

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

CARACTERISTICAS DE LAS AREAS DE SURGENCIA EN LAS AGUAS

ADYACENTES A LA BAHIA DE TODOS SANTOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N O L O G O

PRESENTA:

ALBERTO AMADOR BUENROSTRO

A Elvia, a mis padres y hermanos . . .

AGRADECIMIENTOS

Hago presente mi agradecimiento al Sr. M. en C. Luis Gustavo Alvarez, por sus valiosos consejos como director de tesis; a la Srita. Oceanólogo Ma. Luisa Argote Espinoza, por su ayuda y orientación en la realización del presente trabajo; así mismo al Sr. Oceanólogo Katsuo - Nishikawa Kinomura, por las facilidades que me otorgó para la realización de este estudio; al Sr. Dr. Niels Christensen por sus valiosas -- sugerencias y críticas; a la Srita. Carolina Morales por su ayuda en -- la revisión del manuscrito.

De la misma manera quiero agradecer a todos los maestros, -- compañeros y demás personas que me brindaron apoyo en la realización -- de este trabajo.

C O N T E N I D O

	Página
RESUMEN	1
CAPITULO I.- INTRODUCCION	2
Antecedentes	2
Algunos de los efectos principales que las surgencias causan en el medio.	7
Descripción del area de estudio.	9
Método	11
Material	13
CAPITULO II.- RESULTADOS.	16
Distribución horizontal de temperaturas.	16
Distribución vertical de temperaturas.	20
Distribución horizontal de salinidad	20
Distribución vertical de salinidad	24
Distribución horizontal de Sigma-t	31
Distribución vertical de Sigma-t	35
CAPITULO III.- DISCUSION.	40
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES.	47
BIBLIOGRAFIA.	48

RESUMEN

Durante los últimos días del mes de Abril de 1971, se realizaron tres cruceros de medición de temperatura superficial en la zona exterior a la bahía de Todos Santos, desde las islas del mismo nombre hasta Punta Colnett; en estos cruceros fueron evidentes varias zonas de surgencia, principalmente en las Islas de Todos Santos, Punta Banda, Punta Santo Tomás, Punta San José y en Punta Colnett.

Posteriormente se efectuó un crucero el 5 de Mayo de 1971, el cual abarcó desde las islas Todos Santos hasta Punta Santo Tomás, con estaciones hasta 45 km. fuera de la costa. En este crucero se llevaron a cabo mediciones de temperatura, y salinidad hasta 100 metros de profundidad y se tomaron además datos meteorológicos.

De los resultados del crucero se observó la actividad de una surgencia, la cual presentó un frente orientado hacia el NNW, localizado a dos km. de las islas y a poco más de siete de Punta Banda y Punta Santo Tomás.

La influencia de esta surgencia se detectó hasta 25 km. fuera de la costa y a más de 75 metros de profundidad.

I N T R O D U C C I O N

I. ANTECEDENTES.

El mar se ve constantemente afectado con movimientos que pueden ser desde la translación de grandes masas oceánicas hasta las pequeñas oscilaciones microscópicas de una partícula de agua, todos estos movimientos contribuyen en mayor o menor grado a establecer una distribución dada de los parámetros característicos del agua del mar.

Uno de los movimientos de las aguas oceánicas es el de ascenso de aguas subsuperficiales, que viene a cambiar las características de las capas superiores del océano. Este fenómeno llamado surgencia o afloramiento ha sido conspicuo desde varios siglos atrás, debido a que se manifiesta como una anomalía de temperatura, la cual es más baja que en el área circundante.

Las primeras explicaciones que se dieron de este fenómeno, fueron de que las aguas de bajas temperaturas provenían de latitudes más altas. No fué sino hasta 1844 cuando Detessan (de Smith, 1968) explicó la existencia de aguas frías frente a las costas del Perú, debido a un fenómeno de surgencias. En estudios posteriores Witte (1880 de Smith, 1968) asume que la razón de una surgencia puede ser debida al efecto de rotación de la tierra en una corriente meridional, o bien al efecto friccional del viento sobre la superficie del mar cuando éste sopla mar adentro.

Es durante el presente siglo cuando se han puesto las bases para un mejor entendimiento del proceso de surgencias. La principal aportación a este conocimiento ha sido la teoría de Ekman (1905), la cual proporciona los principios básicos para entender el efecto friccional del viento sobre la circulación en el océano. La teoría de Ekman establece

6

que en un océano homogéneo e infinito con condiciones de movimiento estacionarias, sobre el cual esta soplando un viento uniforme, hay un transporte neto de masa por unidad de amplitud de la superficie del océano, la cual es dirigida, en la superficie 90° hacia la derecha de la dirección en la que esta soplando el viento en el hemisferio norte.

Este transporte de masa se relaciona con la magnitud de la fuerza friccional del viento por la expresión $M = \frac{\tau}{f}$ donde M es el transporte de masa, τ es el esfuerzo friccional del viento y f es el parámetro de Coriolis (Fig. 1 (a)) (Smith, 1968). La teoría de Ekman ha sido aplicada al estudio de las surgencias con bastante éxito, principalmente por Sverdrup (1937) y por Yoshida (1955).

Después de los estudios de Ekman, ha habido importantes aportaciones al conocimiento de las surgencias, como los trabajos de Mc Ewen (1912) (de Smith, 1968) que amplió la teoría de Ekman y atribuyó las anomalías de temperatura observadas en las costas de California y Baja California a un proceso de surgencias, el cual encontró que concordaba con la teoría de Ekman (Roden G. I., 1971).

En 1937 Sverdrup hace una interpretación dinámica y heurística de la surgencia costera en California, tomando como base tres estudios hidrológicos hechos en el Sur de California, en primavera y principios de verano de 1937. Entre los datos recolectados a fines de Marzo y las correspondientes a principios de Mayo, encontraron marcadas diferencias en la distribución de las propiedades que indicaban claramente que el agua superficial había sido acarreada fuera de la costa y que ésta era sustituida por agua subsuperficial (Fig. 1 (b)).

Durante el tiempo transcurrido entre los dos cruce

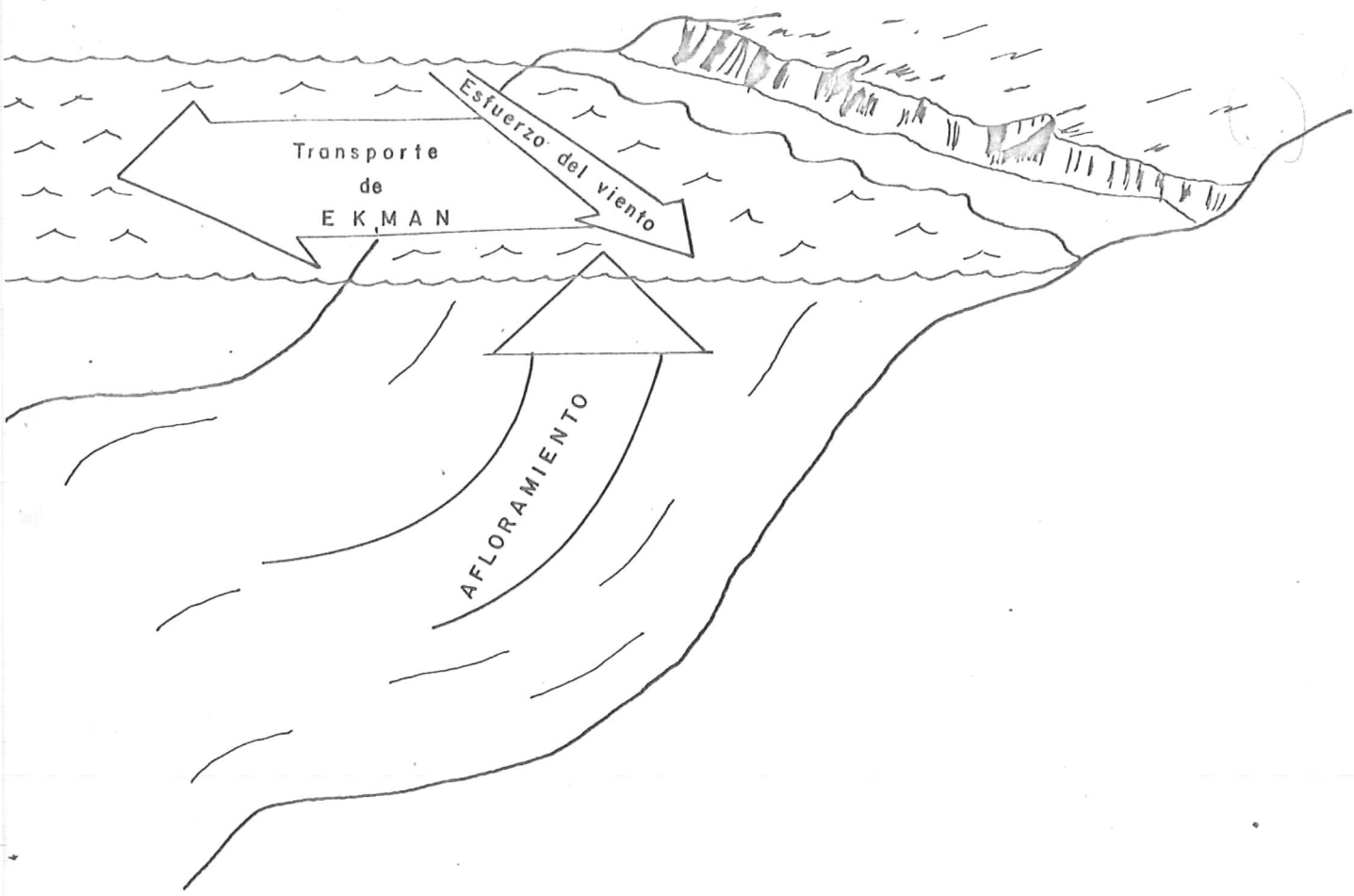


FIG.1a) REPRESENTACION HEURISTICA DE UNA SURGENCIA.

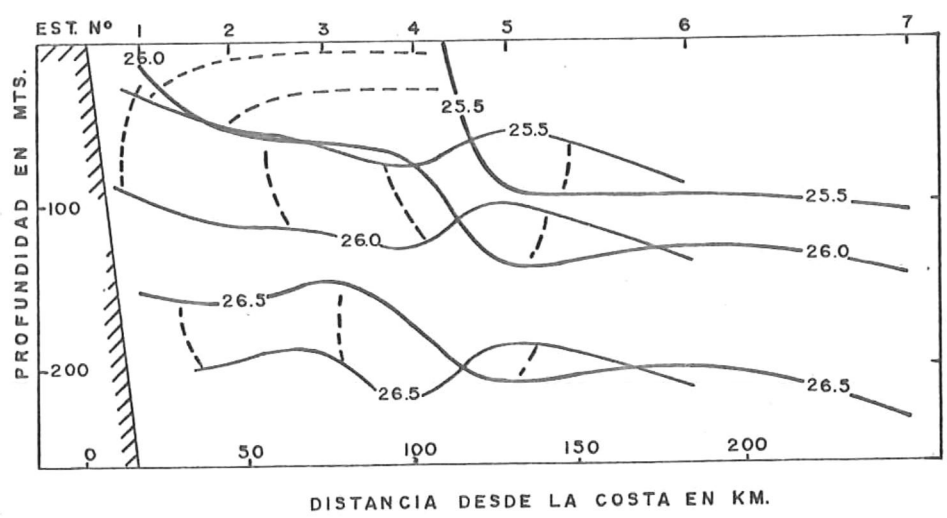


FIG.1b) SECCION VERTICAL MOSTRANDO LA DISTRIBUCION DE DENSIDAD EN LOS PRIMEROS 250 MTS. OBTENIDA EN MAYO DEL 5 AL 13 (LINEAS DELGADAS) Y EN JUNIO 22 A JULIO 2 DE 1937 (Sverdrup and Fleming 1937).

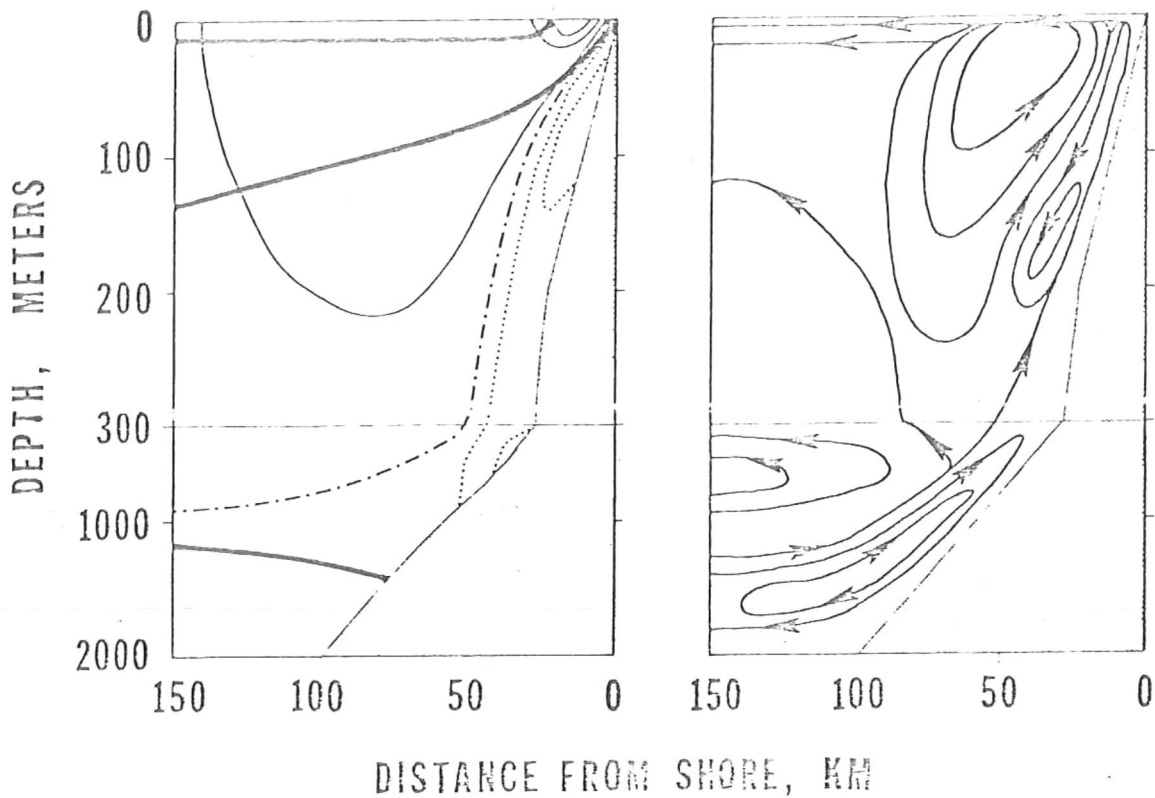


Fig. 1 (c).- Diagrama esquemático de una surgencia costera. A la izquierda en líneas gruesas tenemos isopícnas; las líneas continuas delgadas son isotermas que indican flujo hacia el ecuador; la línea de puntos y rayas marca la isotermia cero; y las líneas punteadas son isotermas de flujo hacia el norte. A la derecha se marcan las líneas de corriente perpendiculares a la costa. Nótese que a los trescientos metros hay un cambio de escala. (Tomado de Mooers, et al, 1972).

ros, el viento había tenido una gran componente del norte, - lo cual ajustaba bastante bien a la teoría de Ekman, por lo que procedió a hacer una comparación entre el transporte basado en la teoría de Ekman y el transporte inferido a partir de las diferencias en la distribución de las isolíneas en -- los dos cruceros, encontrando que ambos resultados estaban - muy cercanos.

Otras contribuciones al conocimiento de las surgencias o de las zonas de surgencia en Baja California, han sido las publicadas por Dawson (1946), quien hizo un estudio de las algas en la zona costera de Baja California, encontrando especies características de latitudes más al Norte, - sobre todo en lugares identificados como zonas de surgencias o que se suponía eran áreas de surgencia.

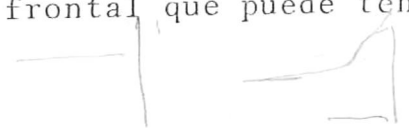
Smith, (1968), hace un resumen de los conocimientos y aportaciones que había sobre las surgencias, además de dar una descripción detallada de causas y efectos principales, así como una evaluación de las zonas de mayor actividad de afloramiento en el mundo.

Durante la última década se ha incrementado grandemente el interés por estudiar las surgencias, y se han elaborado programas en varias universidades e institutos de prestigio mundial, tendientes a buscar un mayor conocimiento de dicho fenómeno. En la Oregon State University han concentrado esfuerzos para hacer un estudio exhaustivo de la surgencia en una franja pequeña en las costas de Oregon; a este estudio se han sumado científicos de otras instituciones en un esfuerzo por resolver sistemáticamente las incógnitas que -- plantea el fenómeno en cuestión. Los resultados de estos -- experimentos han cambiado algunos de los conceptos tradicionales que se tenían sobre las surgencias. La variación temporal de una surgencia que se consideraba estacional, es -- ahora vista en una forma más cambiante, ya que si bien es du

10

rante una época del año cuando se presenta este fenómeno, se ha comprobado que su tiempo de respuesta a la acción de los vientos es del orden de horas y la duración completa de una surgencia es de varios días, todo dependiendo de la intensidad y constancia de los vientos.

El modelo simple tradicional de la surgencia, descrito anteriormente, ha tenido que cambiarse para poder explicar los resultados encontrados en los estudios hidrológicos y sobre todo en los estudios del campo de velocidades de una zona de surgencia. Este modelo descrito por Mooers y colaboradores (1972), describe una capa frontal definida arbitrariamente entre los valores de $\sigma-T$ de 25.5 a 26.0, ésta permanece más o menos horizontal en la época que no hay surgencias, pero en la estación de surgencias, esta capa que a 200 Km. de la costa se encuentra a 150 m. de profundidad, tiene una pendiente que hace que a 30 Km. de la costa se encuentra sólo a 80 metros de profundidad, siguiendo con esa pendiente hasta la costa o incrementándola grandemente durante surgencias fuertes, llegando a intersectar la superficie del mar formando una zona frontal que puede tener hasta 10 Km. de amplitud.



La capa frontal basada en la distribución de densidades separa la zona de surgencias en dos celdas, una superior que se encuentra sobre la capa y otra inferior debajo de ella. La distribución de velocidades en este modelo esta representada en la figura 1 (c) y es como sigue: El flujo a lo largo de la costa sobre la capa frontal es mayormente hacia el sur con un núcleo de altas velocidades en la zona frontal; bajo la capa frontal, el flujo es predominante hacia el norte sobre todo en la plataforma continental, teniendo también un núcleo de altas velocidades, pero menor que el superficial, el cual se encuentra en el declive continental, el flujo en dirección perpendicular a la costa es hacia afuera en la superficie y hacia la costa en la parte superior de

11

la capa frontal, debajo de la capa frontal el flujo es hacia fuera de la costa, justo debajo de la capa y hacia la costa - en la parte inferior de esta celda.

La clasificación de las surgencias hecha por Reid (1967) que es hasta hoy la más aceptada, nos da las siguientes clases:

3 } Surgencias Locales.- Esta es de pequeña escala y -- limitada a unos pocos metros superficiales y ocurre generalmente a lo largo de cualquier costa irregular cuando los vientos son apropiados. Sus efectos son de corto período y están asociados con topografía compleja, además de no ser necesariamente dependientes de la fuerza de Coriolis.

Surgencias Costeras.- Son el resultado de la acción combinada de dos fuerzas, la primera es la fuerza friccional del viento cuando éste sopla paralelo en esa dirección y la segunda es la fuerza de Coriolis cuando ésta va dirigida hacia fuera de la costa (Fig. 1).

Surgencias Oceánicas.- Son divergencias en la superficie del océano, causadas por diferencias o variaciones en la fuerza friccional del viento.

Surgencias Ecuatoriales.- Los vientos alisios que soplan casi del este en la región cercana al ecuador, originan un transporte de Ekman hacia ambos lados del ecuador, lo que origina una divergencia que motiva una surgencia ecuatorial.

Surgencia causada por la circulación general del océano en zonas de movimiento ciclónico.- Son movimientos verticales del agua de mar, resultantes del movimiento ciclónico de la circulación de los océanos, causada por el viento en el flujo geostrofico.

Además de los trabajos de Mc Ewen (1912) (de Smith, 1968), Dawson (1946), en los que se hace referencia a zonas de surgencia en la costa occidental de Baja California, ha habido otros como el de Roden (1971), en el que hace una descripción de la variación estacional 1969-70 del transporte de Ekman en todo el noroeste de México. Estan también los trabajos de Bakun (1973-75), en los que hace un análisis de los índices de surgencia, basado en el transporte de Ekman de toda la costa Oeste, desde Baja California y los Estados Unidos hasta Alaska durante los años 1946-73.

Estos trabajos anteriores han sido a muy grande escala, pues el transporte de Ekman ha sido integrado en franjas de varios cientos de millas de longitud. Estudios a pequeña escala en el área de Punta Banda o en aguas adyacentes a la Bahía de Todos Santos, sólo se han hecho últimamente, como el realizado por Cota (1971), en el que hace un análisis de algunos parámetros químicos en la zona adyacente a Punta Banda e Islas Todos Santos, durante un período activo de la surgencia de Punta Banda (trabajo de tesis). Además, Chávez (1975), analiza algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974 en la zona de Punta Banda. Otro estudio de gran importancia ha sido el realizado por Hubbs (1948-62), que consiste en datos de temperatura costera desde La Jolla hasta Punta Eugenia, la cual fué tomada mensualmente durante 20 años y que pone en evidencia varias zonas de surgencia, asociadas a puntas salientes topográficas, como Punta Banda, que es donde registró las más fuertes anomalías de temperatura.

II. ALGUNOS DE LOS EFECTOS PRINCIPALES QUE LAS SURGENCIAS CAUSAN EN EL MEDIO.

El fenómeno de surgencia viene acompañado de una serie de efectos que alteran notablemente las características de la zona del océano y de la atmósfera, ligadas al área

donde se desarrolla la surgencia. Debido a que un afloramiento es esencialmente un desplazamiento vertical de aguas subsuperficiales, es de suponerse que estas aguas traigan consigo características que vienen a cambiar la naturaleza de las aguas superficiales. Analizando el comportamiento de varios parámetros del agua de mar en una zona de surgencia, podemos intuir la magnitud de la influencia que este fenómeno tiene sobre el medio ambiente de los organismos marinos. En forma general la temperatura del océano disminuye con la profundidad; esto hace que las zonas de surgencia se caractericen -- por áreas de agua de más baja temperatura, en comparación -- con las aguas adyacentes (Smith, 1968). En aguas de la corriente de California, la salinidad es baja en la superficie y, en general aumenta con la profundidad, por lo que en las zonas de surgencia de esta corriente la salinidad es más alta que en las áreas circundantes.

Otro de los efectos causados por el fenómeno de surgencia es la fertilización de las aguas superficiales con aportes de agua profunda más rica en nutrientes. Esto es de gran importancia, ya que el fitoplankton no puede utilizar los nutrientes que se encuentran bajo la zona fótica, por eso cuando hay aportes de aguas ricas en minerales utilizables en la fotosíntesis, el fitoplankton aumenta grandemente.

El gran incremento que sufre el fitoplankton debido al fenómeno de surgencias es tan importante que por estimaciones hechas por Ryther's (1969), sugieren que a pesar de que las zonas de afloramiento comprenden apenas el 0.1% de la superficie del océano, pueden generar la mitad de la producción total de peces en el mundo.

Lo anterior se puede inferir observando que las principales zonas de surgencia son también zonas de grandes pesquerías, como las costas de Perú, California, etc.

La surgencia influye en las condiciones meteoroló-

Blobo

gicas, por la presencia de aguas más frías que en el área --
 circundante, lo que origina un descenso de la temperatura --
 ambiente y un incremento en la humedad relativa; es por eso --
 que en las zonas de surgencias sean comunes los días con --
 niebla o nubes bajas. Las bajas temperaturas del aire en --
 épocas de surgencia son notables aún cuando se encuentren en --
 áreas de corrientes con frontera Este (corrientes generalmen --
 te frías), ya que si se hacen comparaciones de la variación --
 de temperatura anual, se encuentra que en las zonas de sur --
 gencia como San Francisco, California, las temperaturas más --
 bajas son observadas en Abril y Mayo que coincide con la ma --
 yor actividad de la surgencia y que las mayores temperaturas --
 se registran hasta Septiembre, después de que la surgencia --
 ha cesado; en cambio en Sacramento, que se encuentra 110 mi --
 llas tierra adentro y en la misma latitud que San Francisco, --
 las temperaturas más altas se registran en Julio (Sverdrup, --
 1943).

Otro efecto que las zonas de surgencia tienen en --
 el clima de una región, es un incremento de las brisas mari --
 nas, debido a que aumenta la diferencia de temperatura entre --
 el mar y la tierra, lo que trae consigo en mayor gradiente --
 de la presión atmosférica de tierra hacia el mar, provocando --
 una fuerza de presión horizontal de mar a tierra, lo que o --
 ccasiona una dominancia de las brisas en dirección hacia la --
 costa y un debilitamiento de las brisas hacia el mar.

III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

La zona de estudio es una franja costera que va --
 desde las Islas Todos Santos en el norte hasta Punta Santo --
 Tomás en el sur y que se extiende desde la costa hasta 45 Km. --
 mar adentro (Fig. 2).

Como se puede apreciar en la figura, la costa es --
 muy irregular, presentando en su configuración varias puntas

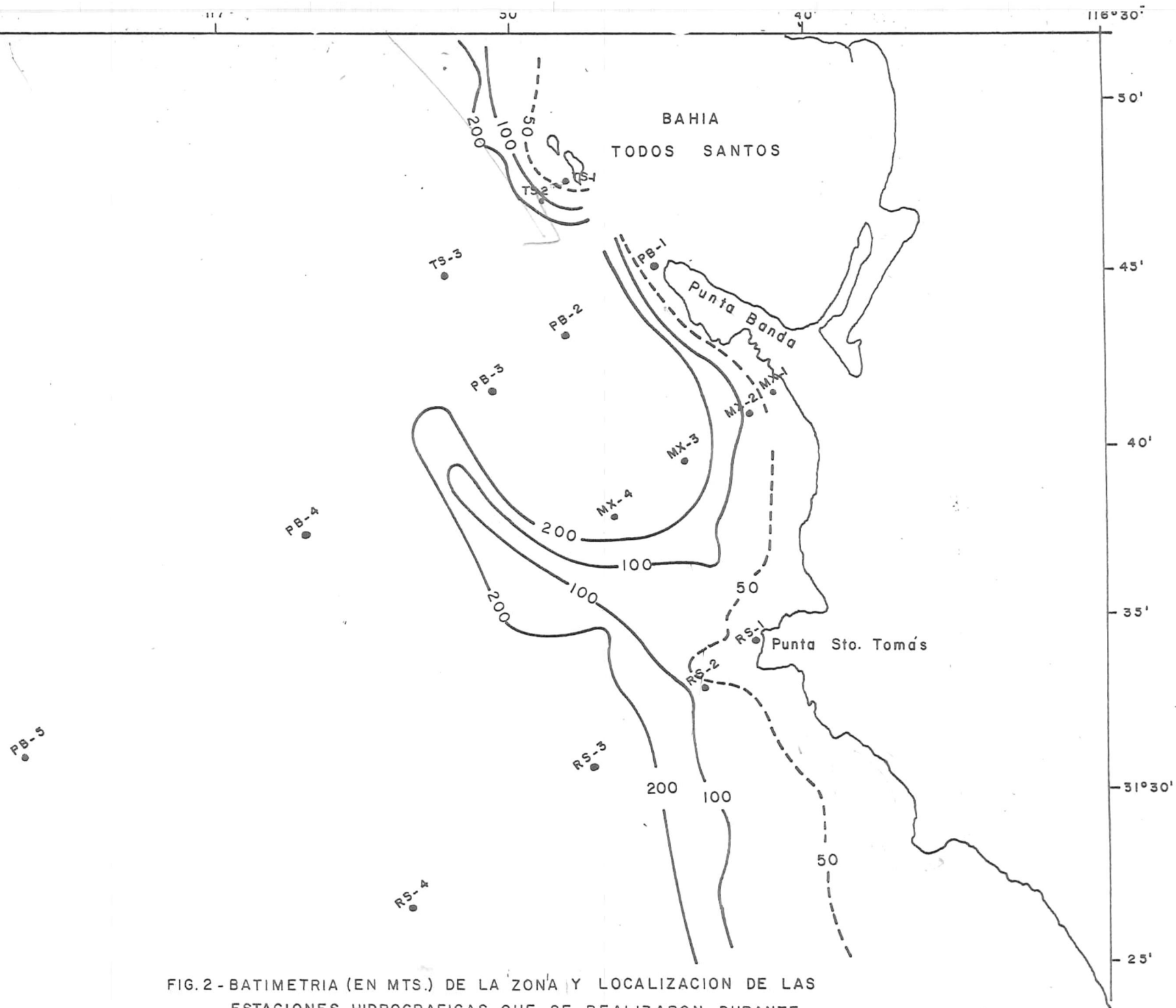


FIG.2 - BATIMETRIA (EN MTS.) DE LA ZONA Y LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES HIDROGRAFICAS QUE SE REALIZARON DURANTE

y ensenadas de diferentes dimensiones. Entre los rasgos más importantes para el estudio, destaca el que Punta Banda y las Islas Todos Santos presentan una línea con una orientación casi noroeste, separadas por un canal de cuatro Km. de ancho y más de 200 metros de profundidad en su parte central. Esta orientación de la costa es similar a la de los vientos dominantes, favoreciendo el desarrollo de surgencias.

Al sur de Punta Banda se encuentra Santo Tomás, -- que forma una saliente muy grande, la cual debe ser tomada -- en cuenta como probable zona de surgencia (Reid, 1968). Se ha encontrado que las surgencias locales están asociadas, la mayoría de las veces, a cabos o salientes topográficas. También en las surgencias costeras se ha visto que las primeras aguas afloradas se encuentran en dichas salientes.

La batimetría es también muy irregular, pero es -- posible dar dos características principales que deben ser tomadas en cuenta por el efecto que pueden tener en movimiento de surgencias. La primer característica es que tanto en las islas como en Punta Banda la pendiente batimétrica es muy -- abrupta en su lado suroeste; ésto ocasiona que a una distancia de dos Km. de la costa la profundidad sea de más de cien metros.

La segunda característica importante es que frente a Punta Santo Tomás las profundidades son mucho menores donde incluso se ve que la isobata de los 100 metros forman una C abierta hacia el noroeste, lo que puede ser una barrera -- para una corriente que alcanza más de 100 metros de profundidad, ya que en ese bajo se encuentran profundidades menores de los 100 metros en lugares alejados de la costa.

El área de estudio se encuentra dentro del sistema de la Corriente de California, que en estas latitudes tiene las siguientes características: Según Reid (1958), la co --

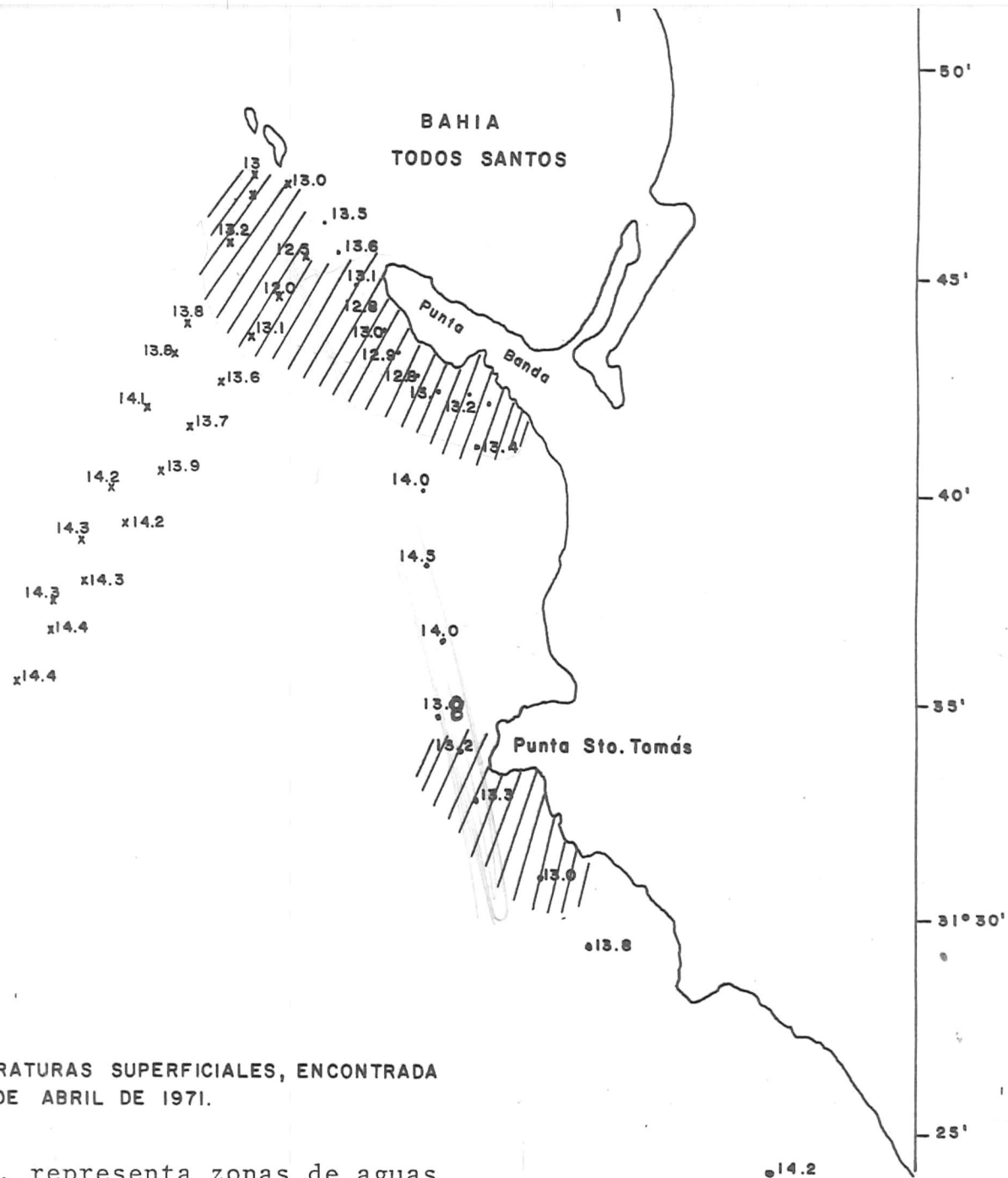


FIG. 3 - DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS SUPERFICIALES, ENCONTRADA EL 28 DE ABRIL DE 1971.

El área sombreada, representa zonas de aguas más frías.



FIG.4 - DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE TEMPERATURAS OBSERVADAS EL 5 DE MAYO 1971.

R E S U L T A D O S

I. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE TEMPERATURAS.

La distribución horizontal de temperaturas en los niveles de superficie, 10, 25 y 50 metros, se muestra en las figuras 4, 5, 6 y 7, respectivamente.

La situación de los isotermas, en diferentes niveles muestra una tendencia a presentar valores bajos cerca de la costa y valores más altos lejos de ella.

Las temperaturas mínimas se encontraron muy cerca de Punta Banda y presentaban una tendencia a fluir hacia el sur. Este carácter se nota más en los planos de superficie y de 50 m. de profundidad.

En los planos de superficie de 10 y 25 m. el gradiente que nos muestran las isotermas, casi siempre perpendicular a la costa, es más fuerte en el área frente a las islas y Punta Banda que es toda la zona restante. En cambio a los 50 m. es muy uniforme en toda el área.

Es de hacerse notar también que, en los niveles de superficie y de 10 m., se encontró un gradiente fuerte en los primeros 7 Km. y valores de temperatura casi constantes en una amplia zona después de estos fuertes gradientes. En cambio a los 25 m. de profundidad los gradientes son menos fuertes; pero se extienden desde la costa hasta los 25 Km. mar adentro, presentando después una temperatura casi constante. Este nivel es el que presenta el máximo cambio horizontal de temperaturas. A los 50 m. de profundidad el gradiente se extiende más allá de los 25 Km., es más o menos constante pero más débil que en el anterior.

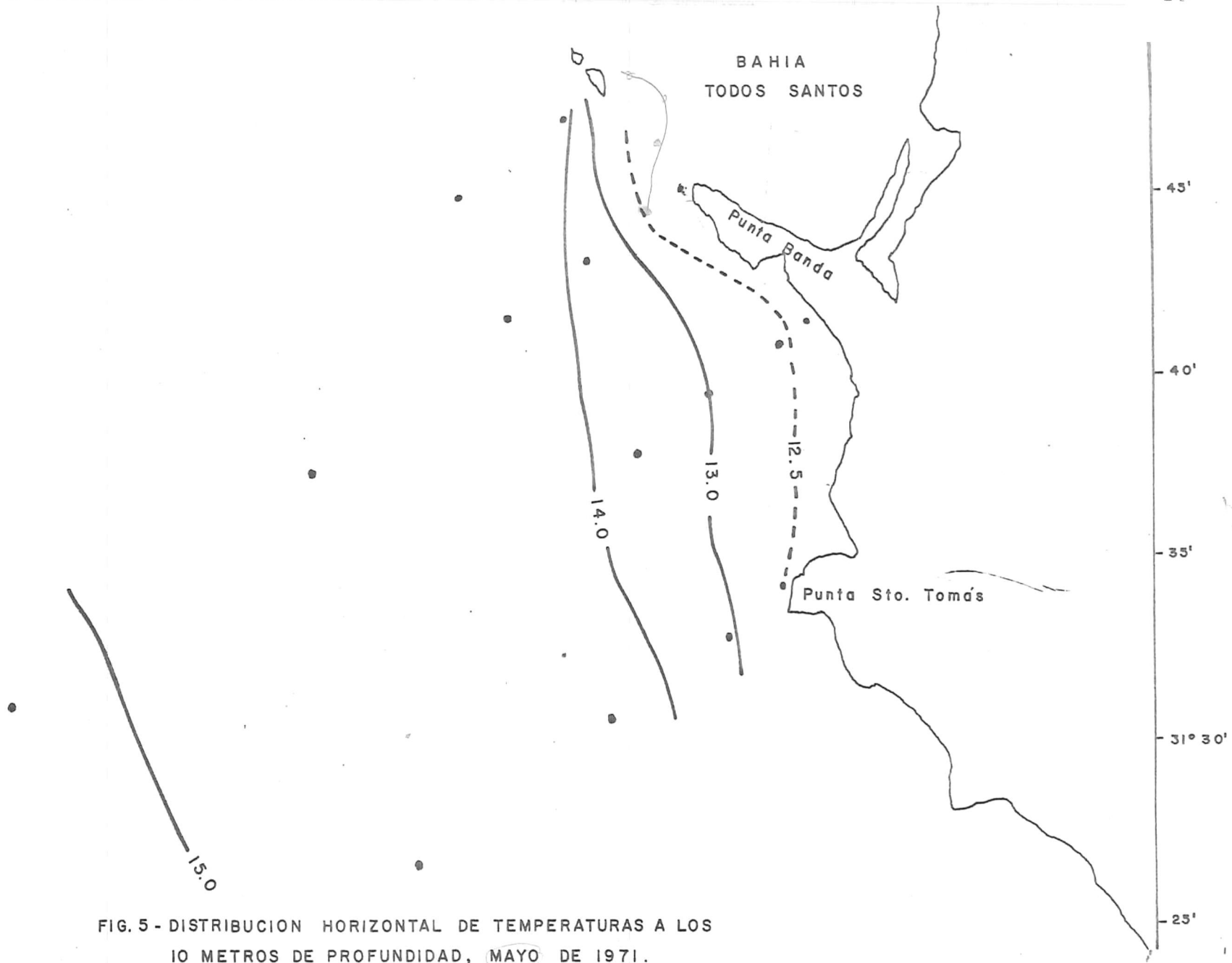


FIG. 5 - DISTRIBUCION HORIZONTAL DE TEMPERATURAS A LOS
10 METROS DE PROFUNDIDAD, MAYO DE 1971.

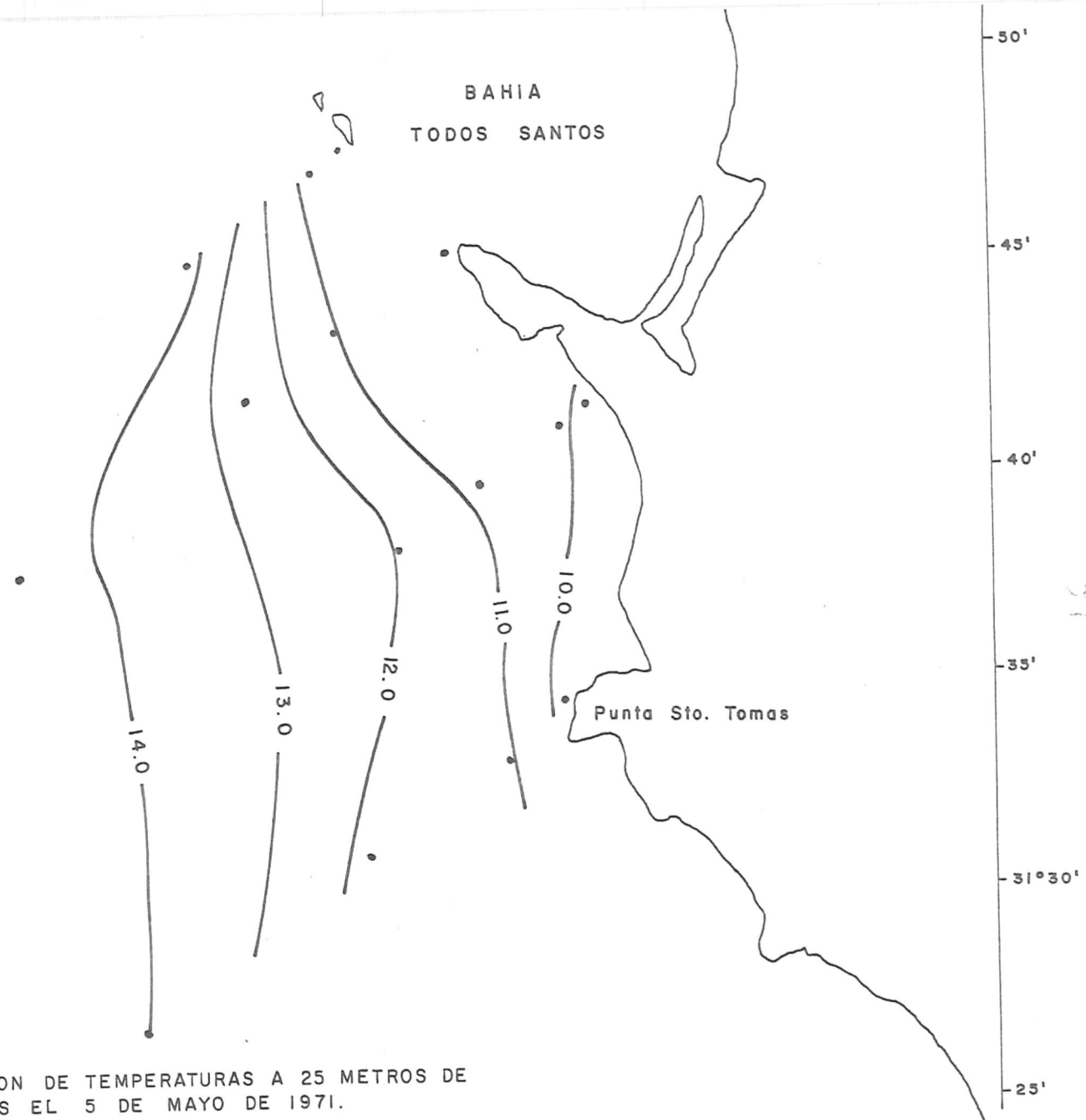


FIG.6 - PLANO DE LA DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS A 25 METROS DE PROFUNDIDAD, OBTENIDAS EL 5 DE MAYO DE 1971.

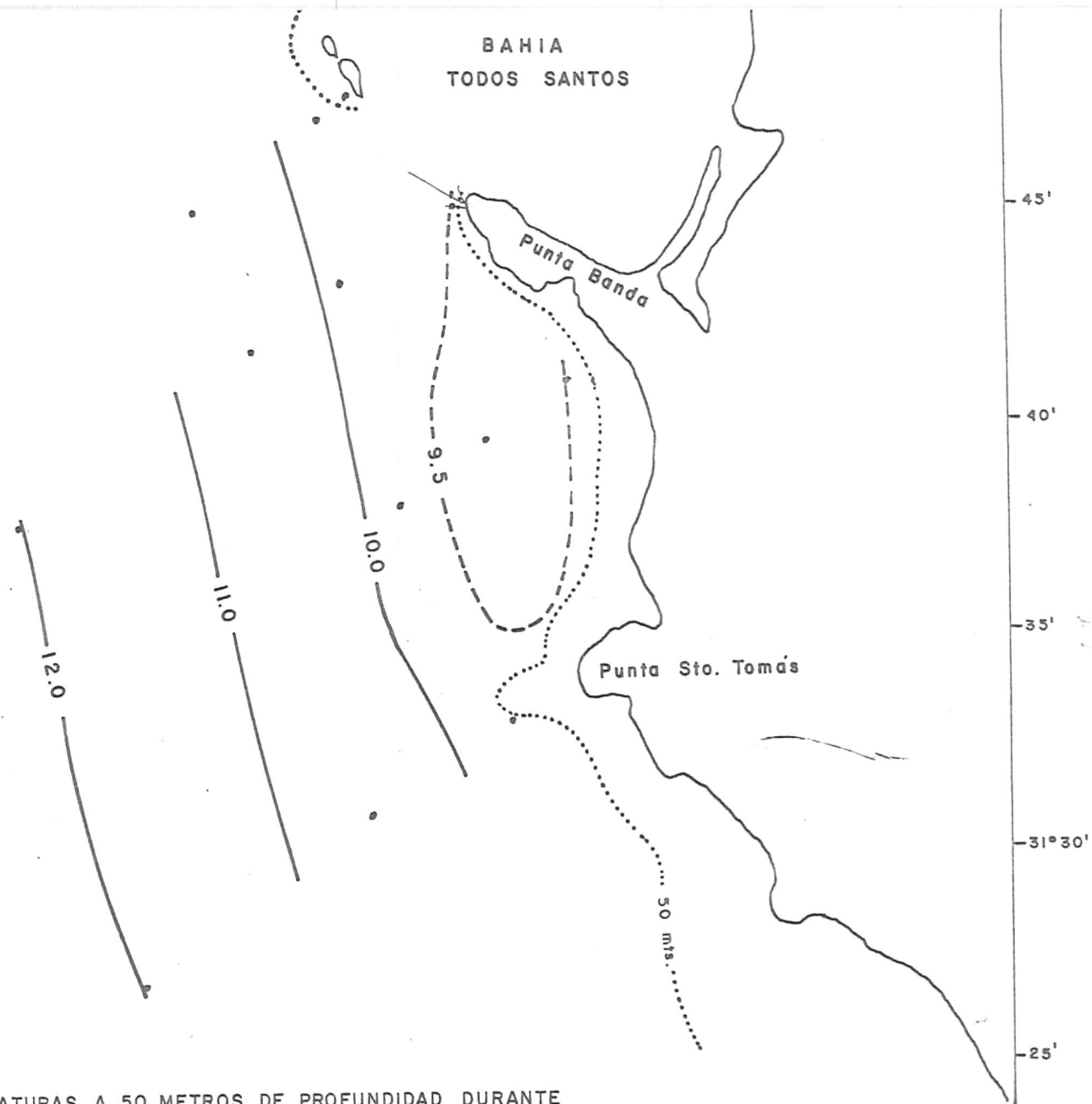


FIG. 7.- TEMPERATURAS A 50 METROS DE PROFUNDIDAD DURANTE EL CRUCERO REALIZADO EN MAYO DE 1971.

II. DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURAS.

Con los datos de temperaturas registradas durante el crucero, se hicieron también 4 secciones verticales, las cuales comprenden a cada uno de los transectos que se muestrearon (Figs. 8, 9 y 10).

Se aprecia en forma general en estas secciones, -- que las líneas de igual temperatura siguen un movimiento de ascenso conforme se acercan a la costa. Esta pendiente es -- muy suave de los 45 a los 20 Kms., pero a partir de este -- punto se hace cada vez más fuerte al irse aproximando al litoral.

Aunque todas las secciones tienen este carácter de ascenso, hay algunas diferencias entre ellas, pues mientras en la hidrolínea de Islas Todos Santos la mayor pendiente -- esta en los primeros 5 Kms., en las líneas de Punta Banda y de Punta Santo Tomás abarca los primeros 10 Kms. y en la sección de Maximinos no encontramos un área de pendientes fuertes; es más bien una pendiente muy suave en toda la sección que se muestreó.

Se encontró también en la distribución vertical de temperatura que la profundidad de la termoclina varía considerablemente con la distancia a la costa, pues mientras en las estaciones cercanas era casi superficial, en las alejadas alcanzó hasta los 40 m. de profundidad.

III. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE SALINIDAD.

En las figuras 11, 12 y 13 se muestra la distribución horizontal de salinidad en los niveles de superficie, - 15 y 25 m., respectivamente. En ellas es fácil observar que los valores más altos se encontraban cerca de la costa, mientras que los mas bajos lejos de ella.

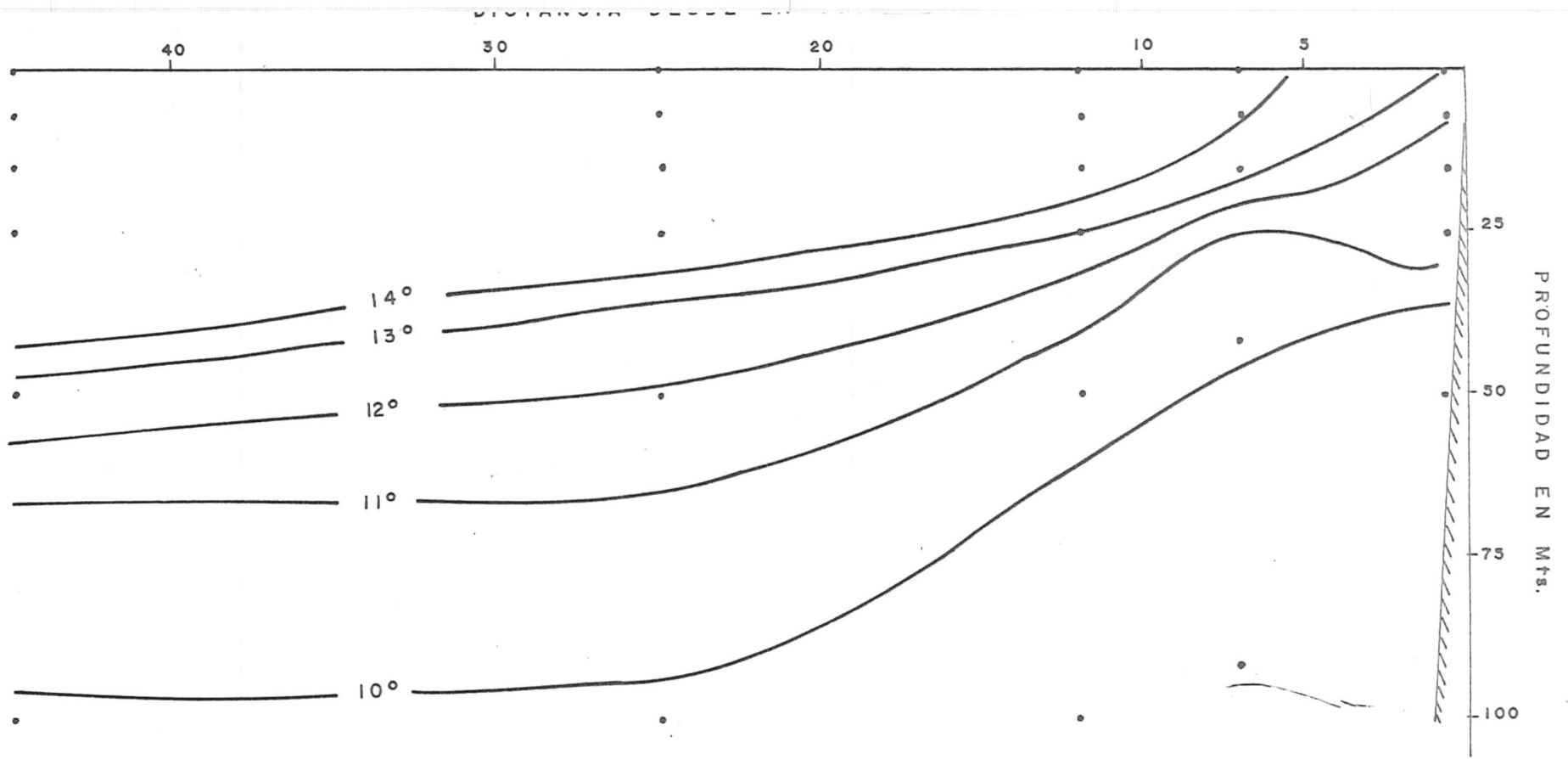


FIG. 8 - DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURAS EN LA LINEA DE PUNTA BANDA ENCONTRADAS EN EL CRUCERO REALIZADO EL 5 DE MAYO 1971.

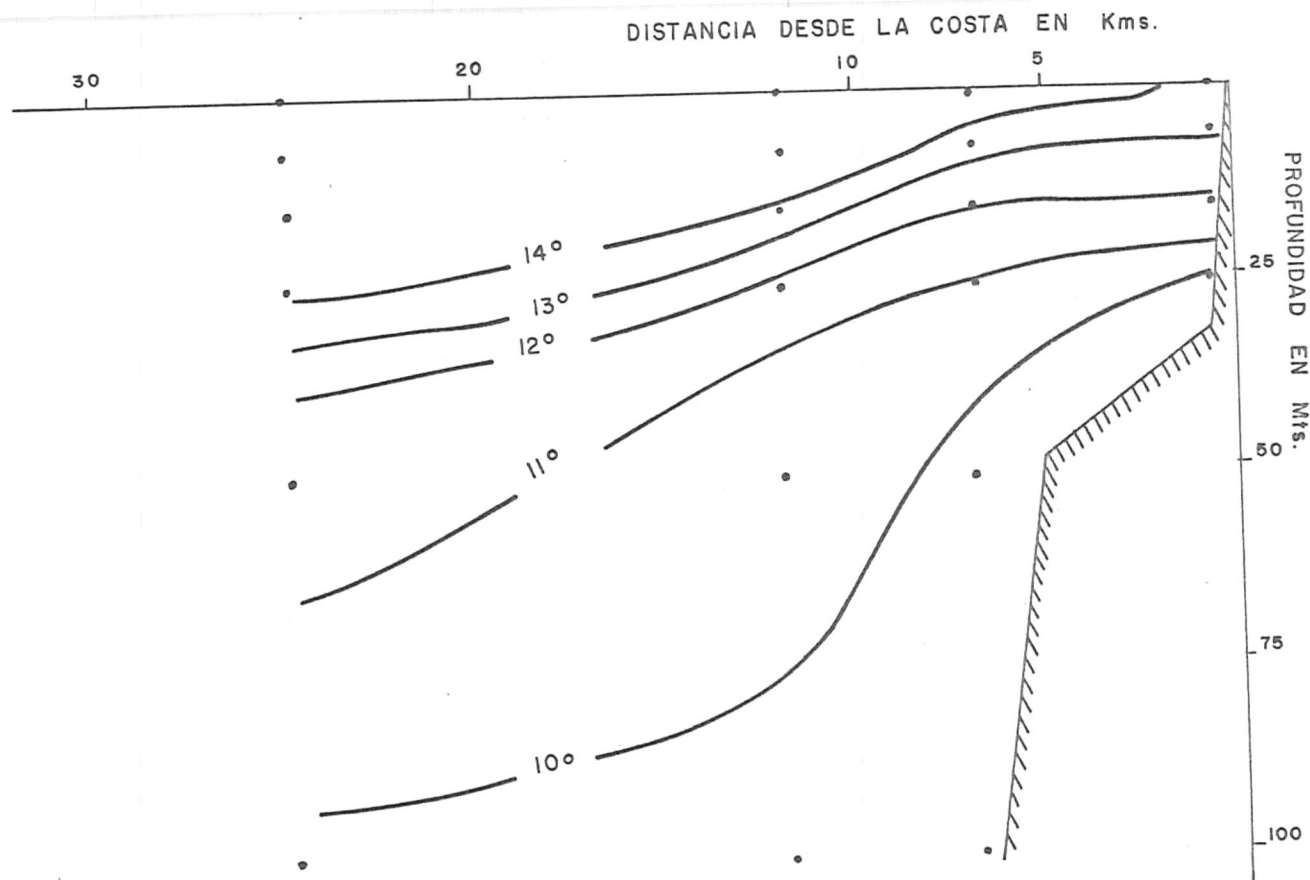


FIG. 9- SECCION VERTICAL DE TEMPERATURAS EN LA LINEA DE ROCA SOLEDAD O PUNTA SANTO TOMAS OBSERVADAS EN MAYO DE 1971.

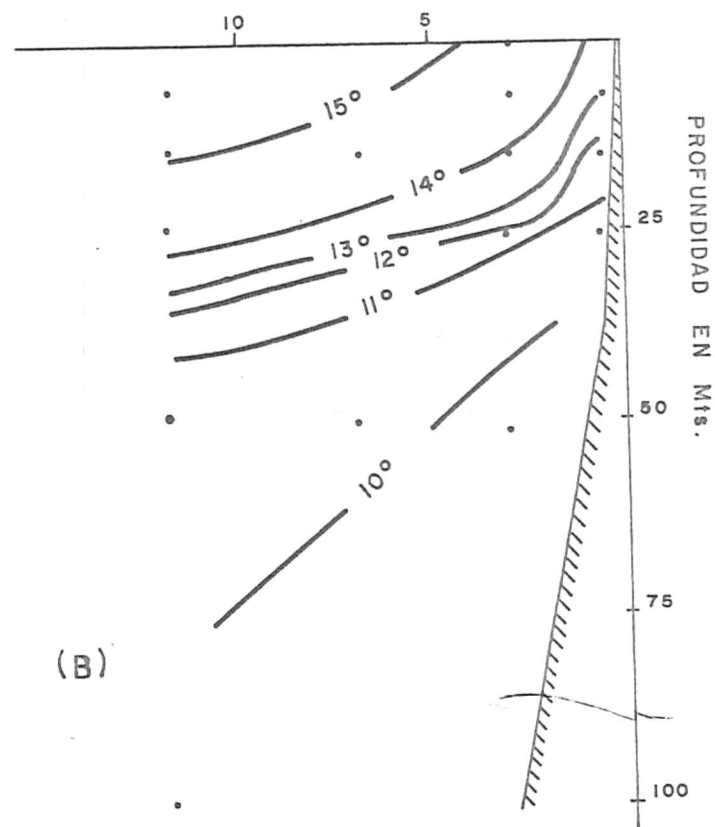
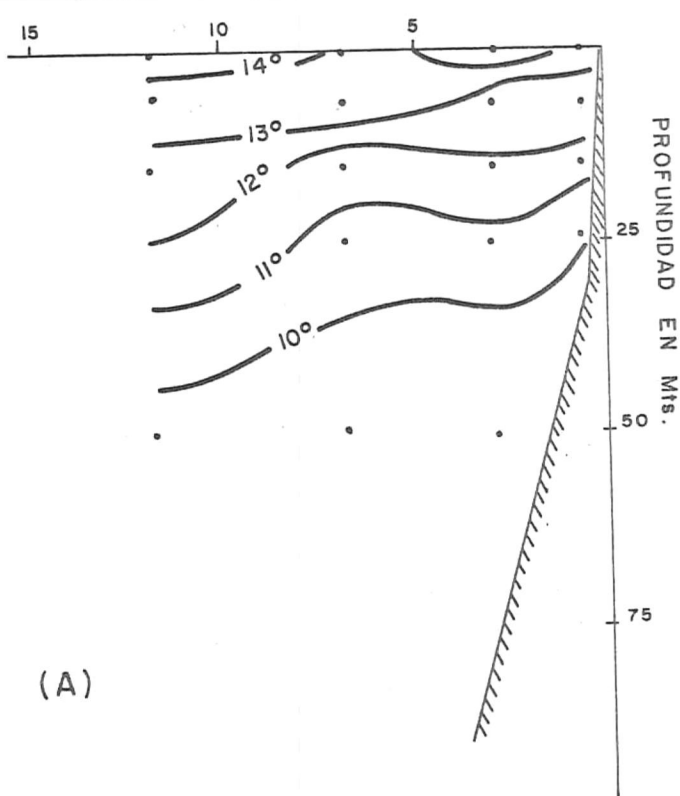


FIG.10 - DISTRIBUCION VERTICAL DE TEMPERATURAS EN LAS LINEAS DE ;
A) MAXIMINOS ; B) ISLA DE TODOS SANTOS, MUESTREADAS EN MAYO DE 1971.

Las isohalinas presentan gradientes horizontales - que son siempre positivos hacia la costa y en general tienden a ser más fuertes cerca de ella, aunque esto no sucede en toda la zona. Es en el área próxima a Santo Tomás donde tenemos el gradiente más fuerte a los 25 m. de profundidad y cerca de las Islas Todos Santos y Punta Banda se tiene también un gradiente bastante fuerte, pero en los niveles de superficie y 15 metros.

Comparando los 3 niveles se observa que el plano de 25 metros de profundidad es el que presenta el mayor cambio horizontal de salinidad y que el plano de superficie nos muestra el menor cambio, como se observa en los otros planos.

IV. DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD.

De los valores de salinidad obtenidos en el cruce-ro, se hicieron 4 perfiles verticales, uno en cada hidrolina según se ve en las figuras 14, 15 y 16.

Lo más característico que se puede observar en nuestras gráficas, es la pendiente ascendente que presentan las isohalinas hacia la costa. Esta pendiente es bastante suave entre los 45 y 25 Km., pero después al aproximarse a la costa las isolíneas ascienden más rápidamente.

Comparando el comportamiento de las isohalinas en las diferentes secciones, se puede ver que en la línea de Punta Banda, el ascenso de ellas es más marcado en los primeros 8 Km.; en cambio la línea de Punta Santo Tomás tiene su mayor pendiente entre los 5 y 11 Km. Las isolíneas en la sección de Islas Todos Santos, se comportan en forma parecida a la de Punta Banda; pero, la línea de Maximinos se comporta más irregular, ya que tiene pendiente ascendente sólo

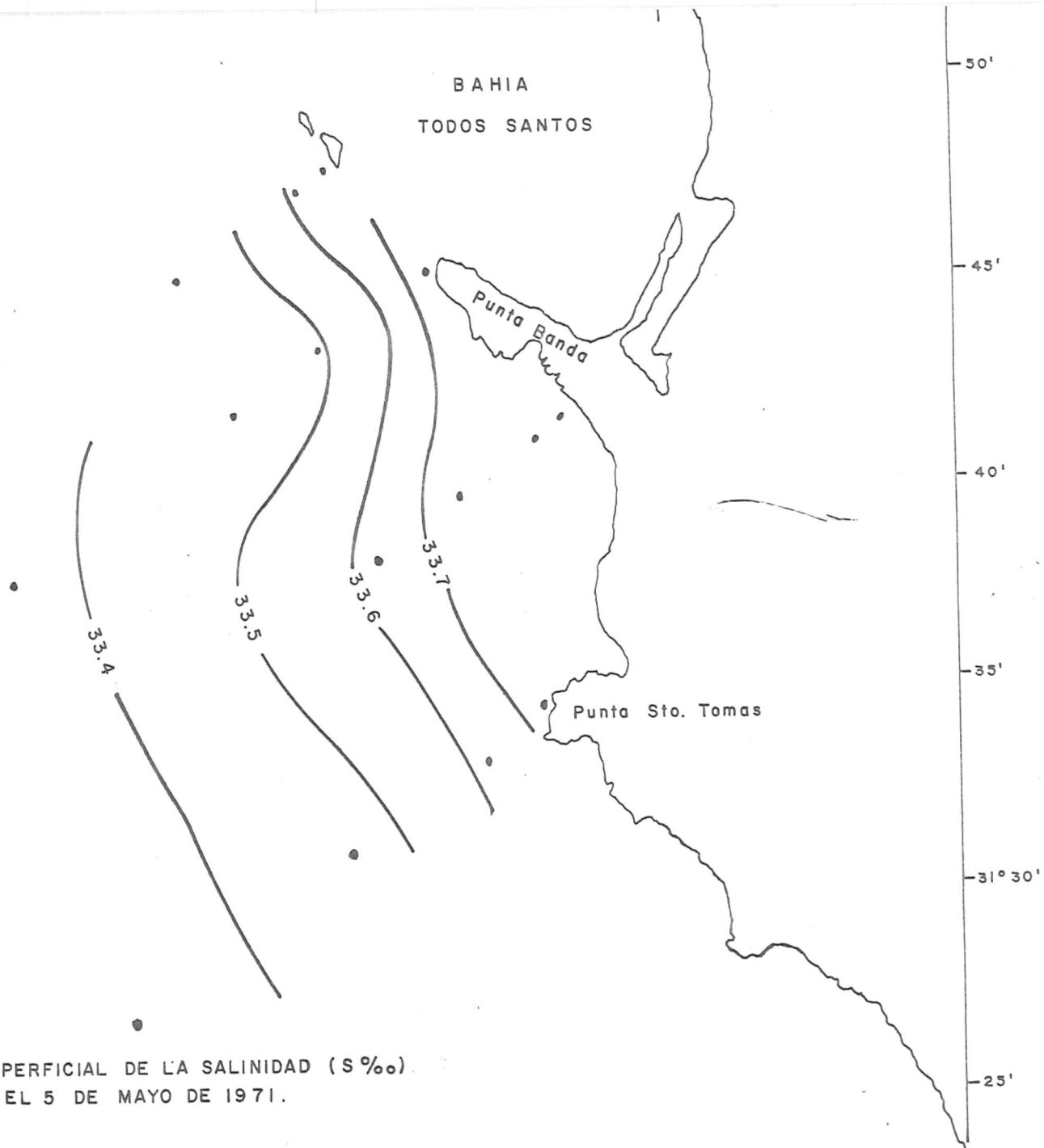


FIG. 11- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE LA SALINIDAD (S‰).
DATOS TOMADOS EL 5 DE MAYO DE 1971.

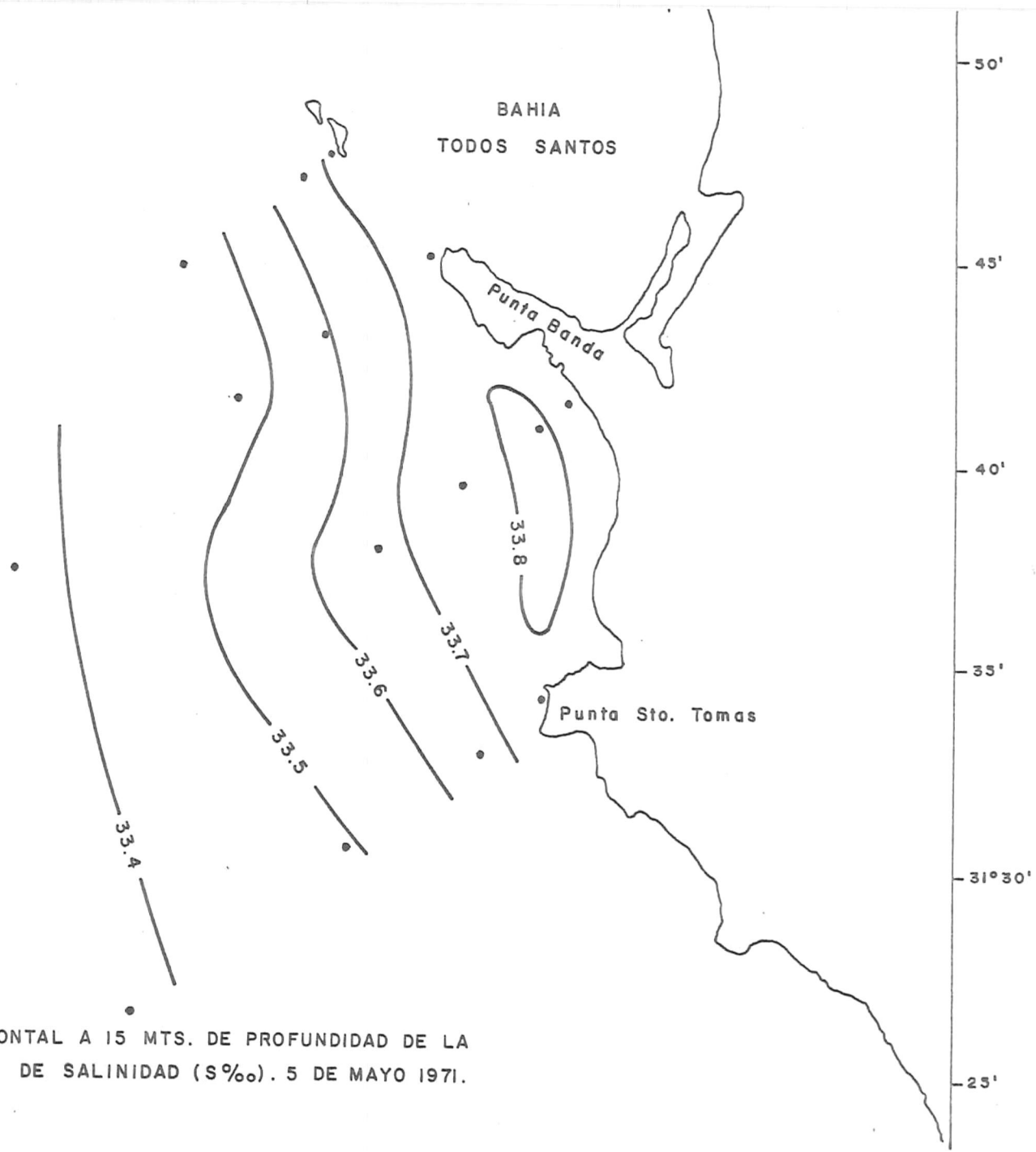


FIG. 12 - PLANO HORIZONTAL A 15 MTS. DE PROFUNDIDAD DE LA DISTRIBUCION DE SALINIDAD (S‰). 5 DE MAYO 1971.

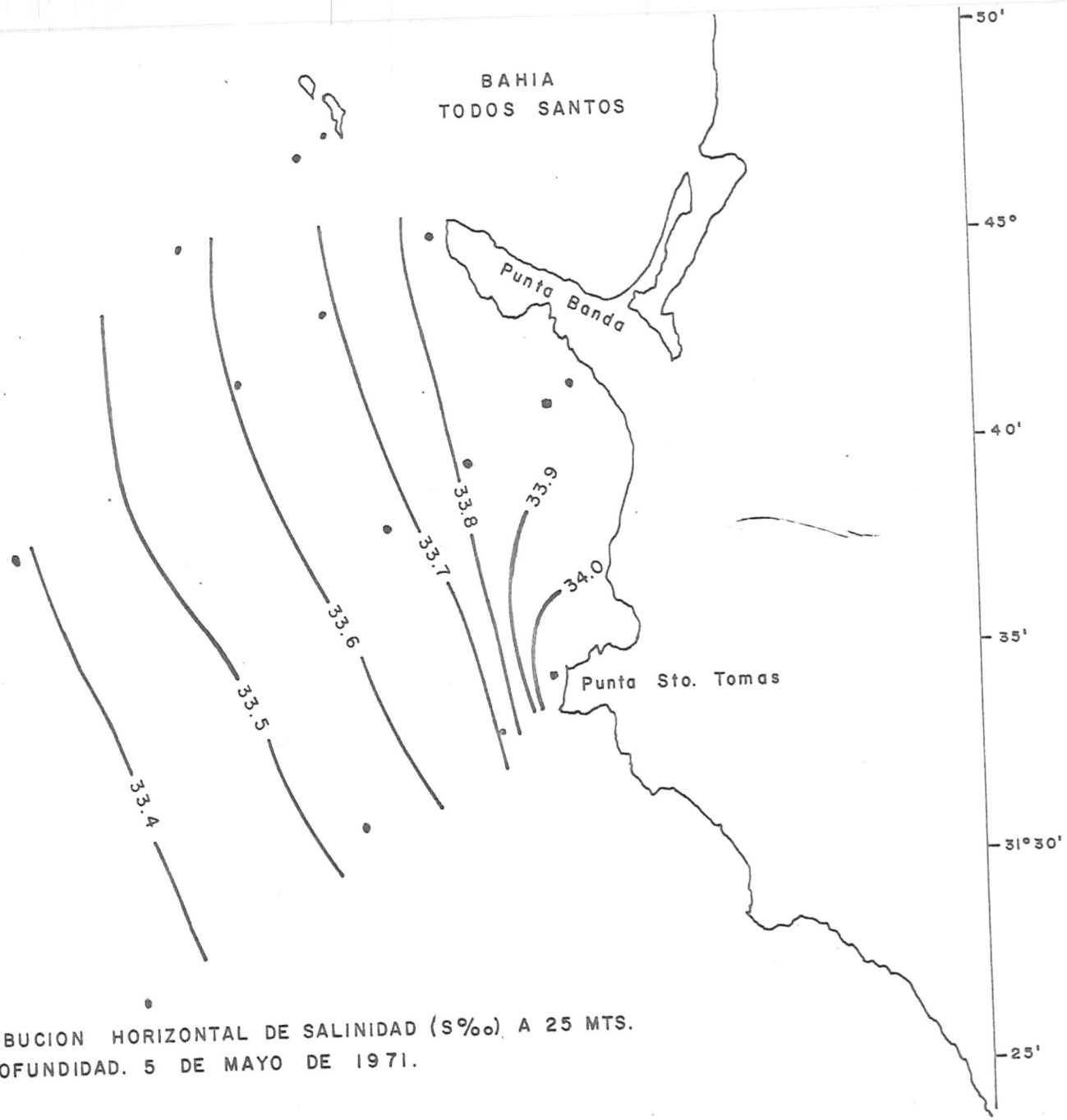


FIG. 13- DISTRIBUCION HORIZONTAL DE SALINIDAD (S‰) A 25 MTS. DE PROFUNDIDAD. 5 DE MAYO DE 1971.

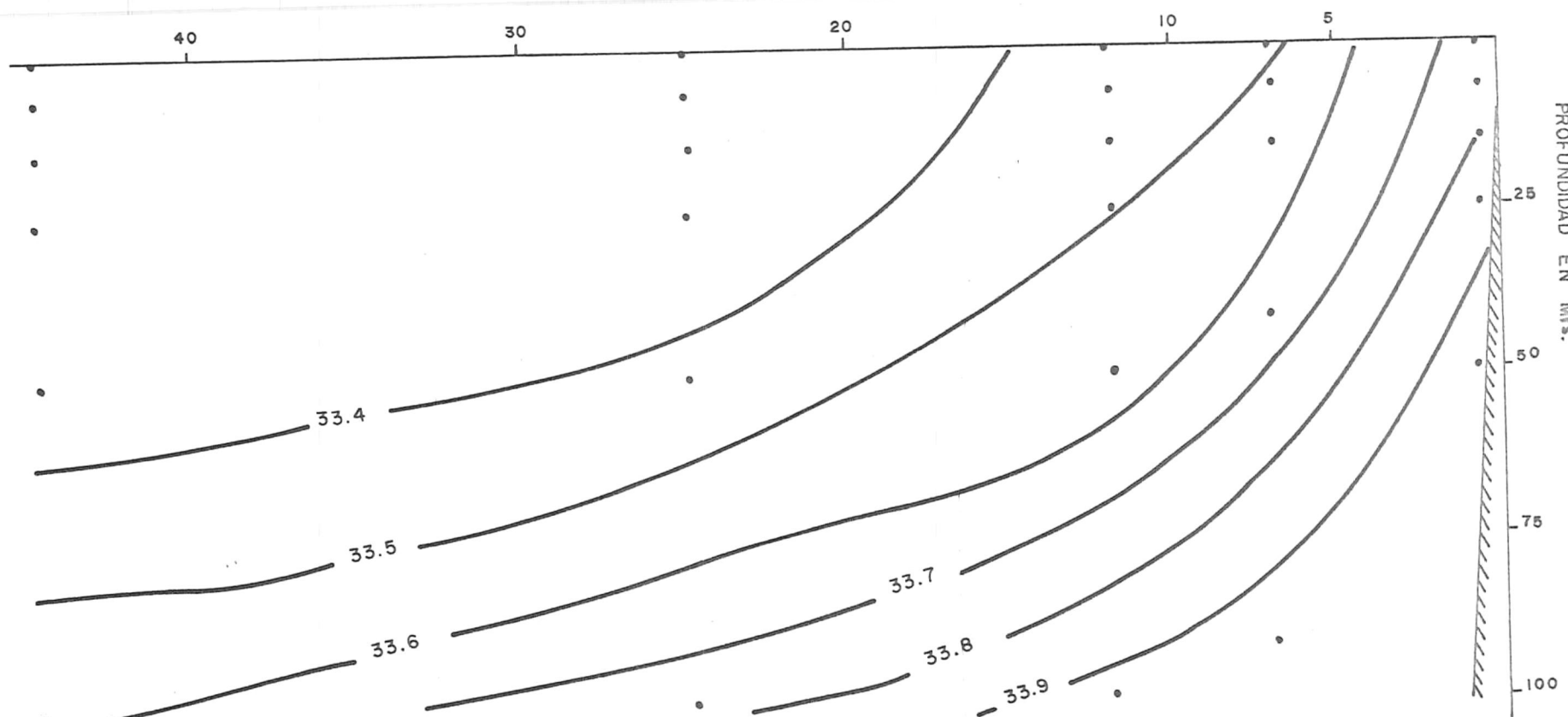


FIG.14- DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (S‰) EN EL TRANSECTO DE PUNTA BANDA, OBSERVADA EL 5 DE MAYO DE 1971.

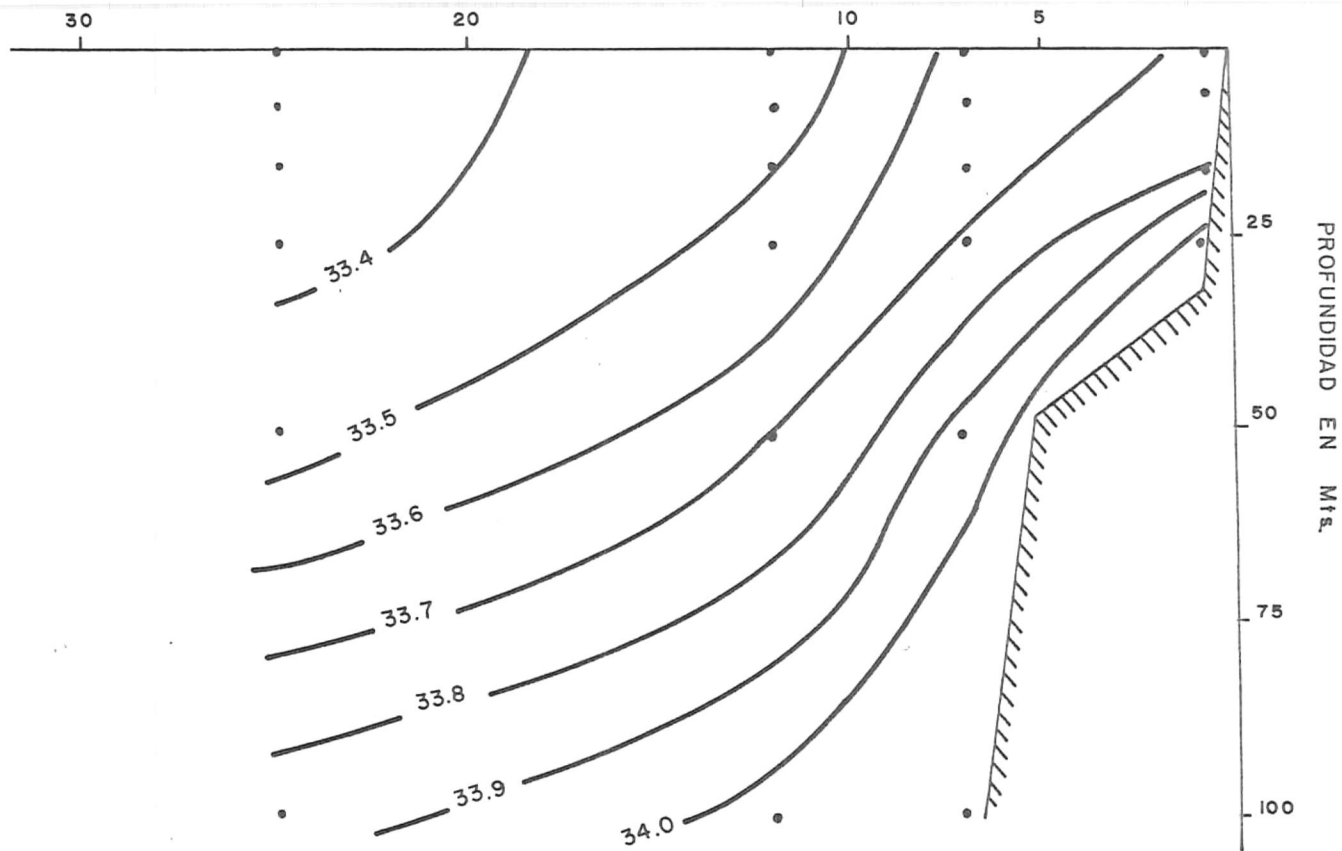


FIG. 15.- SECCION VERTICAL DE SALINIDAD (S‰) DE LA LINEA DE PUNTA SANTO TOMAS EL 5 DE MAYO 1971.

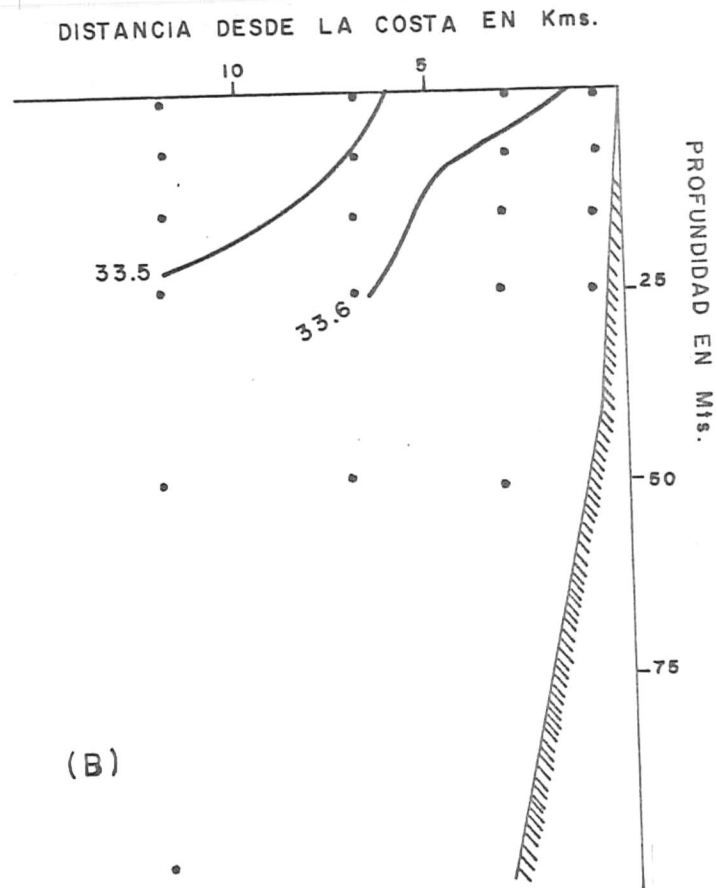
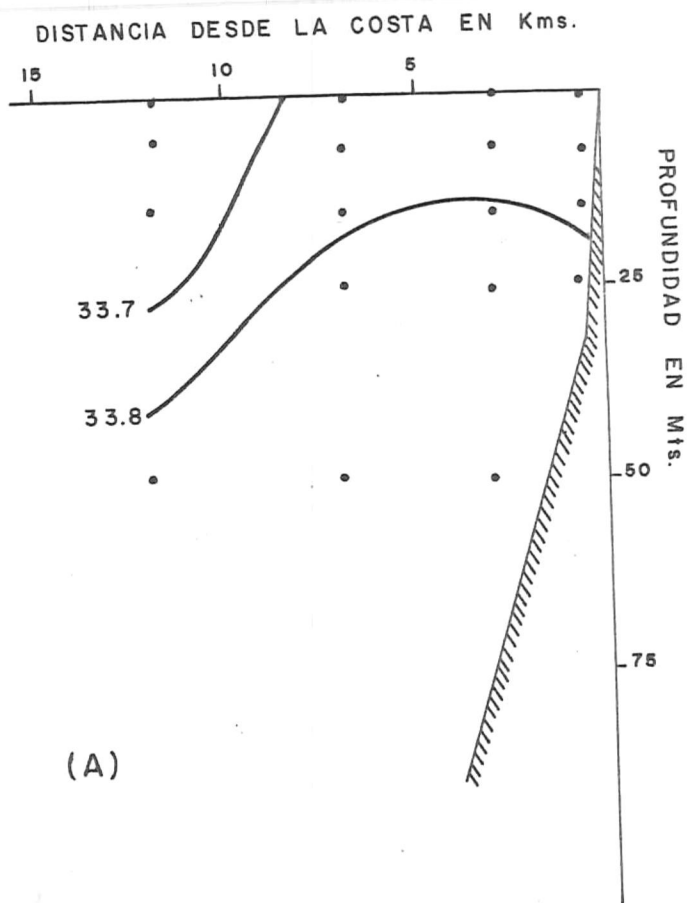


FIG.16- DISTRIBUCION VERTICAL DE SALINIDAD (S‰)
A) EN LAS LINEAS DE MAXIMINOS Y
B) LA ISLA DE TODOS SANTOS. 5 DE MAYO DE 1971

en las diferentes secciones, se puede ver que en la línea de Punta Banda, el ascenso de ellas es mas marcado en los primeros 8 Km.; en cambio la línea de Punta Santo Tomás -- tiene su mayor pendiente entre los 5 y 11 Km. Las isolíneas en la sección de Islas Todos Santos, se comportan en forma parecida a la de Punta Banda; pero, la línea de Máximos se comporta más irregular, ya que tiene pendiente -- ascendente sólo entre los 5 y 12 Km.; más cerca de la costa ya no hay ascenso.

Otra característica que las secciones verticales permiten observar, es el hundimiento de la haloclina conforme nos alejamos de la costa; por ejemplo, a los 7 Km. - el mayor gradiente vertical empieza desde la superficie, - mientras que a 40 Km. empieza a los 65 m. de profundidad - (Fig. 23).

V. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE SIGMA - T.

Los valores sigma-t computados a partir de salinidad y temperatura, se vaciaron en planos horizontales -- distribuídos en los niveles de superficie, 15 y 25 metros, como se puede apreciar en las figuras 17, 18 y 19, respectivamente.

La tendencia general de estos planos es la de -- presentar valores mas altos cerca de la costa y mas bajos -- lejos de ella. Esta tendencia se puede observar en las -- gráficas, al ver el gradiente positivo hacia la costa que -- tienen las isocoras.

Estos gradientes horizontales de las isolíneas -
Son mayores
~~están mas~~ cerca de la costa en los planos de superficie y -- de 15 metros; en ellos se puede observar que son mas o me-

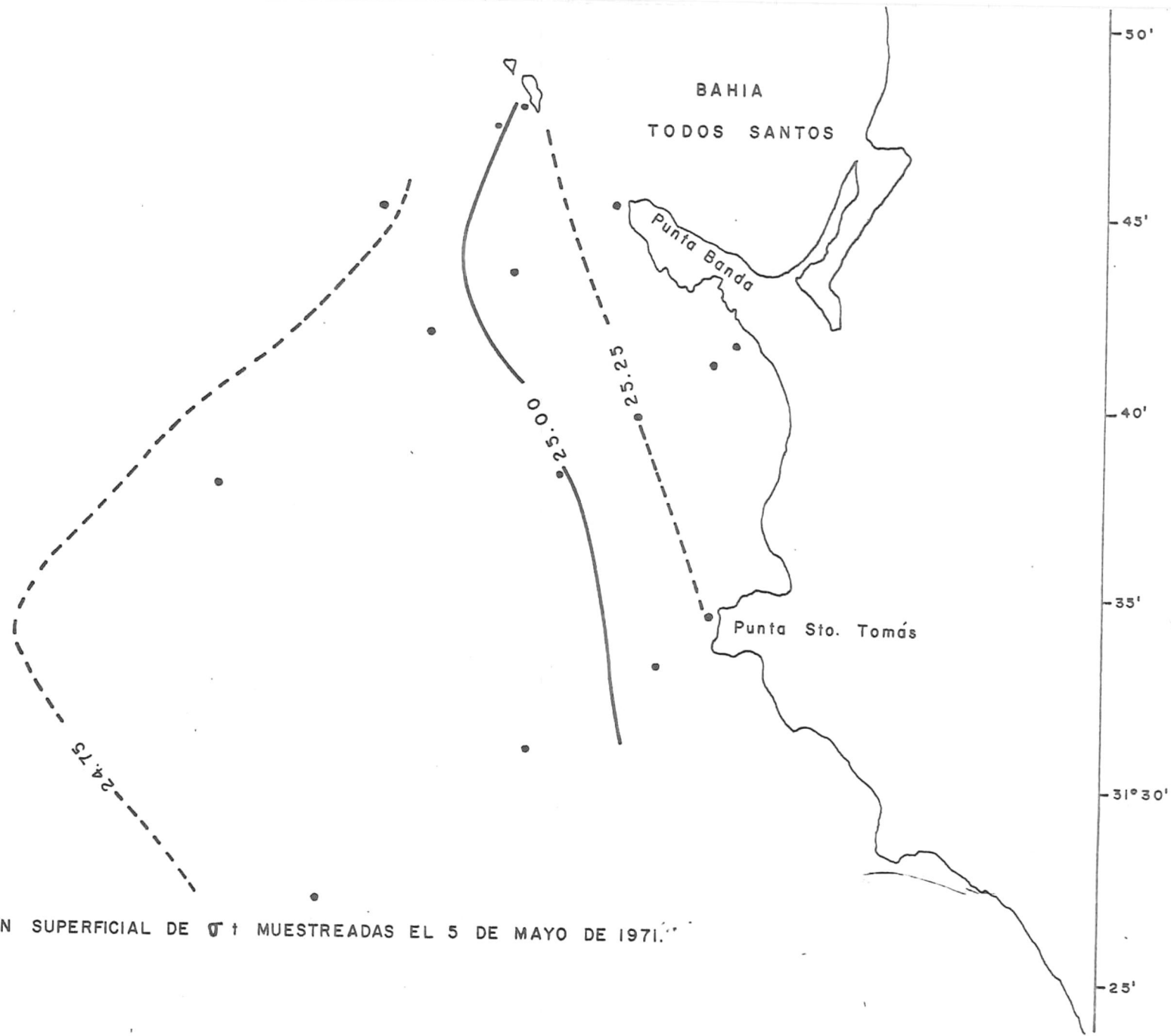


FIG.17- DISTRIBUCION SUPERFICIAL DE σ_t MUESTREADAS EL 5 DE MAYO DE 1971.

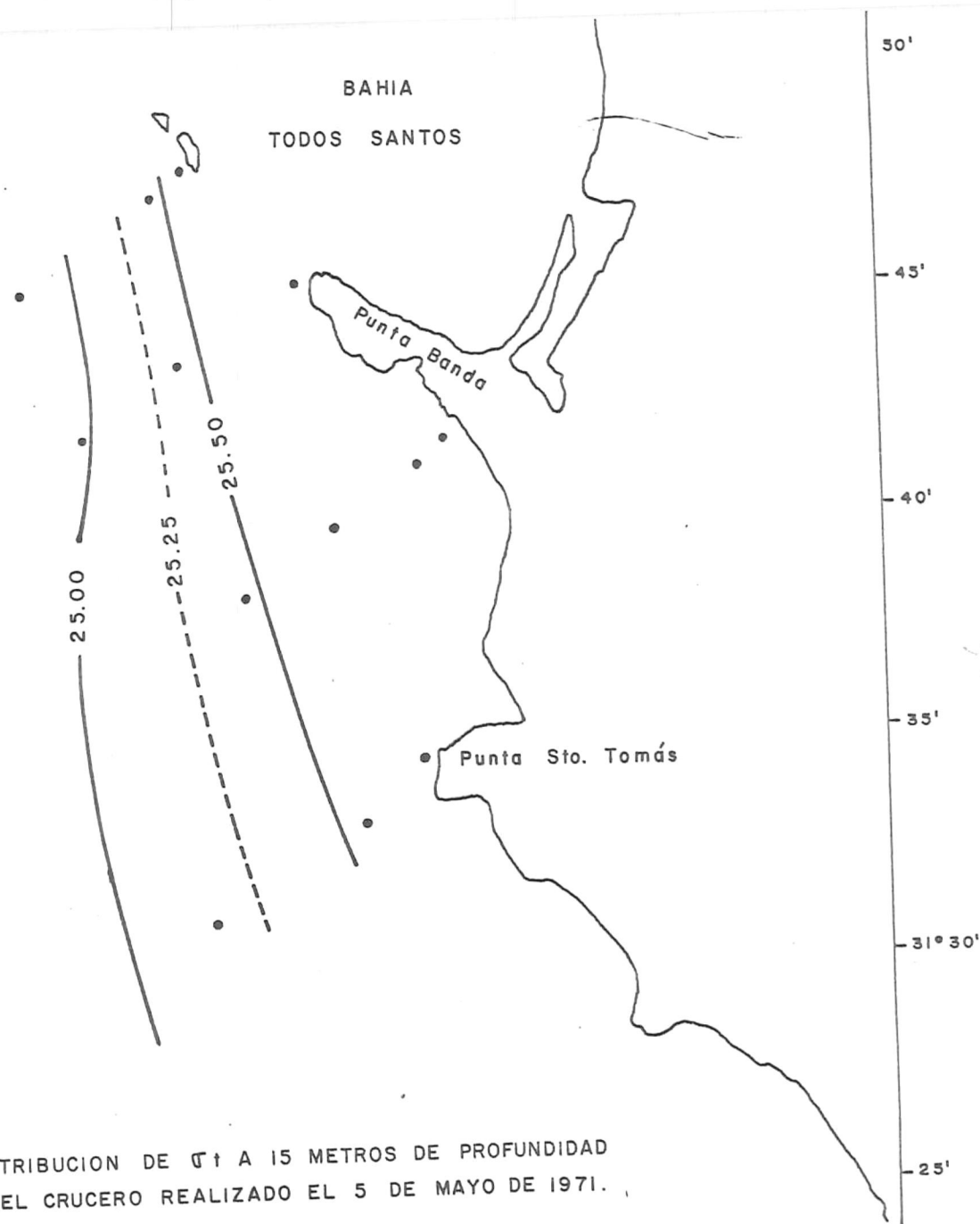


FIG.18-PLANO HORIZONTAL DE LA DISTRIBUCION DE σ_t A 15 METROS DE PROFUNDIDAD DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL CRUCERO REALIZADO EL 5 DE MAYO DE 1971.

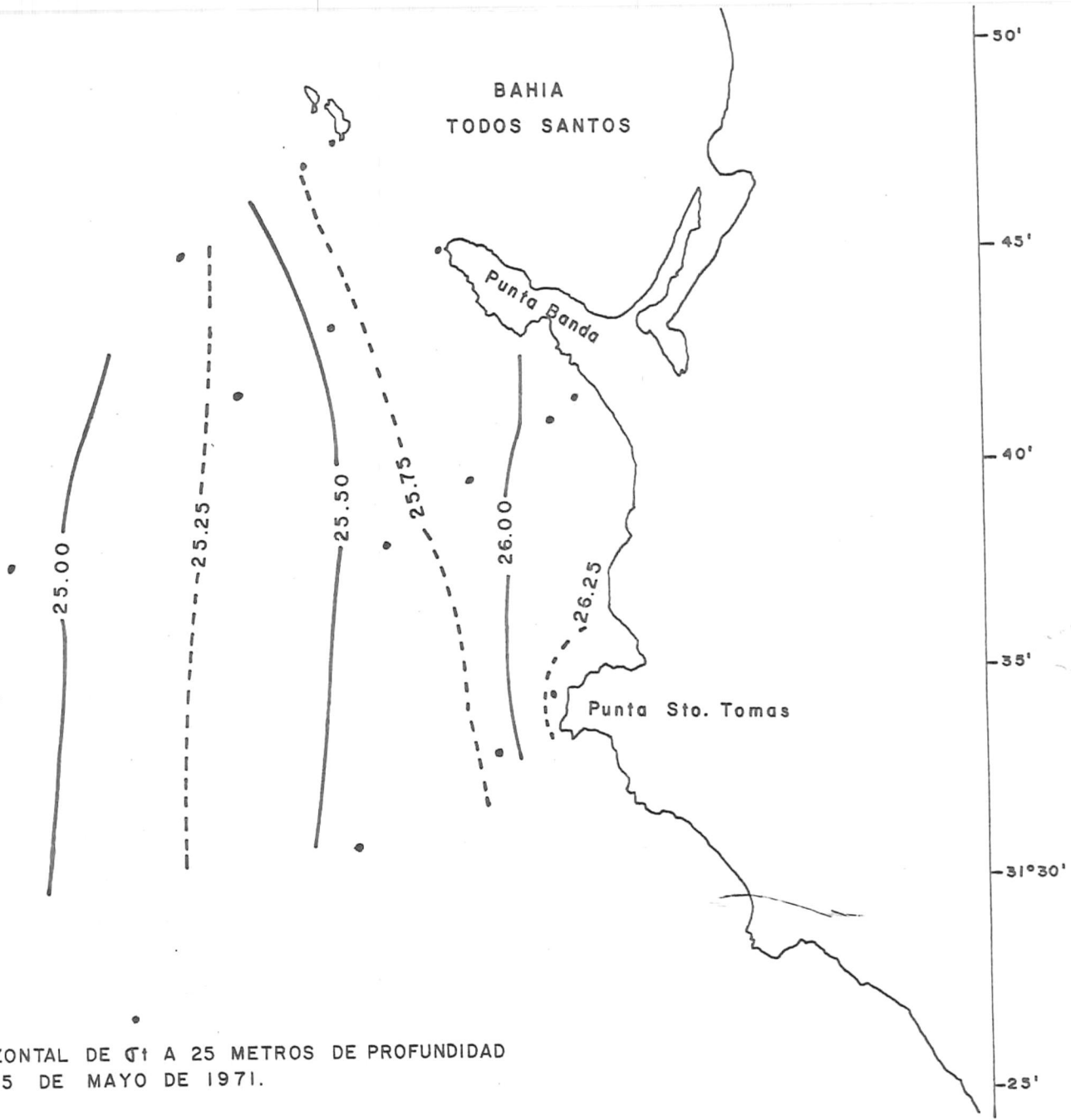


FIG. 19- DISTRIBUCION HORIZONTAL DE σ_t A 25 METROS DE PROFUNDIDAD
EL 5 DE MAYO DE 1971.

35

entre los 5 y 12 Km.; más cerca de la costa ya no hay ascenso.

Otra característica que las secciones verticales - permiten observar, es el hundimiento de la haloclina conforme nos alejamos de la costa; por ejemplo, a los 7 Km. el mayor gradiente vertical empieza desde la superficie, mientras que a 40 Km. empieza a los 65 m. de profundidad (Fig. 23).

V. DISTRIBUCION HORIZONTAL DE SIGMA - T.

Los valores sigma-t computados a partir de salinidad y temperatura, se vaciaron en planos horizontales distribuidos en los niveles de superficie, 15 y 25 metros, como se puede apreciar en las figuras 17, 18 y 19, respectivamente.

La tendencia general de estos planos es la de presentar valores más altos cerca de la costa y más bajos lejos de ella. Esta tendencia se puede observar en las gráficas, - al ver el gradiente positivo hacia la costa que tienen las isocoras.

Estos gradientes horizontales de las isolíneas son mayores cerca de la costa en los planos de superficie y de 15 metros; en ellos se puede observar que son más o menos -- significativos hasta los 9 Km. fuera de las Islas Todos Santos y hasta los 18 fuera de Punta Santo Tomás. En cambio en el nivel de 25 metros de profundidad, donde el cambio horizontal es mayor, se ve que su gradiente es aún significativo hasta los 25 Km. fuera de Punta Banda y más allá de los 25 - Km. en Punta Santo Tomás.

VI. DISTRIBUCION VERTICAL DE SIGMA - T.

La distribución vertical de sigma-t en los transec

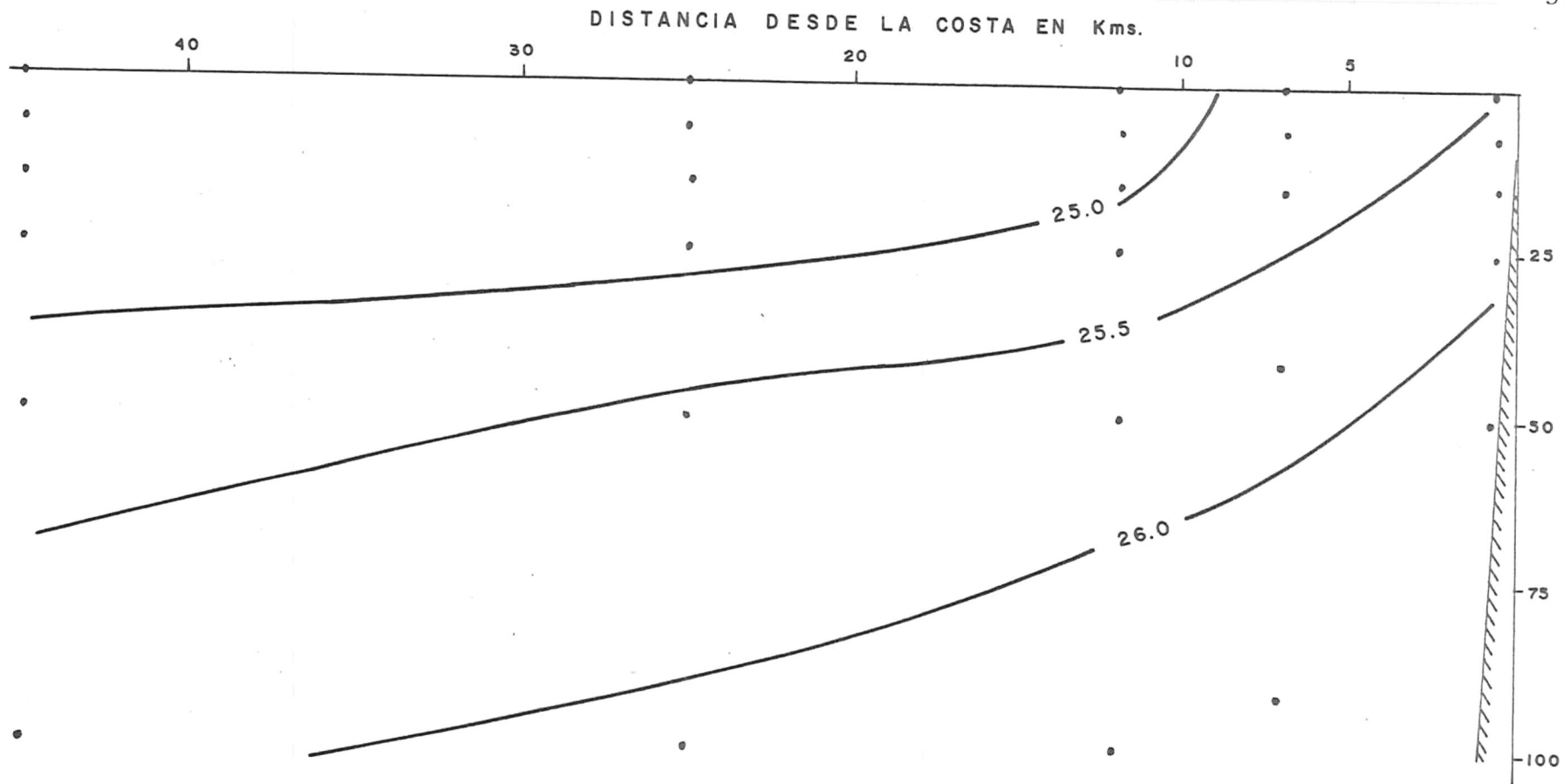


FIG.20- DISTRIBUCION VERTICAL DE σ_t EN EL TRANSECTO DE PUNTA BANDA
EL 5 DE MAYO DE 1971.

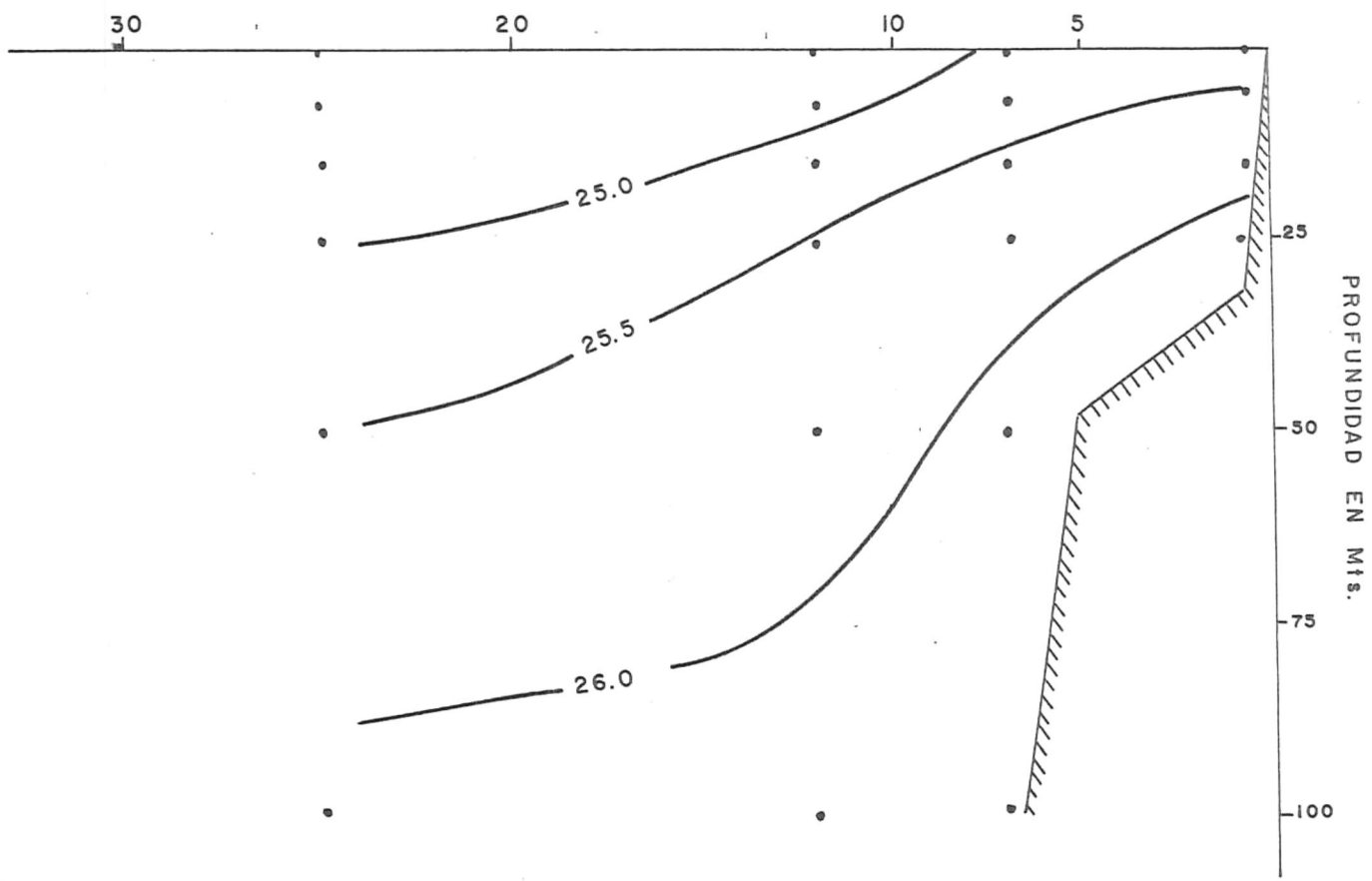


FIG. 21- SECCION VERTICAL DE σ_t EN LA LINEA DE PUNTA STO. TOMAS
OBTENIDA EL 5 DE MAYO DE 1971.

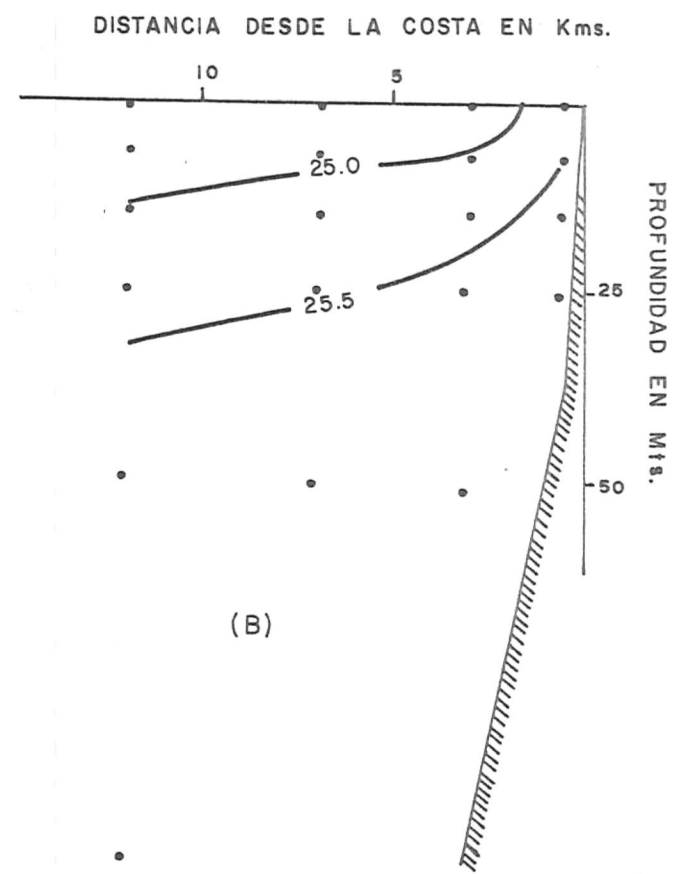
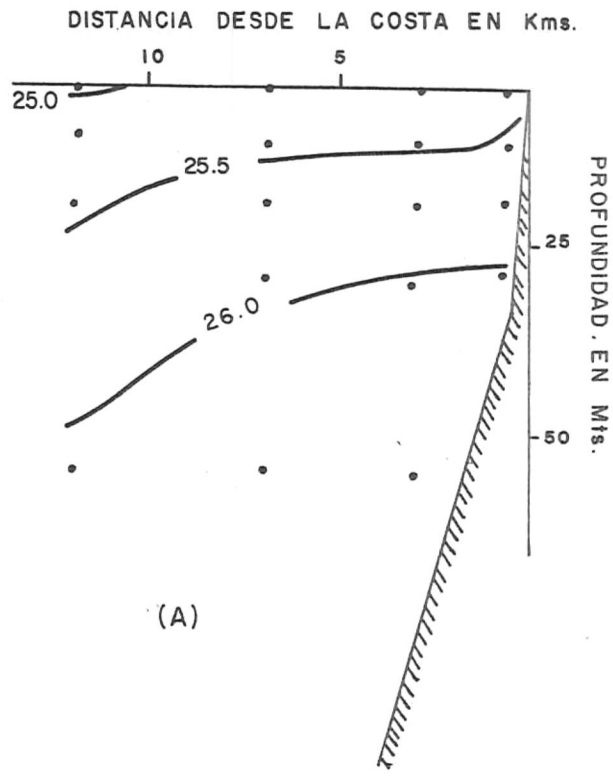


FIG. 22- DISTRIBUCION VERTICAL DE σ_t EN LOS TRANSECTOS DE
A) MAXIMINOS ; B) ISLA DE TODOS SANTOS. DE DATOS
OBTENIDOS EN EL CRUCERO REALIZADO EL 5 DE MAYO 1971.

tos recorridos en el crucero, se muestran en las figuras 20, 21 y 22.

En estas secciones se puede observar que la tendencia general de las isocoras, es de ir ascendiendo al aproximarse a la costa. Observamos también que este ascenso es -- más marcado cerca del litoral que lejos de él.

Comparando las pendientes que forman las isocoras en las diferentes secciones, se puede ver que en la línea de Punta Banda, la pendiente más fuerte esta en los primeros 12 Km., mientras que en el transecto realizado afuera de Punta Santo Tomás, las mayores pendientes estan entre los 6 y 11 - Km. mar adentro.

En la sección de Islas Todos Santos se observa que la pendiente más grande se encuentra en los primeros 4 Km. y en la hidrolínea de Maximinos, en los 6 Km. mas próximos a la costa, la pendiente es casi nula, encontrando la más fuerte después de los 8 Km.

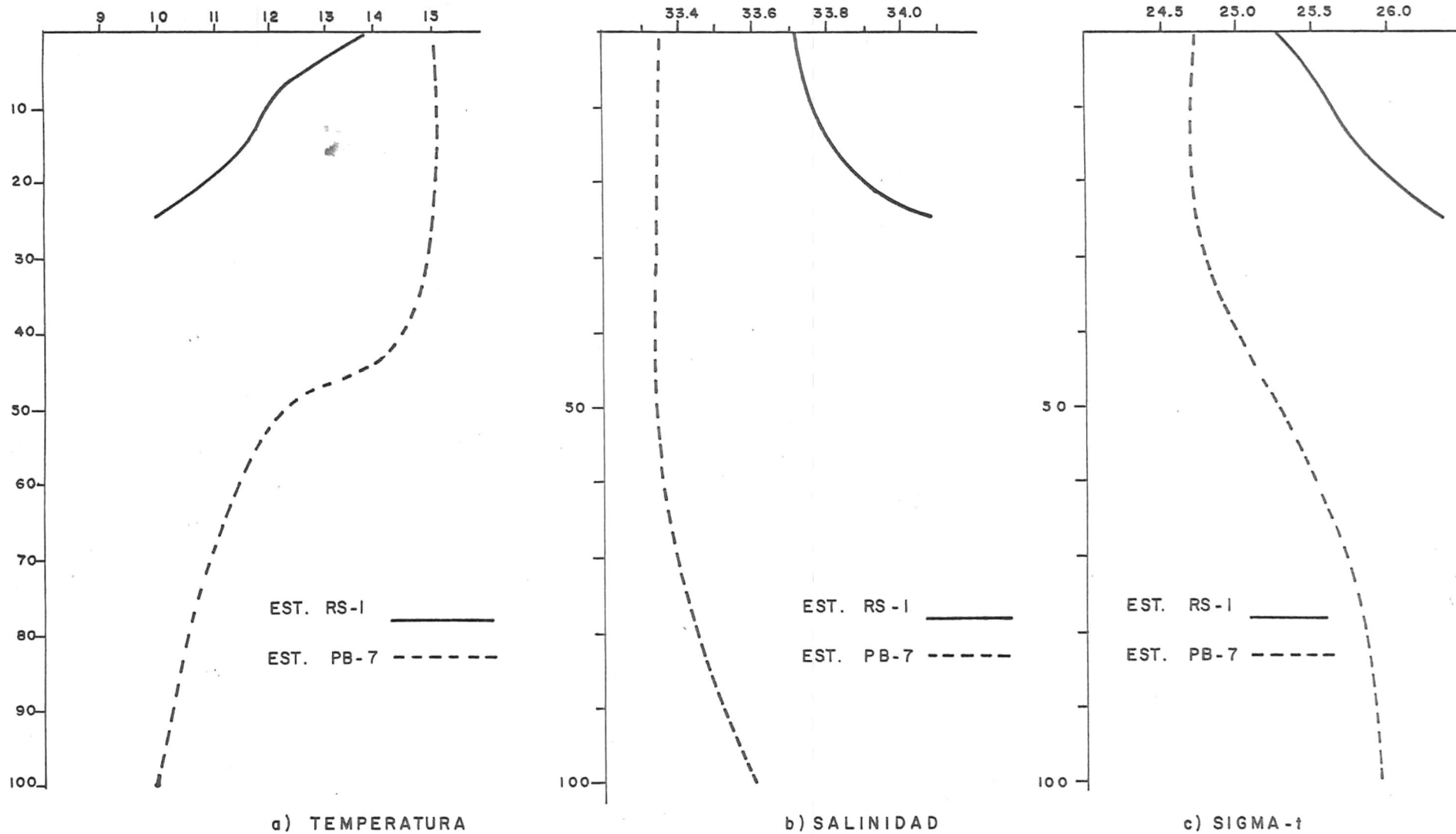


FIG. 23- DISTRIBUCION VERTICAL DE LOS PARAMETROS MUESTREADOS EN LA ESTACION PB-7 SITUADA A 45 KM. DE LA COSTA Y LA ESTACION RS-1 A 1 KM. DE LA COSTA.

D I S C U S I O N

En el análisis de los resultados se observa que -- las condiciones de surgencia estan manifiestas en toda el -- área de estudio.

Las secciones verticales muestran un ascenso de -- las isolíneas al acercarse a la costa, el cual puede ser con siderado un buen índice de surgencia. Debido a que esa ten-- dencia de las isolíneas pudo ser causada por otros fenómenos como, ondas internas o una corriente geostrófica paralela a -- la costa con dirección sur, se tuvieron que tomar en cuenta -- otros factores, con el fin de establecer si en realidad la -- distribución de parámetros que encontramos correspondía a -- una surgencia.

A partir de los mapas meteorológicos se obtuvieron datos de viento de la zona, desde el primero de Mayo hasta -- el 5 de Mayo de 1971, día en que se realizó el crucero. Con estos datos se calculó el transporte hacia fuera de la costa, obteniéndose con ésto, índices de surgencia de valores me -- dios (Fig. 24), lo que permite considerar que las secciones -- verticales sí muestran condiciones de surgencia.

Separar dos fenómenos tan ligados entre sí, como -- una corriente con frontera este y una surgencia, es muy difí -- cil, ya que la propia corriente crea condiciones de surgen -- cia y la aparición de una surgencia debida al viento, viene -- acompañada con un aumento en la velocidad de la corriente -- (Wooster y Reid, 1963). Por lo anterior podemos inferir que la distribución de parámetros encontrada, se debe a la com -- binación de los dos fenómenos (Stommel y Wooster, 1965).

Bakun (1973), reporta índices promedio de surgen -- cia bastante altos para el mes de Mayo de 1971. El encuen -- tra que el transporte de masa hacia fuera de la costa es de --

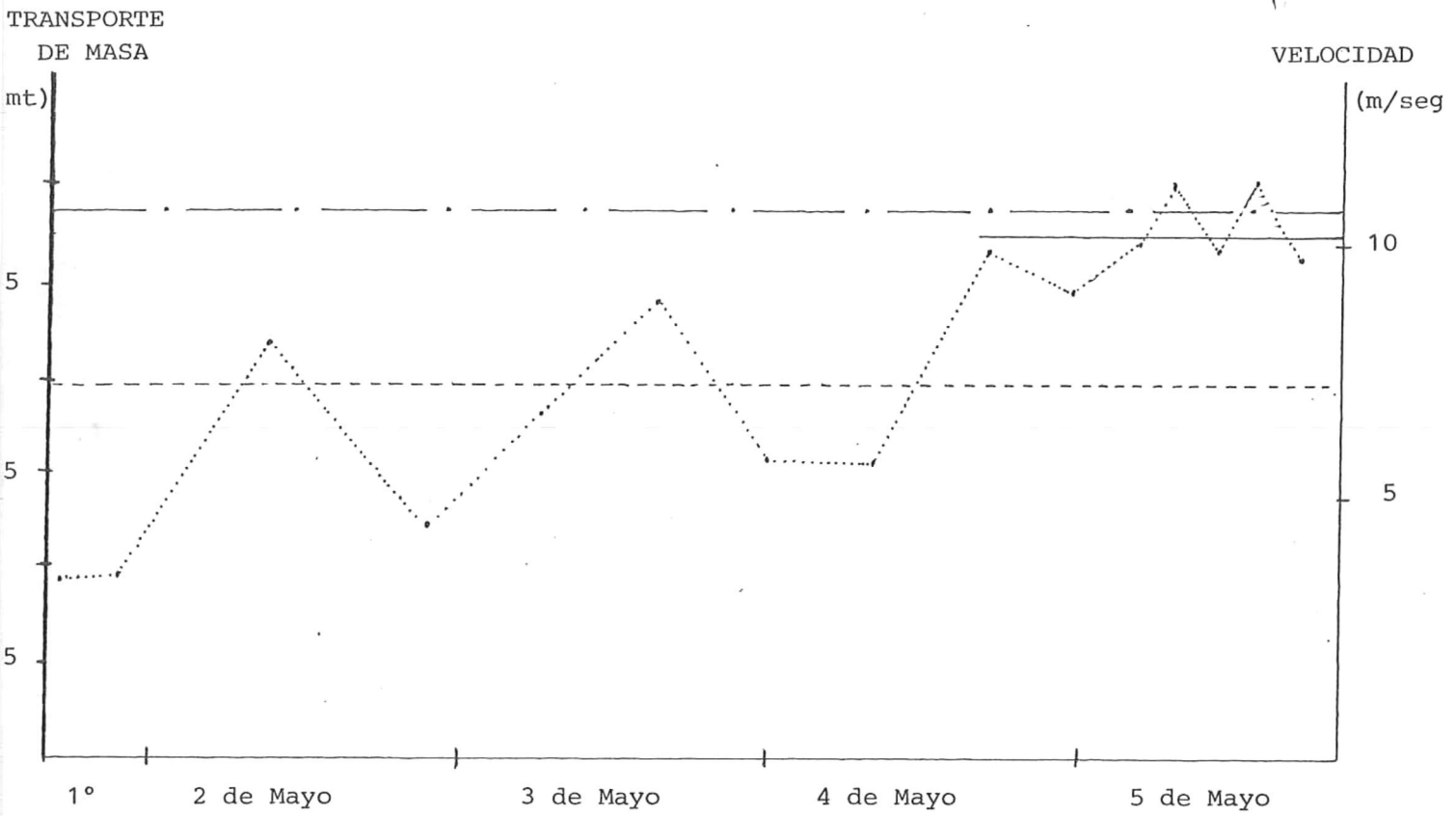


Fig. 24 - COMPONENTE NOROESTE DEL VIENTO Y TRANSPORTE DE MASA HACIA AFUERA DE LA COSTA EN LA ZONA ADYACENTE A PUNTA BANDA DEL 1° AL 5 DE MAYO DE 1971.

- 1o.- Valor del viento y del transporte hacia afuera de la costa cada tres horas, desde el 1o. al 5 de Mayo de 1971.
- 2o.- Valor medio de la zona calculado por Bakun para Mayo de 1971.
- 3o.- - - - - Valor medio durante los 4 días últimos antes del crucero.
- 4o.- _____ Valor medio durante las últimas 36 horas antes del crucero.

281 toneladas métricas por segundo por cada 100 metros de -- costa. Siguiendo el mismo método y usando los mismos pará-- metros de Bakun (1973) en este trabajo y a partir de los da-- tos de viento obtenidos 4 días anteriores al crucero, se cal-- culó un transporte promedio de 195.5 toneladas métricas por-- segundo por 100 metros de costa, el cual es un valor bajo en comparación al promedio mensual; pero si se toma en conside-- ración sólo las últimas 36 horas anteriores al crucero, se - obtiene un índice de 272, que es muy cercano al promedio men-- sual dado por Bakun. Esto es de mucha trascendencia, ya que según Bakun el año de 1971 representa un máximo en la activi-- dad de surgencia de la zona y dentro de este año, las surgen-- cias más fuertes fueron en Mayo y Junio.

En el área de estudio la picnoclina estaba defini-- da entre los valores sigma-t de 25 y 25.5 (Fig. 23) y la ubi-- cación espacial que presentó, definió las características y-- condiciones de surgencia. Así vemos que lejos de la costa - la picnoclina se encontraba a una profundidad mayor que los-- 30 metros y que en las estaciones cercanas a la costa, alcan-- za a intersectar la superficie del mar. Todas las secciones verticales muestran condiciones de surgencia; pero éstas son diferentes en cada una de las hidrolíneas.

En las secciones de Islas Todos Santos (Figs. 9, - 15 y 21 (b)), se puede apreciar que el ascenso de las isolí-- neas es menos marcado que en las otras hidrolíneas. Esto -- nos sugiere pensar que la surgencia se presentó más débil en esta zona; como una afirmación a lo anterior vemos que las - pendientes más fuertes en esta sección, están muy cercanas a la costa y que la picnoclina intercepta la superficie del -- mar a una distancia de 2 Km. En cambio en las otras seccio-- nes lo hace a más de 7 Km. de la costa. El hecho de que la-- surgencia se presente más débil cerca de las islas, ya había sido mencionado y es debido a que la costa de islas presenta poca frontera este (Wooster y Reid, 1963).

47

La hidrolínea más característica de condiciones de surgencia, fué la de Punta Banda (Figs. 7, 13 y 19), incluso considerando que su ubicación hubiera sido más apropiada unos 5 Km. al sur, ya que las primeras estaciones de esta línea están influenciadas por la circulación de la bahía, además de que estando más al sur podría abarcar mayor longitud de frontera este.

Aún tomando en cuenta las anteriores consideraciones, se puede observar que esta sección es la más representativa, pues muestra lejos de la costa una capa de mezcla -- que sobrepasa los 30 m., lo que da una idea de las condiciones de la zona, sin la alteración que produce la surgencia. Cerca de la costa las isolíneas ascienden de manera regular, mostrando condiciones de surgencia características.

Otra razón por la que se considera a la línea de Punta Banda la más representativa, es porque permite apreciar la extensión de la surgencia tanto en profundidad como en distancia hacia fuera de la costa. Las isolíneas de esta sección, exhiben ascenso de aguas subsuperficiales desde una profundidad de más de 75 metros y este ascenso es apreciable desde 25 Km. fuera de la costa, aunque es más notable en los primeros 10 Km.

Las secciones de la línea de Santo Tomás (Figs. 8, 14 y 20), también muestran condiciones de surgencia; pero se diferencia de la línea de Punta Banda en que aquí el ascenso es uniforme desde los 25 Km. fuera de la costa. Este puede deberse a una mayor influencia del fondo, ya que en esta zona la profundidad es menor que en Punta Banda (Fig. 2). Otra evidencia de la influencia del fondo en la distribución de los parámetros, es que las isolíneas más profundas están fuertemente conformadas por la batimetría, como se puede apreciar en todas las secciones de Punta Santo Tomás.

La línea de Maximinos (Figs. 9(a), 15 y 21(a)), es una extensión de las características de la línea de Punta Banda. En este lugar la zona ya presentó más frontera este, -- por lo que el movimiento de ascenso es mayor que el que se observa en Punta Banda. Esto se deduce fácilmente, al ver -- que la picnoclina en esta sección se encuentra mas cerca de -- la superficie que en las otras secciones.

En todos los planos horizontales puede apreciarse -- que se presentan gradientes orientados hacia la costa y que -- esos gradientes son más fuertes cerca de ella. Esto se debe -- posiblemente a que la surgencia no estaba muy activa y se -- encontraba en un estado de decaimiento (Smith, 1972).

Considerando en forma arbitraria que la intersec-- ción de la superficie con la isopicna de los 25.0 (Fig. 20) -- nos define un frente de surgencias en el cual se puede apre-- ciar que esta muy cercano a la costa frente a las Islas To-- dos Santos y que más al sur se aleja de la costa, conserván-- dose a una distancia que fluctúa entre los 7 y 10 Km. mar a-- dentro.

De la distribución horizontal de los parámetros, -- se pueden observar tres zonas de divergencia en el área de -- estudio, una zona se encuentra junto a la Punta de Santo To-- más (Figs. 1 y 12), la cual debe ser producto de la saliente que forma la punta (Reid, 1967) y del hecho de que la bati-- metría del lugar ya descrita anteriormente (Fig. 2) puede -- originar un cruzamiento de las isopicnas con las superficies de nivel, debido a la fricción cuando exista una corriente -- en dirección sur, lo que contribuiría a aumentar las condi-- ciones de surgencia o la divergencia en dicha zona (Hsueh y -- O'Brien, 1971).

Otra zona de divergencia es Punta Banda, como se -- puede apreciar en las Figs. 1, 3 y 6. Esta es la más impor--

tante de las tres, ya que su influencia en la distribución de parámetros es determinante en toda el área, como se puede observar por la distribución de parámetros en forma de lengüeta que presentan las figuras 3 y 6, incluso la isohalina de 33.8 de la figura 11, debe ser originada en Punta Banda, aunque el muestreo no lo pone de manifiesto.

Esta zona de divergencia se debe en parte a que Punta Banda es una saliente (Reid, 1967), pero principalmente a que presenta más de 12 Km. de frontera este (Wooster y Reid, 1963).

La tercera zona de divergencia se encontró en las Islas Todos Santos (Fig. 1). Esta es debida a que presentan frontera este aunque de menor longitud que la de Punta Banda, por lo que su actividad es más limitada que en aquella.

Cuando la surgencia es fuerte o tiene varios días de actividad, lo más probable es que la zona de influencia de esta divergencia se mezcle con la de Punta Banda, como se observa en el muestreo superficial del 28 de Abril (Fig. 1) y en la distribución de temperaturas superficiales que se muestra en la Fig. 3. Y más aún, forman entre las tres un solo frente de forma irregular.

La interrelación entre estas 3 zonas de divergencia, esta auxiliada por los procesos de mezcla debido a vientos, oleaje, corrientes marinas hacia el sur y, fenómenos asociados con la aparición de la surgencia (Sverdrup y Fleming, 1937).

La interrelación entre las diferentes zonas de afloramiento es condicionada por varias causas. Entre Punta Banda y las islas esta la zona del canal, la cual debe ser influenciada por la circulación general de la bahía; esto naturalmente determina la distribución de parámetros, sobre todo en las capas superficiales (Fig. 1). La zona de divergencia

de Punta Santo Tomás esta separada de Punta Banda por una -- costa semiprotejida, con una orientación casi hacia el norte, de la cual puede pensarse que tiene mayores variaciones diurnas, las cuales influyen en alguna forma en la distribución de los parámetros, sobre todo en los superficiales (Fig. 1). Según Bakun (1973), la costa de Baja California puede presentar condiciones de surgencia durante todo el año, lo que -- origina que las tres zonas de divergencia antes descritas, -- sean zonas de alta productividad. Esto es comprobado por el hecho de que las tres zonas son productoras de *Macrocyctis* -- (Gusman del Proo, 1971) o algas industrializables que se -- aprovechan en la actualidad; además dichas zonas son áreas -- de abundante pesca, sobre todo la zona de Punta Banda y las -- islas (Silvia Silva, comunicación personal), ya que durante -- la época de mayor actividad de la surgencia (Mayo y Junio) -- es muy abundante en anchoveta, pez que se alimenta principal -- mente de productores primarios (Fito plancton).

C O N C L U S I O N E S

El transporte de Ekman hacia afuera de la costa, - fue de 1.95 toneladas métricas por segundo, por metro de costa. Este valor indica actividad de surgencia en la zona de estudio.

Se encontraron tres áreas de divergencia de las -- cuales la más importante en extensión e intensidad, se localizó en la costa exterior de Punta Banda; otra área de divergencia de menor importancia fué localizada junto a las Islas Todos Santos. La separación entre estas dos zonas no es muy clara, y puede tratarse de una sola. La tercera se encontró en aguas cercanas a la Punta de Santo Tomás. Las dos prime-- ras áreas de divergencia horizontal arriba mencionadas, son causadas principalmente por su situación de costa paralela a los vientos dominantes; la tercera, o sea la de Punta Santo Tomás, es motivada por ser una saliente topográfica (Reid, - 1967) y por la configuración de la batimetría, la cual puede causar un cruzamiento de las isobaras con las superficies de nivel. La picnoclina se intersecta con la superficie del -- mar, formando un frente de surgencia con orientación casi -- NNW, el cual pasa aproximadamente a dos Km. fuera de las Is-- las Todos Santos y a siete de Punta Banda y Punta Santo To-- más (Fig. 16). La influencia de la surgencia alcanzó hasta 25 Km. fuera de la costa y más de 75 m. de profundidad.

R E C O M E N D A C I O N E S

Basándose en los últimos estudios que se han hecho en las zonas de surgencia y con los resultados obtenidos en los experimentos realizados en Punta Banda y zonas adyacentes, se recomienda la realización de nuevos estudios con el fin de conocer, lo mejor posible, esta zona de surgencia.

Es recomendable por lo tanto, contar con un registro continuo de vientos lo más cerca posible de la zona; en segundo lugar es necesario también un registro continuo de corrientes y otros parámetros como temperatura y salinidad, a diferentes niveles en la zona de surgencia, en la época en que ésta esté activa; en tercer lugar se hace necesaria la realización de una red de estaciones hidrológicas, las cuales se puedan repetir cada dos o tres días, tratando de completar un ciclo de formación y decaimiento de la surgencia.

Por último es importante encontrar la variabilidad de la surgencia como nicho ecológico relacionando las variaciones temporales de la surgencia con la disponibilidad de alimento para la biota o con la variación misma de esta biota.

B I B L I O G R A F I A

- Alvarez, S. Luis Gustavo, 1972. Vientos en Ensenada, (No impreso), Instituto de Investigaciones Oceanológicas.
- Bakun, A., 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America 1946-71, NOAA Rept. NMFS, SSRF-671.
- Bakun, A., et al, 1974. The mean annual cycle of coastal upwelling off Western N. America as observed from surface measurement, Fish. Bull. 72.
- Chavez, G. María del Carmen, 1975. Algunas condiciones de surgencia durante la primavera de 1974, para el área adyacente a Punta Banda, Baja California. Tesis Profesional.
- Cota, V. A., 1971. Estudio oceanográfico químico de la surgencia localizada en zona de Punta Banda, B. C., U.A.B.C., Escuela Superior de Ciencias Marinas. Tesis Profesional.
- Dawson, E. Y., 1949. A note on the vegetation of a new coastal upwelling area of Baja California, Journal of Mar. Res., IX (2).
- Dawson, E. Y., 1951. Upwelling and associated vegetation along Pacific Baja California, México, Journal of Mar. Res., X.
- Ekman, V. W., 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents, Arkiv, Matematisk Astronomi, Fysik, 2(11), 1 - 55.
- Guzmán del Prío, S. A., 1971. El sargazo gigante (*Macrocystis Pyrifera*) y su explotación en Baja California, Soc. Mex. de Historia Natural, 32.
- Hubbs, C. L., 1968. Data Reports, Surface waters at shore stations U. S. coast, Scripps Inst. of Oceanography, 69-14.
- Hsueh Y. and J. J. O'Brien, 1971. Steady coastal upwelling induced by an along-shore current, J. Phys. Oceanogr., 1(3), 180-186.
- Mooers, C. N. K., C. A. Collins and R. L. Smith, 1972. The dynamic structure of the frontal zone in the coastal upwelling region off Oregon, Submitted to Journal of Phys. Oceanography.
- Patullo, J. and W. Denner, 1965, Processes affecting sea water characteristics along the Oregon coast, Limnol. and Oceanogr., 10 (3), 443-450.
- Reid, J. L., Jr., 1967. Upwelling, Scripps I. O., Contr. 2232.
- Reid, J. L., Jr., G. I. Roden and J. G. Wyllie, 1968. Studies of the California Current System, CALCOFI Prog.
- Roden, G. I., 1972. Large scale upwelling off northwestern Mexico, J. P. O., 2, 184-189.
- Ryther, J. H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea, Science- (Wash., D. C.), 166, 72-76.

- Smith, R. L., 1968. Upwelling, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann.*, (6).
- Smith, R. L., et al, 1971. The circulation in an upwelling ecosystem, the PISCO cruise *Inv. Pesq.*, 35 (1), 9-24.
- Smith, R. L., J. G. Pattullo and R. K. Lane, 1966. An investigation of the early stage of upwelling along the Oregon coast, *J. G. Res.* 71 (4), 1135-1140.
- Stommel, H. and Woosterm W. S., 1965. Reconnaissance of the Somali Current during the Southwest Monsoon, *National Academy of Sciences. Proceedings*, 54, 1, 8 - 13.
- Sverdrup, H.U., 1937. On the process of upwelling, *J. Mar. Res.*, (1)
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming, 1942. *The oceans, their physics, Chemistry and General Biology*, Prentice-Hall Inc.
- Yoshida, Kozo, 1955. Coastal upwelling off the California coast, *Records Oceanogr. Works Japan*, 2(2).
- Mooers, C. N. K., C. A. Collins and R. L. Smith, 1972. The dynamic - - - structure of the frontal zone in the coastal upwelling region off Oregon, submitted to *Journal of Phys. Oceanography*.