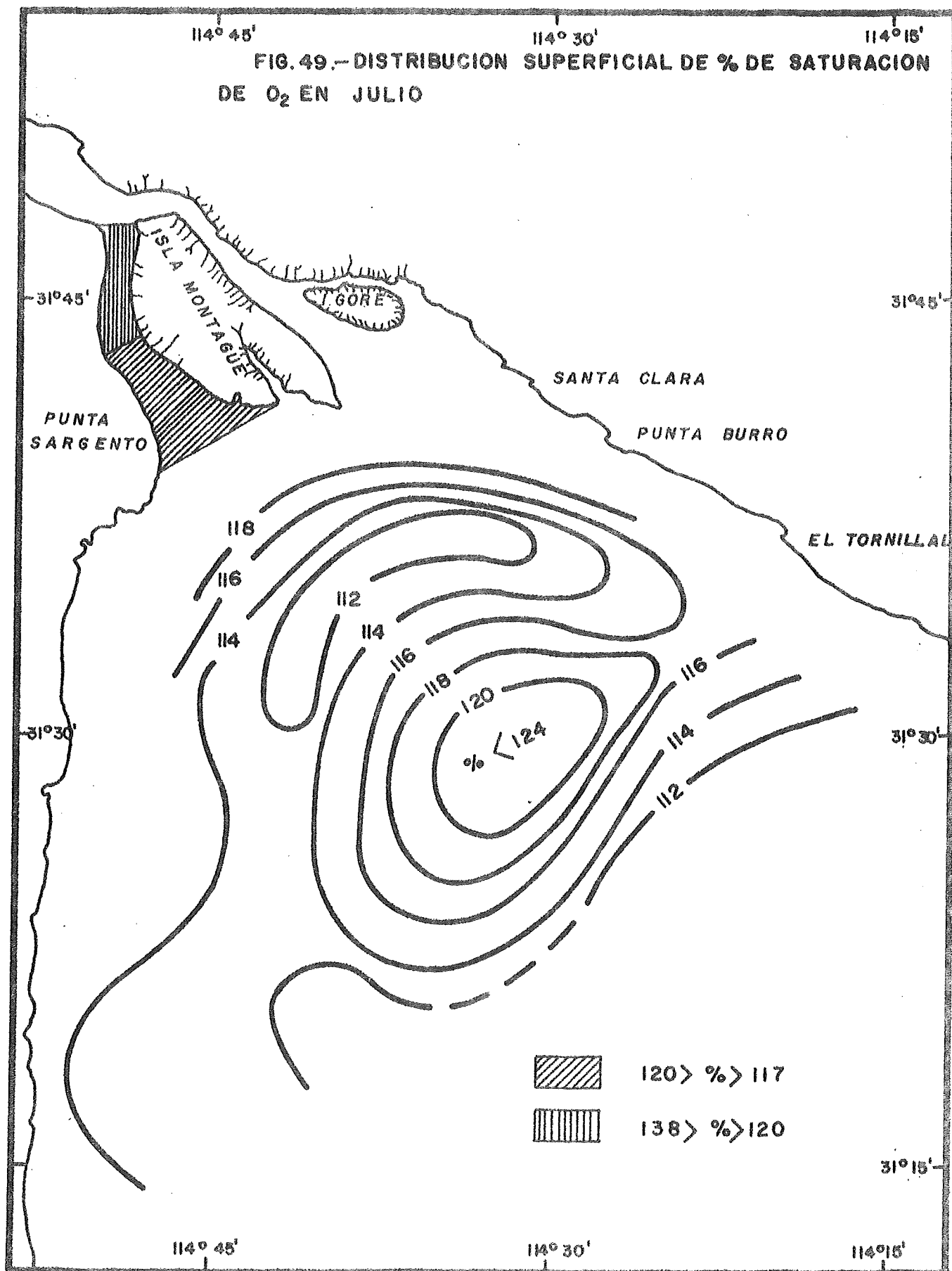


FIG. 49.—DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN JULIO



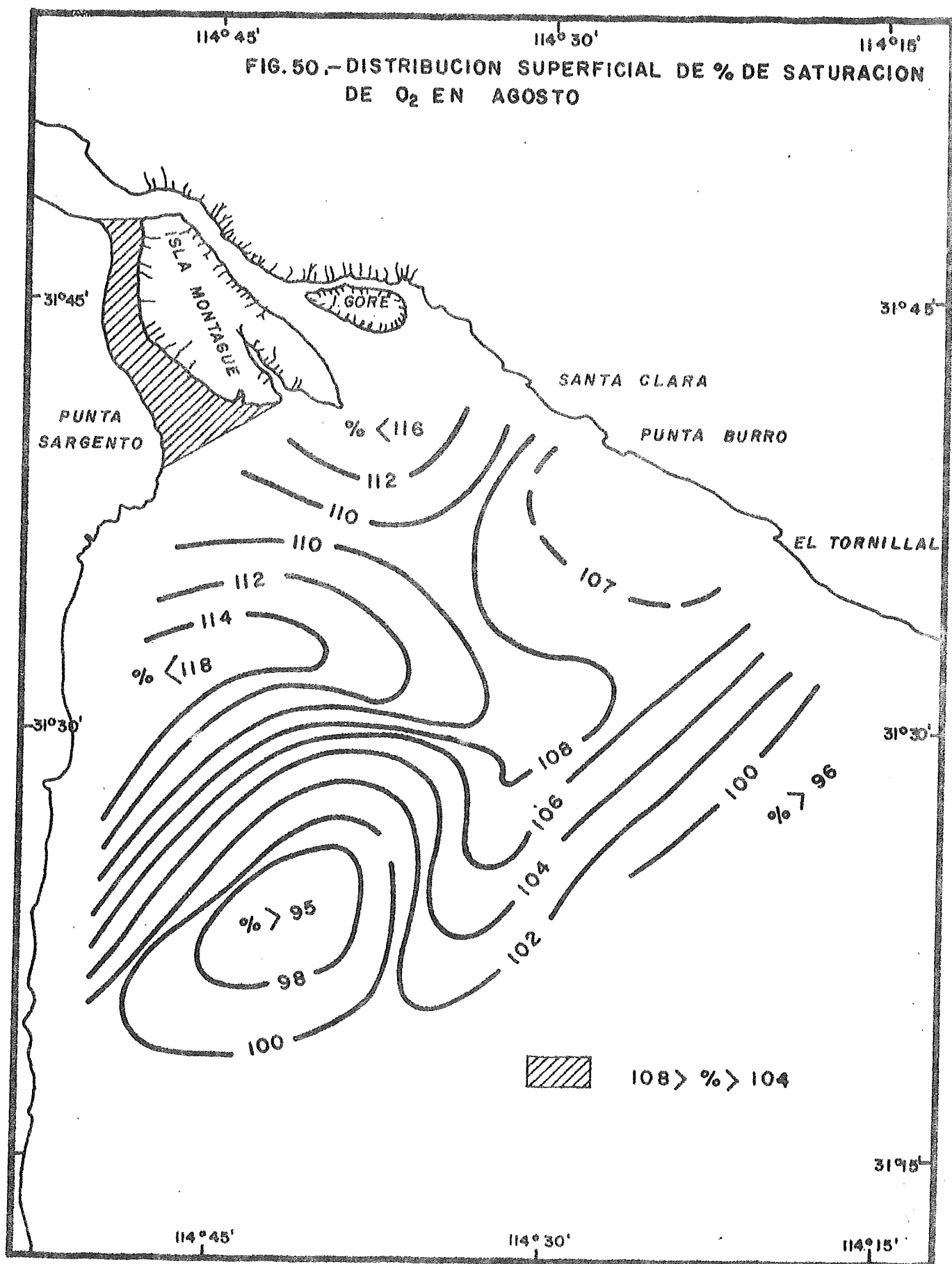
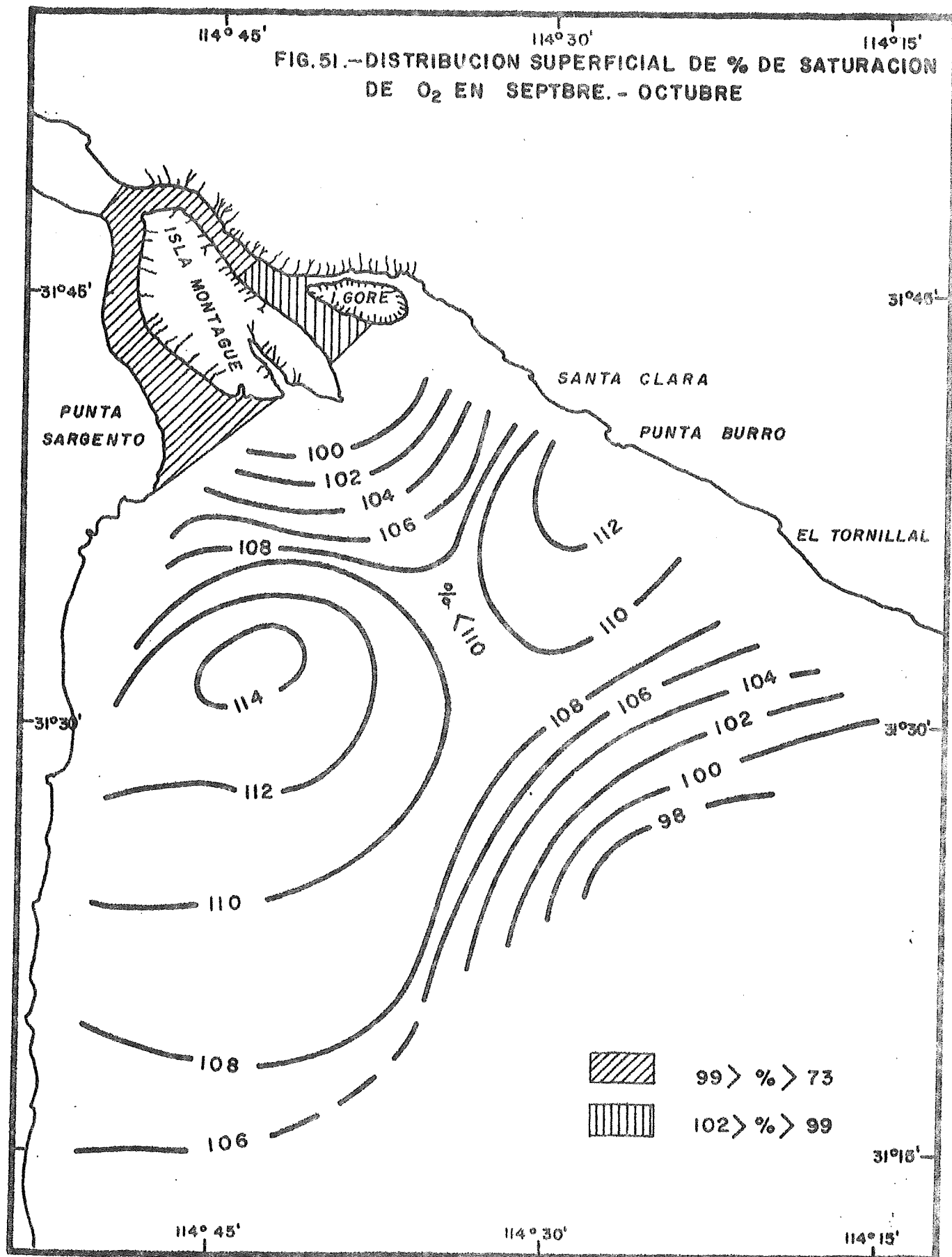


FIG. 51.—DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE % DE SATURACION  
DE O<sub>2</sub> EN SEPTBRE. - OCTUBRE





$$\% \text{ sat} = \frac{O_2}{O_2'} \times 100$$

donde  $O_2'$  es el valor de solubilidad de oxígeno correspondiente a la temperatura y salinidad medidas.  $O_2'$  se calculó usando un monograma construido en base a los datos de Green (1965).

En los cruceros de Diciembre, Enero y Febrero, se nota una alta correlación, con coeficiente negativo, entre la temperatura y el  $O_2$  (Figs. 4 al 6 y 24 al 26); con  $O_2$  elevado donde la temperatura es baja y viceversa. Esto indica que, durante este período del año, la temperatura es el factor que controla la distribución superficial de  $O_2$ .

La distribución superficial de  $O_2$  para el crucero de Octubre de 1972 (Fig.23) fué relativamente compleja. Posiblemente esta complejidad se debió al aporte de materia orgánica acarreada por los escurrimientos producto de la precipitación pluvial. La oxidación de esta materia orgánica produjo un consumo de oxígeno más rápido que el suministro realizado por intercambio con la atmósfera. En general la distribución de pH concuerda con la de  $O_2$ , y la confirma (Figs.23 y 33). El pH es afectado por procesos similares a los que afectan al  $O_2$ . Las lengüetas de valores bajos de  $O_2$  (Fig.23) posiblemente indican entradas de arroyos de aporte considerable. El mínimo de  $O_2$  registrado al norte de isla Montague (1.33 ml) en Octubre es extremadamente bajo para ser un valor superficial. En un principio se dudó de la veracidad del dato, pero se corroboró con un valor también muy bajo de pH (7.83). Esto indica que el aporte de materia orgánica en descomposición, por el sistema del delta del Río Colorado, fué muy abundante en los días de lluvia que precedieron al crucero. El % de saturación fué menor de 30% (Fig.42). Okuda (1969) reportó un valor superficial mínimo de  $O_2$  de 0.6 ml/l en la Laguna Unare, una laguna costera de Venezuela.

Un mes y medio después de este crucero, en el de Diciembre, la distribución superficial de  $O_2$  (Fig.24), al igual

que la de salinidad, no mostró efectos de ningún aporte de agua dulce. Al no haber aporte de materia orgánica en descomposición el factor determinante que gobierna la distribución de  $O_2$  es la temperatura y, en función de ella, el intercambio gaseoso con la atmósfera. Por esta razón, las isogramas de  $O_2$  se comportan muy similar a las isotermas (Figs. 4 y 24).

En Mayo también se apareció una gran dependencia del  $O_2$  con la temperatura (Figs. 8 y 28). Al realizarse la reversión del gradiente de la temperatura también se efectuó una reversión en el de  $O_2$ . Pero en Marzo y en los meses de verano, la distribución de  $O_2$  fué afectada más fuertemente por otros factores. En Marzo (Fig. 27) posiblemente el factor más importante haya sido el oleaje provocado por los vientos registrados, mismo que causó una gran aereación. En este cruce-ro se trabajó bajo condiciones meteorológicas muy adversas; el último día se estimó el oleaje en 1.7 m., con gran turbulencia en la superficie. Se registraron porcentajes de saturación de  $O_2$  muy elevados (Fig. 46); solamente en Julio se registraron % de saturación de  $O_2$  más elevados que en Marzo (Fig. 49). En Marzo se registraron más elevados valores de  $O_2$  que en Julio (Figs. 27 y 30), pero los valores del % de saturación fueron más elevados en Julio (Fig. 49) por las elevadas temperaturas que se presentaron este mes.

En los meses de verano, la baja correlación de la distribución de  $O_2$  con la de temperatura posiblemente se deba a los efectos de fotosíntesis y respiración, mucho más fuertes en este tiempo que en el resto del año (Figs. 9, 10, 11, 29, 30 y 31). Para corroborar esto, se necesitan datos sobre la productividad orgánica de la zona.

Tomando en consideración que los pesticidas no son solubles en el agua, los que son acarreados al mar por vía hidráulica son aquellos contenidos en los organismos planctónicos y en los restos orgánicos en suspensión y los adsorbidos en sedimentos en suspensión. Con relación a la dilucida-

ción de los mecanismos mediante los cuales los contaminantes se incorporan al medio marino del Alto Golfo de California, las distribuciones superficiales de  $O_2$ , determinados a través de un año, nos indican lo siguiente: los pesticidas son acarreados al mar por vía hidráulica de una manera tan irregular como el régimen pluvial y solamente en cantidades significativas en las pocas ocasiones en que la precipitación pluvial es relativamente considerable, como sucedió en Octubre de 1972. La distribución superficial de  $O_2$  para el mes de Octubre (Fig.23) es la única que detectó un aporte significativo de materia orgánica y los pesticidas contenidos en ella. Esto apoya la conclusión de que el aporte de pesticidas por vía hidráulica al Alto Golfo de California es muy pequeño -- comparado al aporte por vía eólica. Esta conclusión es, por supuesto, de tipo cualitativo porque no contamos con los datos necesarios para establecer cuánto más importante es el aporte eólico.

En general existe una alta correlación entre el pH y el  $O_2$  superficiales (Figs.23 al 32 y 33 al 39), con altos valores de pH correspondiendo a altos valores de  $O_2$  y viceversa; con excepción del mes de Diciembre. La distribución de pH para el crucero de Diciembre (Fig.34) no se correlaciona con la de los otros parámetros. Posiblemente haya habido errores en la determinación de pH en este crucero.

La gran variabilidad de las diferentes propiedades hidrológicas de un ciclo diurno (Figs.40 y 41) nos indica claramente que todas las distribuciones superficiales representadas en las diferentes gráficas de este trabajo son solamente una primera aproximación a la realidad. Analizando las variaciones de cada una de las diferentes propiedades hidrológicas (Figs.40 y 41), en ciertas horas del día y comparandolas con variaciones ocurridas de las mismas propiedades a esas horas durante el desarrollo del crucero en el mismo mes, podemos saber si las distribuciones superficiales obtenidas, son reales, o bien producto de la variación del tiempo durante el muestreo, en el traslado de una estación a --

otra. Variaciones de Marzo de  $0.01\text{ }^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$ , y  $0.03\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  de las 11:00 a las 13:00 Hrs. (Fig.40), comparadas con variaciones horizontales de  $0.36^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  y  $0.40\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  en el mismo espacio de tiempo de la estación 16 a la 12 (Figs. 1, 17 y 27); así como también variaciones de  $0.02^{\circ}\text{C.}$  y  $0.11^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$ ; de las 13:00 a las 14:00 Hrs. (Fig.40), comparadas con las variaciones horizontales de  $0.60^{\circ}\text{C.}$  y  $0.50^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  en el mismo intervalo de tiempo de la estación 7 a la 13 (Figs. 1, 7 y 17) indican que la variación encontrada horizontalmente a través de todo el crucero de Marzo es real o significativa para el momento del muestreo; es decir, no son producto de los cambios ocurridos simplemente por la diferencia de hora en el muestreo. Sin embargo, variaciones de  $0.10\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  de las 13:00 a las 14:00 Hrs. (Fig.40) y de  $0.13\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  en el mismo tiempo, de la estación 7 a la 13 en la distribución horizontal (Fig. 1 y 27), nos indica que la mayor parte de este cambio pudo ser causado por la diferencia de hora en el muestreo.

En el crucero de Mayo se encontró algo semejante al crucero de Marzo con variaciones de  $0.26^{\circ}\text{C.}$   $0.02^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  y sin variaciones en el  $\text{O}_2$  de las 12:50 a las 14:10 Hrs., comparadas con las variaciones horizontales de  $1.15^{\circ}\text{C.}$   $0.29^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  y  $0.21\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$ , a la misma hora de la estación 10 a la 9 (Figs. 1, 8, 18 y 28); y variaciones ocurridas de las 06:45 a las 08:13 Hrs., de  $0.02^{\circ}\text{C.}$   $0.05^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  y  $0.03\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  (Fig.41), comparadas con las variaciones horizontales a la misma hora de  $1.64^{\circ}\text{C.}$   $0.94^{\circ}/_{\text{‰}}$  de  $\text{S}^{\circ}/_{\text{‰}}$  y de  $0.62\text{ ml/l}$  de  $\text{O}_2$  de la estación 14 a la 13 (Figs. 1, 8, 18 y 28), nos indican al igual que en el crucero de Marzo, que las variaciones encontradas a través de este crucero son reales o significativas. Para obtener una mejor aproximación a la realidad, a través de un acercamiento a la simultaneidad de la toma de datos, sería necesario equipos más sofisticados. En el caso de la temperatura se podría utilizar equipo de rayos infrarrojos desde un avión que volara sobre la zona en unos pocos minutos. Para los demás parámetros, la única solución sería el colocar una serie de boyas con equipo automatizado en las di-

ferentes estaciones hidrográficas, trabajando al mismo tiempo, lo cual resultaría muy caro.

En general se aprecia una más alta correlación de la temperatura con la variación diurna de la irradiación solar (hora del día) que con el ciclo de marea (Figs. 40, 41, 52 y 53). La salinidad muestra el efecto combinado de ambos, la marea y la irradiación solar (causante de la evaporación), con una mayor correlación con la hora del día en Marzo (Figs. 40 y 52), y una mayor correlación con la marea en Mayo (Figs. 41 y 53). La explicación a esto se debe principalmente a que en Marzo el lugar escogido para la variación diurna (Est. A6, Fig. 1), se encuentra bajo condiciones oceánicas, donde la influencia de la marea sobre este parámetro es menor; y en Mayo el lugar escogido para el estudio de la variación diurna se encuentra en aguas someras (frente a Santa Clara, Fig. 1), donde el efecto del flujo y reflujo de la marea es mayor. Esto se comprueba en las gráficas 41 y 53 donde el máximo de salinidad coincide con la marea baja a las 24:00 Hrs., detectando en ese momento aguas provenientes de la zona circundante a la isla Montague. La variación de  $O_2$  muestra el caso contrario a la salinidad, presentando una correlación más elevada con la marea en Marzo (Fig. 40 y 52), y una mayor correlación con la irradiación solar (hora del día) en Mayo, donde la concentración de  $O_2$  disminuye durante la noche debido a la respiración (Figs. 41 y 53). El hecho de que en el mes de Marzo exista una mayor correlación del  $O_2$  con la marea, se debe principalmente a que durante el flujo de ésta, se detectan condiciones hidrológicas de la región oceánica del Golfo (al sur del área de estudio); y durante el reflujo son condiciones del área de estudio, donde el efecto del fenómeno de la respiración es mayor que en las aguas oceánicas. El tipo de información hidrológica presentada en esta tesis se puede utilizar para construir modelos hidráulicos que permitan predecir la dispersión de un afluente. Con relación a los planes que existían para construir una planta nuclear de doble propósito, de desalinización y productora de energía eléctrica en algún lugar cercano a Santa Clara, Son. (en nuestra área de interés), Matthews y Rosenberg (1969) mencionaron que para predecir el impacto de un afluente de alta salinidad y temperatura,

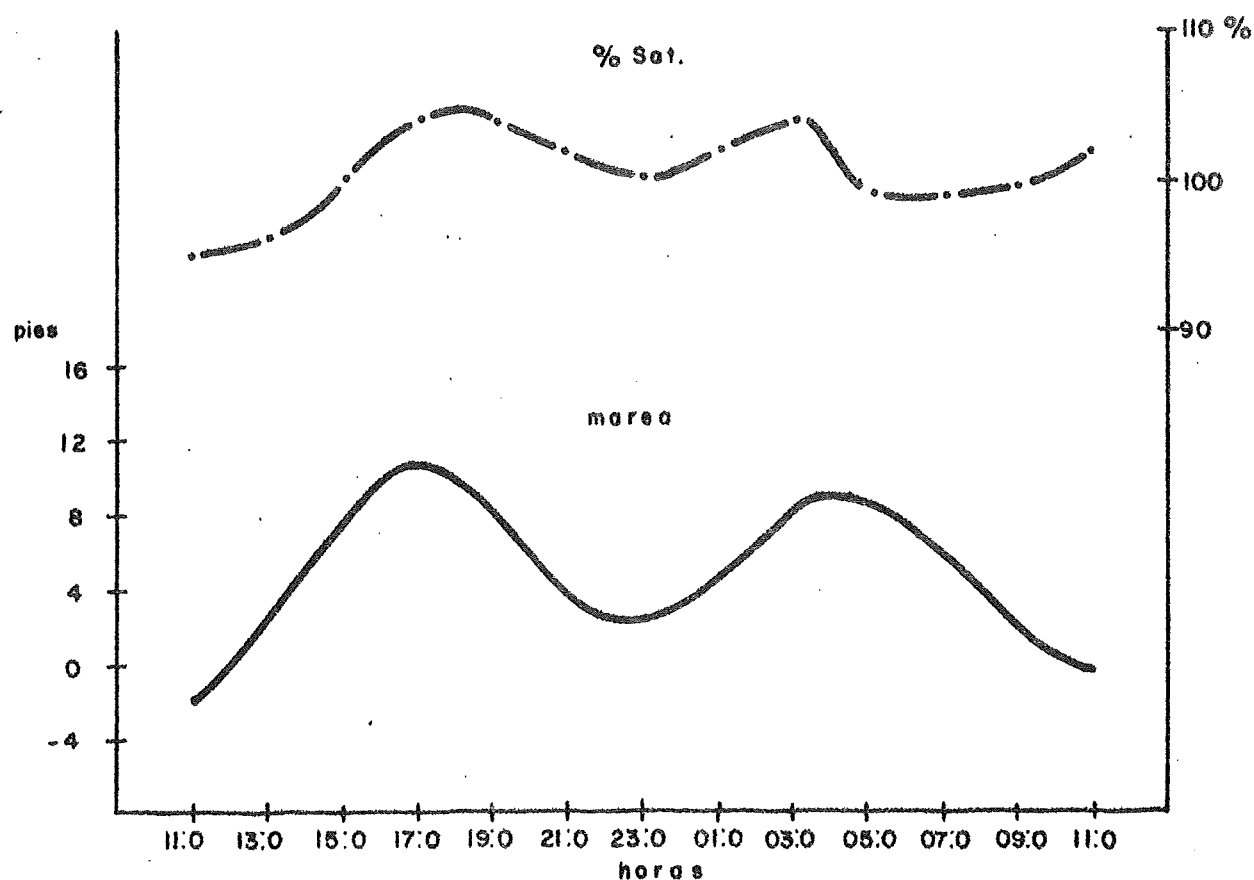


FIG.52.—VARIACION DEL % DE SATURACION DE  $O_2$  Y ALTURA DE MAREA DURANTE UN CICLO DIURNO (11:00 DEL 9 A LAS 11:00 DEL 10 DE MARZO)

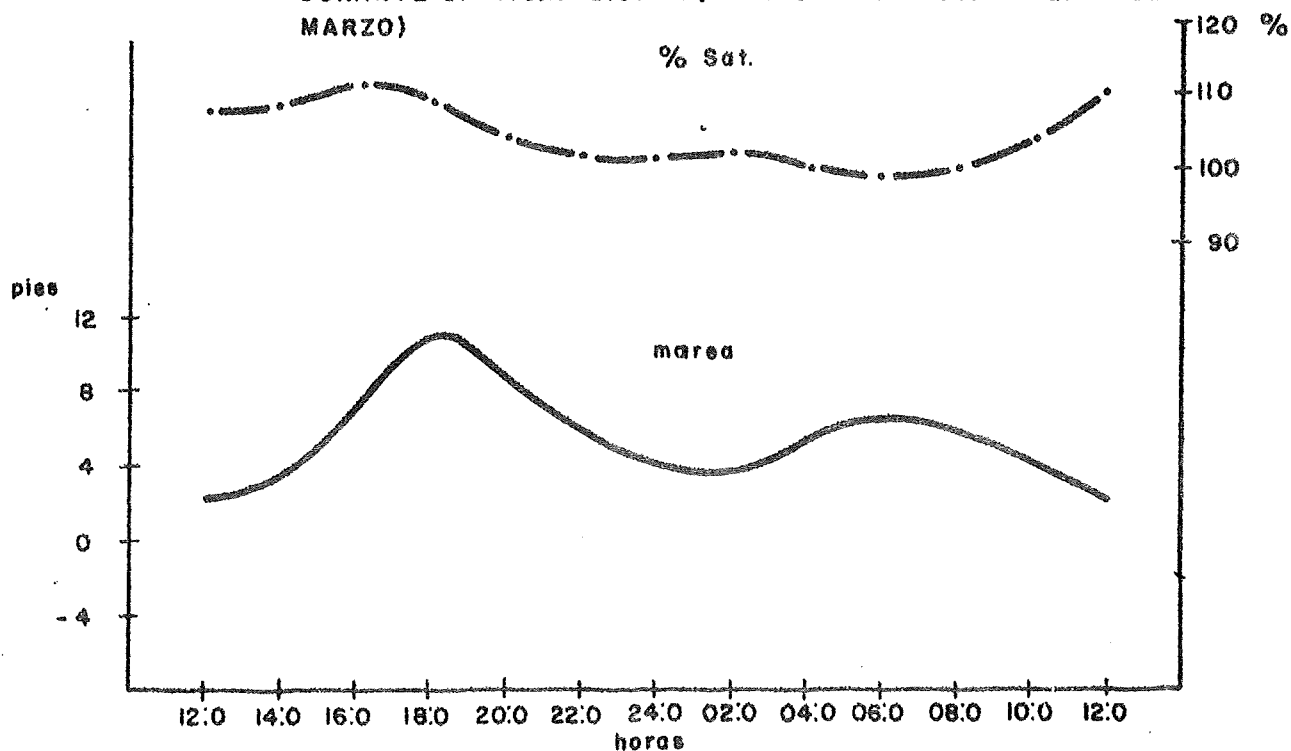


FIG.53.— VARIACION DEL % DE SATURACION DE  $O_2$  Y ALTURA DE MAREA DURANTE UN CICLO DIURNO (12:00 DEL 23 A LAS 12:00 DEL 24 DE MAYO)

producida por la planta, se hacía necesario contar con una mejor información oceanológica del área. Al no contar con los datos necesarios, Matthews y Rosenberg (1969) mencionaron que para predecir el impacto de un afluente de alta salinidad y temperatura, producida por la planta, se hacía necesario contar con una mejor información oceanológica del área. Al no contar con los datos necesarios, Matthews y Rosenberg (1969) asumieron que la salinidad del Alto Golfo de California era invariable en el tiempo y el espacio y su valor era la media de las registradas en Puerto Peñasco, Son. En base a esto construyeron un modelo hidráulico para predecir el efecto de las aguas de desecho de la planta nuclear, con alta salinidad y temperatura, en la hidrología del Alto Golfo. Los resultados obtenidos por Matthews y Rosenberg (1969) pueden mejorarse mucho si se aplican las distribuciones espaciales de salinidad y temperatura que hemos encontrado en los cruceros, en lugar de asumir valores constantes. Este propósito estaba fuera del alcance de los objetivos de esta tesis.

## V. CONCLUSIONES.

Existe una gran variabilidad en las condiciones hidrológicas del Alto Golfo de California. Con temperatura superficial mínima, registrada en Diciembre, de  $8.25^{\circ}\text{C}$ . y temperatura máxima registrada en Agosto, de  $32.58^{\circ}\text{C}$ . Con salinidad superficial mínima, registrada en Octubre, de  $35.28\text{‰}$  y salinidad máxima, registrada en Julio, de  $41.00\text{‰}$ .

No existe ningún aporte significativo de agua dulce del Río Colorado. Esto está demostrado por las elevadas salinidades registradas en lo que fuera la boca del río; con excepción de los días en que se registra una precipitación pluvial local relativamente considerable, lo cual sucede muy pocos días al año. Por lo anterior, se presenta una situación antiestuarina en el Alto Golfo la mayor parte del año.

El gradiente superficial de temperatura sufre reversiones al principio de primavera y otoño, debido al ciclo anual de

la irradiación solar y la temperatura atmosférica. Sin embargo, la salinidad mantiene en general el mismo gradiente con los valores aumentando hacia el noroeste.

La distribución superficial de las diferentes propiedades indica una circulación neta, sin considerar el flujo y reflujo de las mareas, rotatoria en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Esto se corrobora con la distribución de partículas en suspensión, mostrada por fotografías del satélite ERTS-I.

Los aportes de contaminantes por vía hidráulica, que provengan del sistema del delta del Río Colorado, afectan más a la zona cercana a la costa de Baja California que a la cercana a Sonora, debido al tipo de circulación mencionada anteriormente. Sin embargo, estos aportes deben ser mucho menores que los que se producen por vía eólica, debido a que sólo se realizan cuando se registra una precipitación pluvial lo suficientemente considerable para que haya un flujo de agua dulce significativo del sistema del delta del Alto Golfo.

## VI. BIBLIOGRAFIA.

División Ensenada. Dirección de Hidrología, Secretaría de Recursos Hidráulicos. Reporte de datos meteorológicos (no publicados).

Defant, A. 1961. Physical Oceanography, Vol. 2 New York, Pergamon Press.

Green, C.R. 1969. Meteorological conditions. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dept. Int., Res. and Dev. Prog. Rep. No 387

Green, P. 1969. Physical hidrology of coastal lagoons. En: La



gunas costeras, Un Simposio. Eda. A. Ayala-Castañares y F.B. Phleger. UNAM-UNESCO, México, D.F.

Guardado Puentes, J. y O. Nuñez Esquer, 1974. Contaminación por pesticidas organoclorados. Tesis profesional conjunta, Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California, Escuela Superior de Ciencias Marinas. (En proceso de elaboración).

Matthews, J.B. 1969. Tides in the Gulf of California. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dept. Int., Res. and Dev. Prog. Rep. No 387.

Matthews, J.B., D.A. Thompson and S.R. Browning. 1967. Tide Calendar for Puerto Peñasco, México. Tucson, Ariz. Univ. of Arizona, 14.p.

Matthews, J.B. y Rosenberg D.H. 1969. Possible effects of the Brine Effluents on Salinities of Northern Gulf Waters. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dep. Int., Res. and Prog. Rep. No 387.

Meigs, P. 1963. World distribution of arid and semiarid homoclimates. En: Reviews of research on arid zone hydrology. (Maps dated 1952) UNESCO, Paris, Arid Zone Programme, 1: 203 - 210

Okuda, T. 1969. Estudio comparativo de las condiciones hidrográficas de las lagunas Unare y Tecarigua, Venezuela. En: Lagunas Costeras, Un Simposio. Eda. A. Ayala-Castañares y F.B. Phleger. UNAM-UNESCO, México, D.F.

Proudman, J. y G.W. Groves. 1965. Tides. Encyclopedia Britannica, 22: 193 - 205.

Roden, G.I. 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. En: T.H. Van Andel y G.G. Shore, Jr., Eds., Marine Geology of the Gulf of California. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Memoir 3, p. 30-58.

Rosenberg, D.H. 1969. Physical Oceanographic Features : 1)

- Distribution of temperature, Salinity and Oxygen. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dept. Int., Res. and Prog. Rep. No 387.
- Schreiber, Jr., J.F. 1969. Geographical and Geological Features. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California, U.S. Dept. Int. Res. and Prog. Rep No 387.
- Schwartzlose, R. Activities of Scripps Institution of Oceanography in the Gulf of California. CALCOFI Annual Conference, Nov. 1972 (no publicado).
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons, 1965. A practical handbook of sea water analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bull. 167. Ottawa 1968.
- Thompson, R.W. 1969. Tidal currents and general circulation. En: Environmental Impact of Brine Effluent on Gulf of California. U.S. Dept. Int., Res. and Dev. Prog. - Rep. No 387.
- Thomson, D.A. 1969. Resume of Site Visits to the El Golfo de Santa Clara Region. En: Environmental Impact of Brine Effluents on Gulf of California. U.S. Dept. Int., Res. and Dev. Prog. Rep. No 387.