

ELEMENTOS SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TURBIDEZ EN EL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA

GUADALUPE GARCÍA DE BALLESTEROS

y

MICHEL LARROQUE

Unidad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, Baja California

ABSTRACT

This paper attempts to establish the causes of the presence and permanence of turbidity in the upper Gulf of California. Seasonal data were collected in May and October 1973. By means of quantitative, qualitative, and grain-size analysis, distribution graphs were plotted. It was concluded that the observed turbidity results from the resuspension of recently deposited Colorado River sediments. It is thought that this resuspension is caused by net tidal flux and reflux as well as wind generated wave action.

RESUMEN

En este trabajo se tratan de establecer las causas de la presencia y permanencia de la turbidez en el alto Golfo de California. Para esto, se llevaron a cabo dos muestreos uno en mayo y otro en octubre de 1973. Por medio de análisis cualitativo, cuantitativo y granulométrico de las muestras se elaboraron gráficas de distribución y a partir de ellas se concluye que los factores que determinan la presencia del material son principalmente los sedimentos superficiales de fondo aportados antiguamente por el Río Colorado. También se establece que los principales factores dinámicos de la turbidez son, la corriente neta, el flujo y reflujo de las mareas y el efecto del oleaje sobre el fondo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fué elaborado en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Unidad de Ciencias Marinas, bajo contrato con la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Los autores agradecen a Daniel Muñoz Ferreira, Director del Departamento de Acuicultura de dicha Dependencia, el haber permitido su publicación. Se agradece además a Saúl Alvarez Borrego, Coordinador General de la Unidad de Ciencias Marinas, por sus consejos durante la elaboración de este estudio; a Richard Schwartzlose de la Institución Scripps de la Joya, por haber subsidiado el crucero de septiembren-octubre y a la Universidad de Sonora por permitirnos utilizar su embarcación Adventyr durante los cruceros. Y nuestra gratitud a los compañeros: Bernardo Flores, Luis Galindo, Roberto Pérez Higuera, José Luis Ortega, Marcos Miranda, Claudia Farfán, y Salvador Galindo por la participación que tuvieron en la toma de muestras en el campo.

INTRODUCCIÓN

La presencia de material en suspensión en el medio marino es un factor que puede transformarse en una característica limitante en un ecosistema dado. Esto es cierto principalmente en lugares como el alto Golfo de California y desembocadura del Río Colorado, en donde las aguas con un alto contenido de material en suspensión establecen condiciones de tipo ambiental muy diferentes a las de una zona de aguas oceánicas, limitando la distribución de gran número de especies, tanto planctónicas como invertebrados y peces marinos.

La zona donde se llevó a cabo el estudio es el alto Golfo de California, de latitud aproximadamente 31° N hacia el norte, hasta la desembocadura del Río Colorado.

Los conocimientos que se tienen sobre este material en suspensión en el área antes mencionada son realmente pocos. Thompson (1965) determinó la batimetría y distribución superficial de los sedimentos de fondo en esta área (Figura 22 y 23). Gayman (1969) elaboró un trabajo sobre turbidez en la misma área, sólo que tomó en cuenta aportes de limos y arcillas del Río Colorado; en la actualidad dichos aportes son nulos, por lo que hay que establecer las razones de dicha turbidez. Zeitzchel (1970) llevó a cabo un análisis cuantitativo del material en suspensión en el Golfo de California, sólo que en este trabajo no se muestreó sino hasta la altura de latitud 30° N aproximadamente.

Los objetivos de este trabajo son, establecer la distribución del material en suspensión en el área de estudio; conocer las características de este material a través de análisis cualitativo, cuantitativo y granulométrico; determinar la dinámica y los factores que afectan el transporte y la permanencia de este material. Se estima que los resultados de este estudio sirvan para futuras investigaciones de tipo biológico que se lleven a cabo en esa área.

Características Generales del Área de Estudio. Es un área triangular, formada por el Golfo de California, el Puerto de San Felipe en el suroeste, Puerto Peñasco en el sureste y en el extremo norte el Delta del Río Colorado (Figura 1). La región del Delta del Río Colorado representa un complejo estructural, la depositación se inició sin interrupción quizás desde el Mioceno y en menor proporción en el Cenozoico (Alvarez, 1973), y ha actuado hasta antes de los últimos diez años. La construcción de

varias presas durante la segunda mitad del siglo XX, particularmente la Presa Imperial (California, E.U.A.) y la Presa Morelos (Algodones, B.C.), han provocado un cambio radical en el sistema hidrológico del Río Colorado.

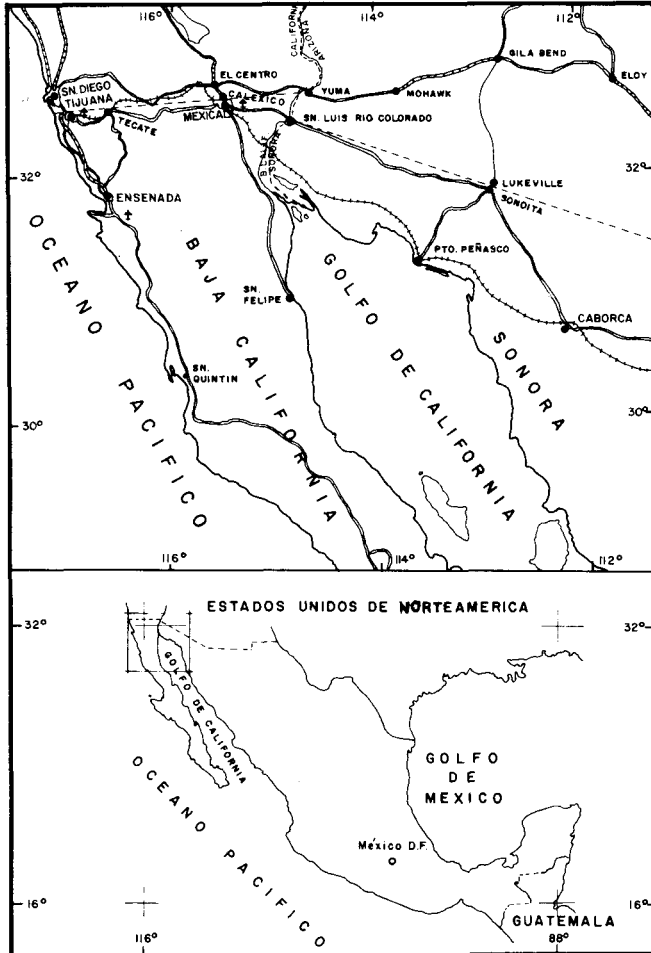


FIGURA 1. Localización geográfica del área de estudio.

En el período 1950–1960, el promedio anual de sedimentos que llegó al lindero norte inmediatamente aguas arriba de la Presa Morelos, fué de 870,000 m³, y durante el período 1960–1970 llegaron a la Presa Morelos un promedio de 150,000 m³ anuales (Alvarez, 1973). Por otra parte se ha tenido que abandonar la estación hidrométrica “El Mareógrafo”, situada 138 km aguas abajo de la Presa Morelos y 22 km río arriba de la desembocadura, por azolvamiento completo del cauce. Así también los datos de salinidad del área, muestran valores más elevados en la parte norte que en la parte sur del delta. Este conjunto de datos prueba que en la actualidad no existe ningún aporte de agua dulce y de material por parte del Río Colorado, los únicos aportes de agua dulce a esta área son producidos por las escasas lluvias que provocan una circulación temporal en los ríos Hardy, Santa Clara y otros más pequeños. De esto podemos concluir que aunque la

región del Delta del Colorado no ha llegado todavía a un perfil de equilibrio, se puede considerar que es un candidato a la fosilización.

En el lado oeste del área se encuentra el Estado de Baja California, el cual la protege por medio de la Sierra de San Pedro Mártir y cordilleras más pequeñas. Estas cordilleras están constituidas en su mayoría por rocas ígneas y metamórficas del Pre-Cretácico y Cretácico. El área de la planicie costera, situada entre San Felipe y la boca del Río Colorado, está constituida por barras de lodo y depósitos de sal, cuyos sedimentos provinieron del Río Colorado. Los sedimentos son limos, arcillas y evaporitas de edad reciente.

En la parte noreste se encuentra el desierto de Sonora o de Altar. Cerca de la costa el desierto está constituido por una planicie aluvial de arenas y gravas estratificadas, las cuales están parcialmente cubiertas por dunas de arena. El área desierta consiste principalmente de sedimentos recientes y del Pleistoceno, sedimentos clásticos de fines del Pleistoceno, sedimentos de fines del Cenozoico y sedimentos volcánicos y granito del Mesozoico y Precámbrico (Schreiber, 1969). Punta Pelicano, a unas cuantas millas al oeste de Puerto Peñasco, consiste de un granito del Mesozoico entrelazado con pegmatita y diques de aplita. Punta Peñasco, la Colina Oscura de Puerto Peñasco y la Montaña Negra, localizadas al oeste de Punta Pelicano, son de basalto. La región del Penacate es una zona de basalto volcánico, la cual ocupa un área de 1600 km² de desierto; 55 km al norte de Puerto Peñasco y 65 km al oeste de Lukeville, Arizona (Schreiber 1969).

Características Meteorológicas. El tipo de clima del área es de desierto continental, con humedad y pluviosidad escasas. La media de lluvias para los meses de enero a octubre de 1973 es de 0.11 mm, (Sec. Rec. Hid. Del. Ensenada). El área está situada en una región árida, en donde la evaporación excede al afecto conjunto de la precipitación y aporte de los ríos (Green, 1969).

El clima árido se debe a dos factores; carácter general de la circulación atmosférica alrededor del centro de baja presión sobre México, y la Sierra alta y continua de la península de Baja California, la cual previene que el Océano Pacífico ejerza su influencia sobre la región, por lo que se puede decir que el área está controlada por un clima de tipo continental (Roden, 1957).

La distribución de temperatura del aire muestra valores mínimos en enero y febrero y máximos en julio y agosto. La media para los meses de enero a octubre de 1973 es de 22.2° C (Sec. Rec. Hid. Del. Ensenada). En general, el aire es más templado que el mar durante la primera mitad del año y más frío durante la segunda.

La distribución de los vientos muestra velocidades promedio bajas 9m/s para mayo; 11m/s para junio; 5m/s para julio; 3.7m/s para agosto y 5.8m/s para septiembre–octubre de 1973 (Datos de Cruceros).

La dirección de los vientos varía con la estación del año. Durante invierno los vientos del norte son predominantes; en primavera (mayo), los vientos dominantes fueron del sur, y durante los meses de otoño las direcciones fueron muy irregulares sureste, noreste y noroeste (Datos de Cruceros hidrográficos del I.I.O., 1972-73).

Características Oceanográficas. Las variaciones más grandes de temperatura en el Golfo de California ocurren en la parte cercana al delta, y generalmente en esta parte las aguas superficiales son más templadas en la región central del golfo. La salinidad superficial es más alta que la de las aguas de la misma latitud que se encuentran en el océano Pacífico del otro lado de la península de Baja California, esto se debe a la gran evaporación y a la ausencia de corrientes oceánicas en esta parte del golfo. La salinidad en la superficie varía mucho a lo largo del año, pero en general se observan gradientes ascendentes durante el verano en dirección noroeste.

Las mareas aumentan en amplitud de la boca del golfo a la costa del delta. Roden (1964) muestra un rango medio anual de más o menos 1 m en la boca del golfo y 7.3 m en la cabeza. El período de oscilación de mas mareas en esta área es semidiurno (Mathews, 1969).

La circulación superficial en el área está probablemente dominada por las corrientes de marea, sin embargo, todavía se sabe poco de la magnitud y dirección de estas corrientes así como de la circulación general. Thompson (1965) indica que la corriente de marea es casi rectilínea y que fluye paralela a los ejes del golfo. Las máximas velocidades se generan cerca del nivel medio de marea, durante el flujo.

Para resolver la interrogante planteada por Thompson (1969) sobre el sentido del giro de la corriente neta, sin tomar en cuenta el flujo y reflujos de las mareas en esta parte del golfo, se hicieron observaciones de los análisis hidrológicos llevados a cabo en esta área. Se nota que los parámetros fisicoquímicos del extremo norte afectan a las aguas adyacentes a Baja California, y los parámetros de la parte central del golfo afectan a las aguas aladeñas a Sonora. Por lo que se determinó que el sentido del giro es contrario al de las manecillas del reloj.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lista de Materiales

Muestreo

- 1 botella Van Dorn de 3 lts.
- 60 recipientes de plástico de 4 lts.
- 1 disco de Secchi

Análisis de laboratorio

- Aparato de filtración Millipore
- Filtros Nuclepore con poros de 8, 5 y 3 micras
- Bomba de vacío de 0.3 atm de presión

- Turbidímetro óptico Hellige No. 8000
- Agitador magnético
- Balanza analítica con aprox. de .0001 g
- Estufa
- Pinzas
- Magnetos
- Vidriería de laboratorio

Reactivos

- Agua destilada
- Peptizador (Na_2CO_3 0.1N)
- Agua oxigenada al 30%.

Métodos

Muestreo.—El plan de estaciones establecido (Figura 2), tiene en total 25 estaciones, notándose una mayor densidad en el extremo norte, debido a que esta es la zona en donde se encuentra la mayor cantidad de material en suspensión.

En total se llevaron a cabo dos cruceros, el primero en el período del 21 al 24 de mayo y el segundo del 30 de septiembre al 2 de octubre 1973 por lo que podemos considerarlas como condiciones de primavera y otoño. En el crucero de mayo se tomaron muestras en todas las estaciones y a tres niveles: superficie, cinco metros y diez metros (cuando la batimetría lo permitió), mientras que en el crucero de octubre sólo se muestreó en las estaciones de la 1 a la 18, a un solo nivel: superficie.

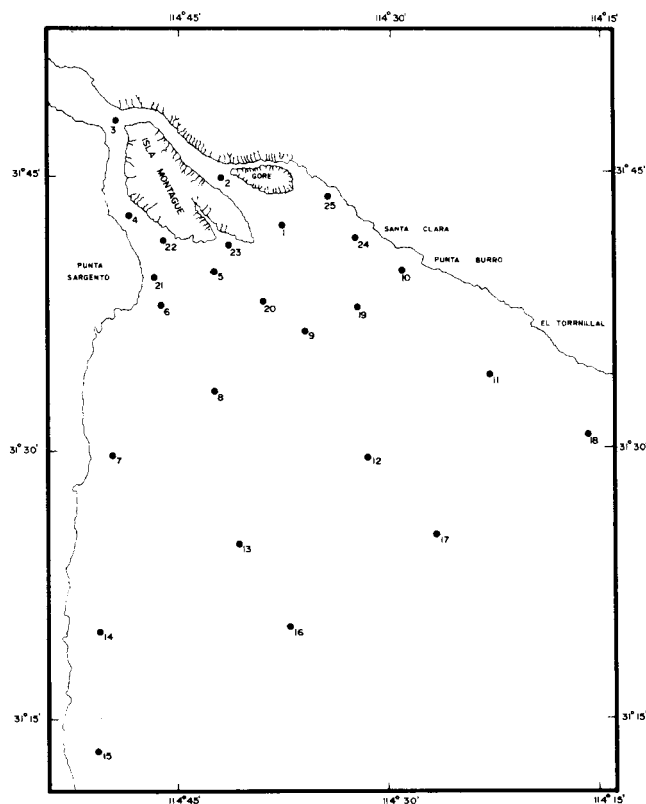


FIGURA 2. Plan de estaciones.

Las muestras fueron tomadas con botellas Van Dorn y depositadas después en recipientes de plástico numerados. El volumen de la muestra varió entre 1 y 4 litros.

Se hicieron también en cada estación observaciones de la transparencia de las aguas con el disco de Secchi. La precisión de este disco no está bien establecida, ya que depende de un gran número de factores, tales como ángulo de incidencia de la luz, lado del barco donde se lleva a cabo la medición, nubosidad, tipo de fondo, efectos del viento sobre la superficie del agua, corrientes, etc.; sin embargo, es común tomar como rango de precisión ± 1 m.

Análisis de Laboratorio. Se llevaron a cabo análisis de tipo cualitativo, cuantitativo y granulométrico. Además se hicieron determinaciones con el Turbidímetro Óptico y de cantidad de Materia Orgánica en el material en suspensión.

El análisis cualitativo se llevó a cabo en el campo con las mediciones hechas con el disco de Secchi, ya que se puede decir que dicho aparato da una idea cualitativa bastante buena de la turbidez.

Para los análisis cuantitativo y granulométrico de las muestras, se utilizó el método Millipore, el cual consiste en filtrar 100 ml de cada muestra en filtros del tipo Nuclepore cuyos poros tienen dimensiones de 8, 5 y 3 micras. Este método es experimental, por lo que su precisión no está aún bien establecida; las primeras 10 muestras fueron analizadas 6 veces cada una, y con ésto se determinó que la aproximación del método es de ± 1 mg/l.

Los pasos que se siguen a lo largo de todo el proceso son los siguientes:

1. Se colocan los filtros en cápsulas de petri de vidrio pyrex, con pinzas teniendo cuidado de no tocarlos con los dedos.

2. Se dejan durante cinco minutos aproximadamente, para que tomen la humedad del aire.

3. Se pesan en una balanza analítica con una aproximación de .0001 g.

4. Se colocan los filtros sobre el aparato de filtración Millipore, con pinzas, y se procede al filtrado de 100 ml de la muestra en cada uno de los filtros. Esto se lleva a cabo con una bomba al vacío de una presión de 0.3 atm. Cuando la muestra presenta gran cantidad de material, se filtra solamente un volumen de 50 ml. En algunas ocasiones se presenta floculación en las muestras, a éstas se les agregan 10 ml de peptizador (Na_2NO_3 0.1N).

5. Se vuelven a colocar los filtros sobre las cápsulas de petri y se llevan a la estufa, en donde permanecen durante cinco minutos a 60°C , perfectamente secos.

6. Se sacan de la estufa y se dejan otros cinco minutos para que vuelvan a adquirir la humedad y temperatura del aire.

7. Se vuelven a pesar y la diferencia en peso es la cantidad de material adquirido en la filtración.

De los filtros de 3 micras se obtienen datos de cantidad de material en suspensión (seston), en mg/l, para cada estación; del conjunto de los tres filtros y sacando diferencia entre cada uno se determina la granulometría en cada muestra, pero solamente de estas tres dimensiones, debido a que este método no ofrece una escala grande de tamaños.

Las muestras obtenidas en el crucero de mayo fueron analizadas también con un Turbidímetro Óptico. Este aparato mide la turbidez en partes por millón, basándose en el principio de la penetración de un rayo luminoso a través de una cantidad de agua determinada. El Turbidímetro sólo mide la turbidez debida a partículas de SiO_2 (Hellige Turbidimeter Directions), pero no determina material orgánico o de otra naturaleza.

En las muestras del crucero de octubre se hicieron determinaciones de la cantidad de materia orgánica. Para esto, lo que se hace es filtrar 100 ml de la muestra en un filtro de 3 micras en la misma forma antes mencionada y después de sacar la diferencia en peso, se vuelve a colocar el filtro en el aparato y, sin aplicar vacío se le agregan 15 ml de agua oxigenada al 30%, se deja así durante dos horas para que la materia orgánica sea oxidada y una vez pasado ese tiempo se aplica vacío y se lava el aparato con agua destilada, se saca el filtro, se seca y se vuelve a pesar. La diferencia en peso entre los dos filtrados determina la cantidad de materia orgánica en cada muestra, la cual se expresa en porciento. Este método también es experimental y su precisión no se conoce, tampoco se determinó si después de analizada la muestra quedó o no materia orgánica en la misma, sin embargo se puede decir que este método nos da una idea proporcional de la cantidad de materia orgánica que existe en el material en suspensión.

RESULTADOS

Se llevaron a cabo, como se dijo anteriormente, dos cruceros, el primero en el período del 21 al 24 de mayo y el segundo del 30 de septiembre al 2 de octubre 1973, a bordo de la embarcación ADVENTYR de la Universidad de Sonora.

La localización de las estaciones en el campo (Figura 2) fué por estima, en algunas ocasiones no se ocuparon las estaciones del norte en el lugar exacto debido a que la profundidad es baja y las mareas son de gran amplitud.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1. *Transparencia de las aguas.* En la distribución de la transparencia del mes de mayo (Figura 3) se distinguen claramente tres zonas, la primera situada al noroeste del área de estudio en donde la transparencia es menor a 0.5 m; la segunda en una posición intermedia entre el noroeste y el sureste, observándose claramente paralela a la primera zona, en donde la transparencia varía entre 0.5 y 1.0 m y, por último, una tercera zona en donde la

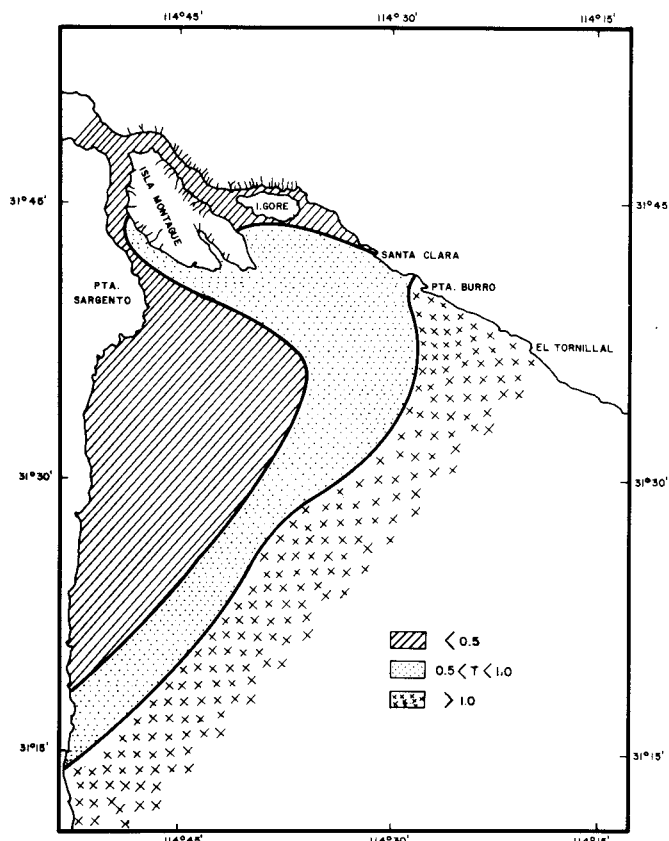


FIGURA 3. Distribución de la transparencia de las aguas (profundidad en metros), determinados con el disco de Secchi. Mayo.

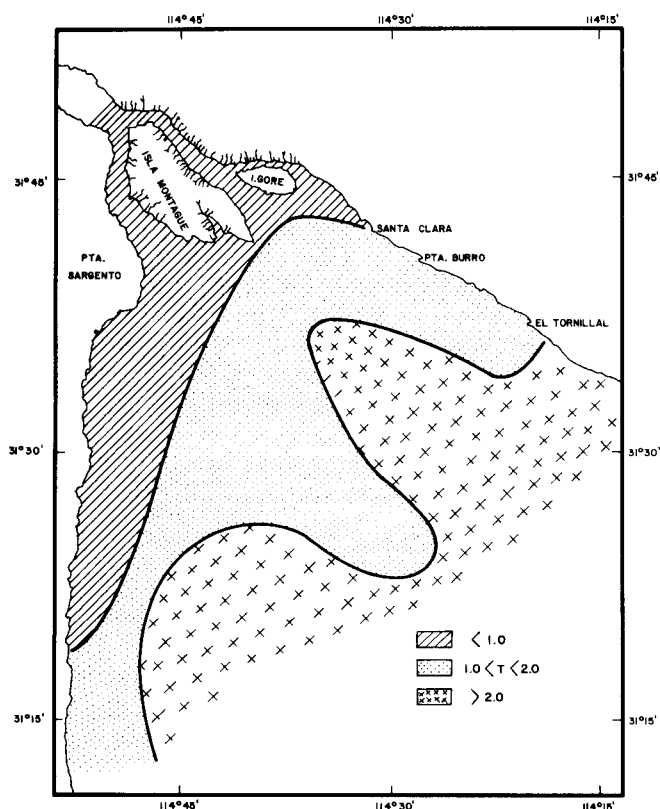


FIGURA 4. Distribución de la transparencia de las aguas (profundidad en metros), determinados con el disco de Secchi. Octubre.

transparencia es mayor a 1.0 m. En la primera zona existe un gradiente descendente hacia la costa de Baja California, mientras que en la segunda no existe ningún gradiente, notándose la posibilidad de dividir el área en dos zonas únicamente. En la tercera zona hay que notar que la transparencia aumenta muy rápidamente hacia el sureste, haciéndose esto más marcado hacia el centro del golfo que hacia los extremos, ya que en la Estación 17 hay 11 m de transparencia, mientras que en la 16 hay 5 y en la 18 hay 6 m.

En la distribución de transparencia de octubre (Figura 4) se notan también tres zonas aunque éstas son menos claras, pero en los dos cruceros se observó como característica constante una mayor concentración de material, por lo tanto menor transparencia en la zona noroeste y un gradiente descendente en dirección suresta. La primera zona al noroeste tiene una transparencia menor a 1.0 m; en la segunda zona que está intermedia la transparencia varía entre 1.0 y 2.0 m y en la tercera es mayor a 2 m.

2. *Distribución de seston.* En el mes de mayo en superficie se observa una división del área en cuatro zonas muy bien marcadas (Figura 5). Una primera zona noroeste con valores de seston mayores a 100 mg/l, encontrándose un valor máximo de 132 mg/l en la Estación 7; en la segunda zona se nota un gradiente ascendente hacia el norte, ya que en la Estación 3 situada al norte de isla Montague, se encuentra un valor de 78 mg/l; en la tercera zona la cantidad de material disminuye hacia el sureste, y en la cuarta zona esta disminución se hace más marcada hacia el centro del golfo y en dirección sureste, encontrándose un valor mínimo para toda el área de 3 mg/l en la Estación 17.

Las muestras tomadas a 5 m de profundidad no fueron suficientes para determinar curvas de distribución, sin embargo los resultados obtenidos se presentan (Figura 6), encontrándose valores máximos de 25 mg/l en las Estaciones 5 y 14 y un mínimo de 5 mg/l en la Estación 17.

A 10 m de profundidad el número de muestras fué aún menor (Figura 7), observándose un máximo de 14 mg/l en la Estación 13 y un mínimo de 4 mg/l en la Estación 11.

En la distribución superficial de seston de octubre (Figura 8), se encuentra el área dividida en tres zonas, con valores máximos de 16 mg/l en las Estaciones 5 y 6, y un mínimo de 1 mg/l en la Estación 13.

3. *Distribución del material en partes por millón (ppm), determinada con el Turbidímetro.* Sólo las muestras de mayo fueron analizadas con el Turbidímetro, y se obtuvieron tres gráficas, una para cada uno de los niveles muestreados. La gráfica de superficie es la única que presenta curvas de distribución, debido a que en las otras dos no se contó con el número de muestras necesario para establecerlas.

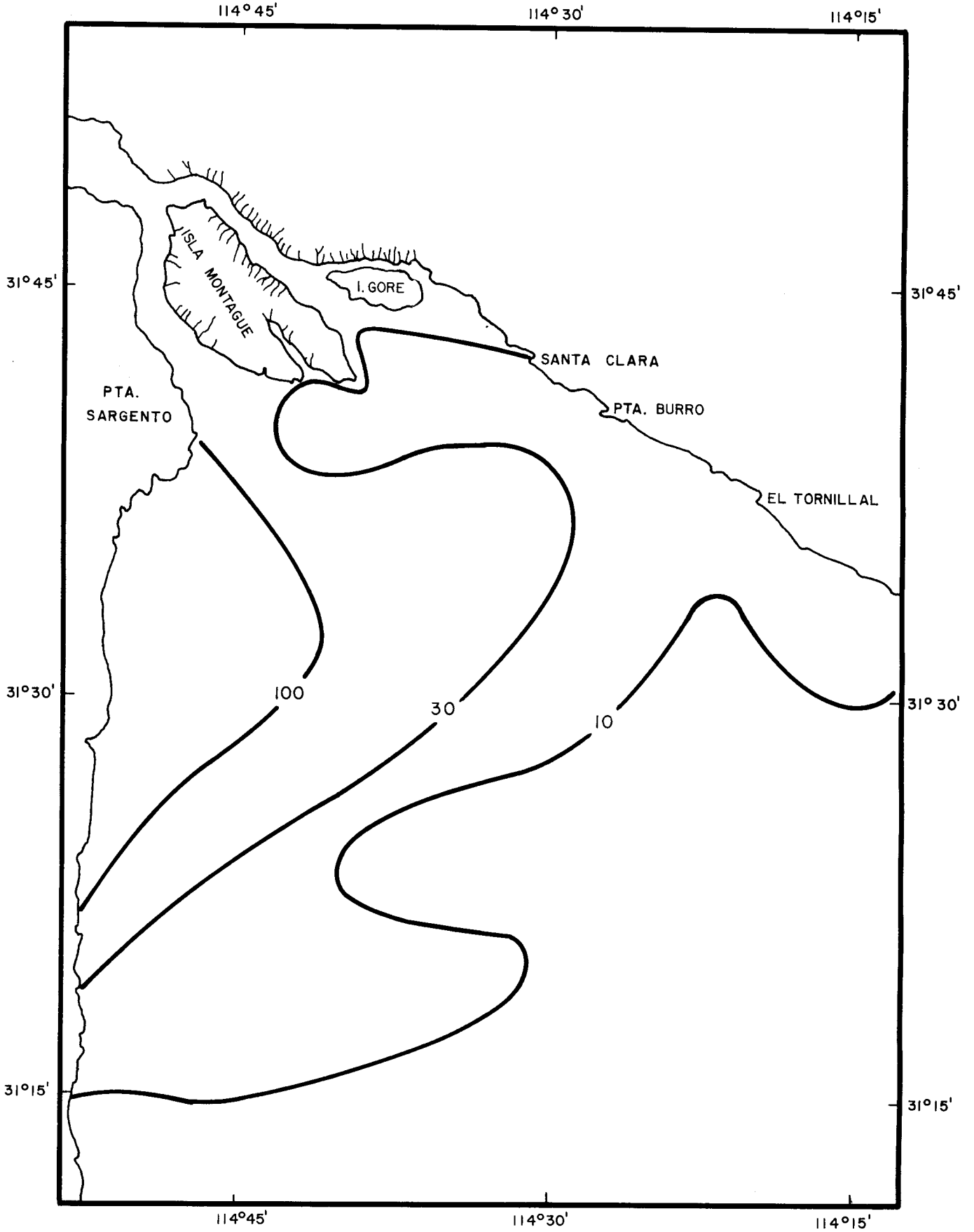


FIGURA 5. Distribución superficial de seston (mg/l). Mayo.

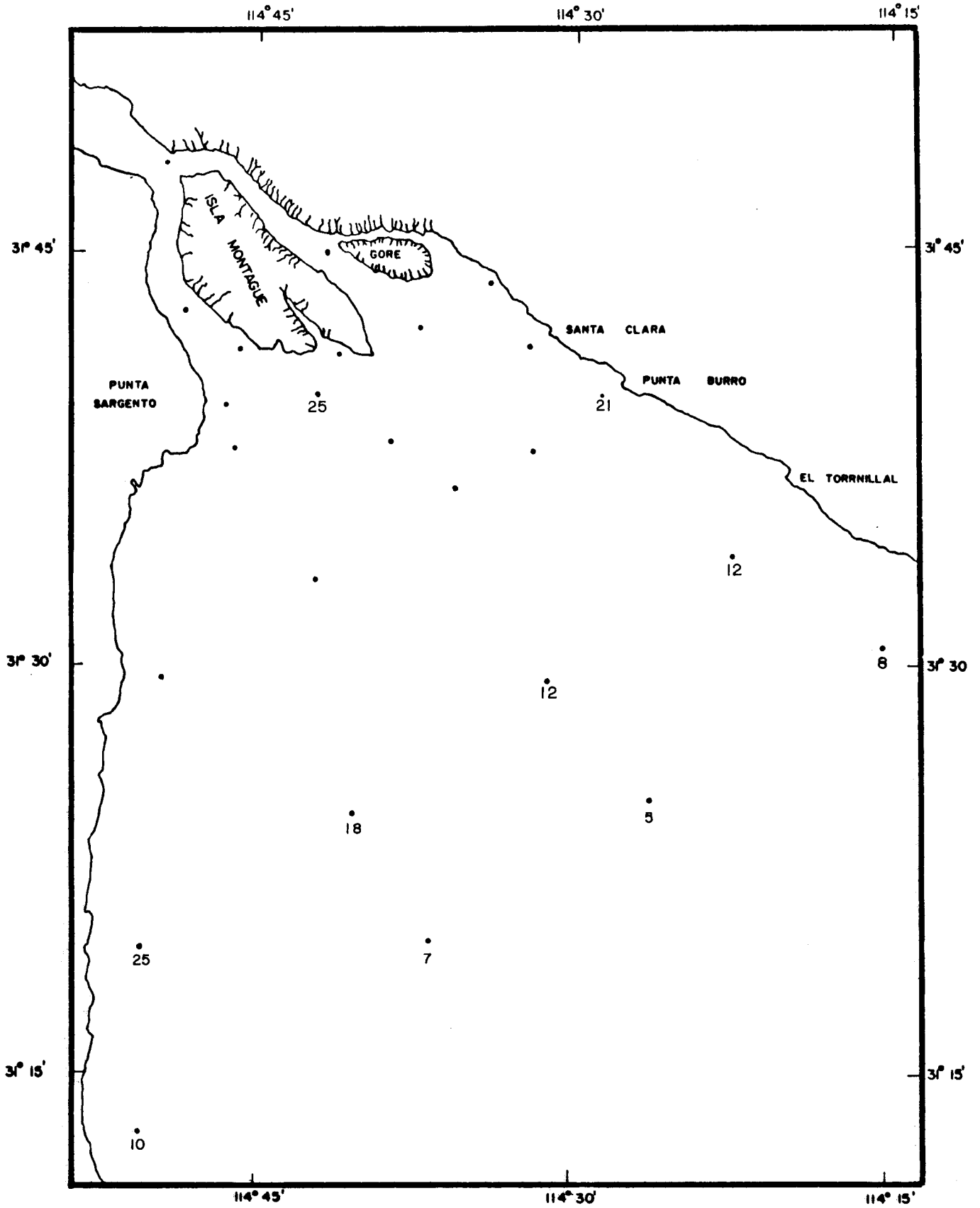


FIGURA 6. Seston (mg/l), a 5 m de profundidad. Mayo.

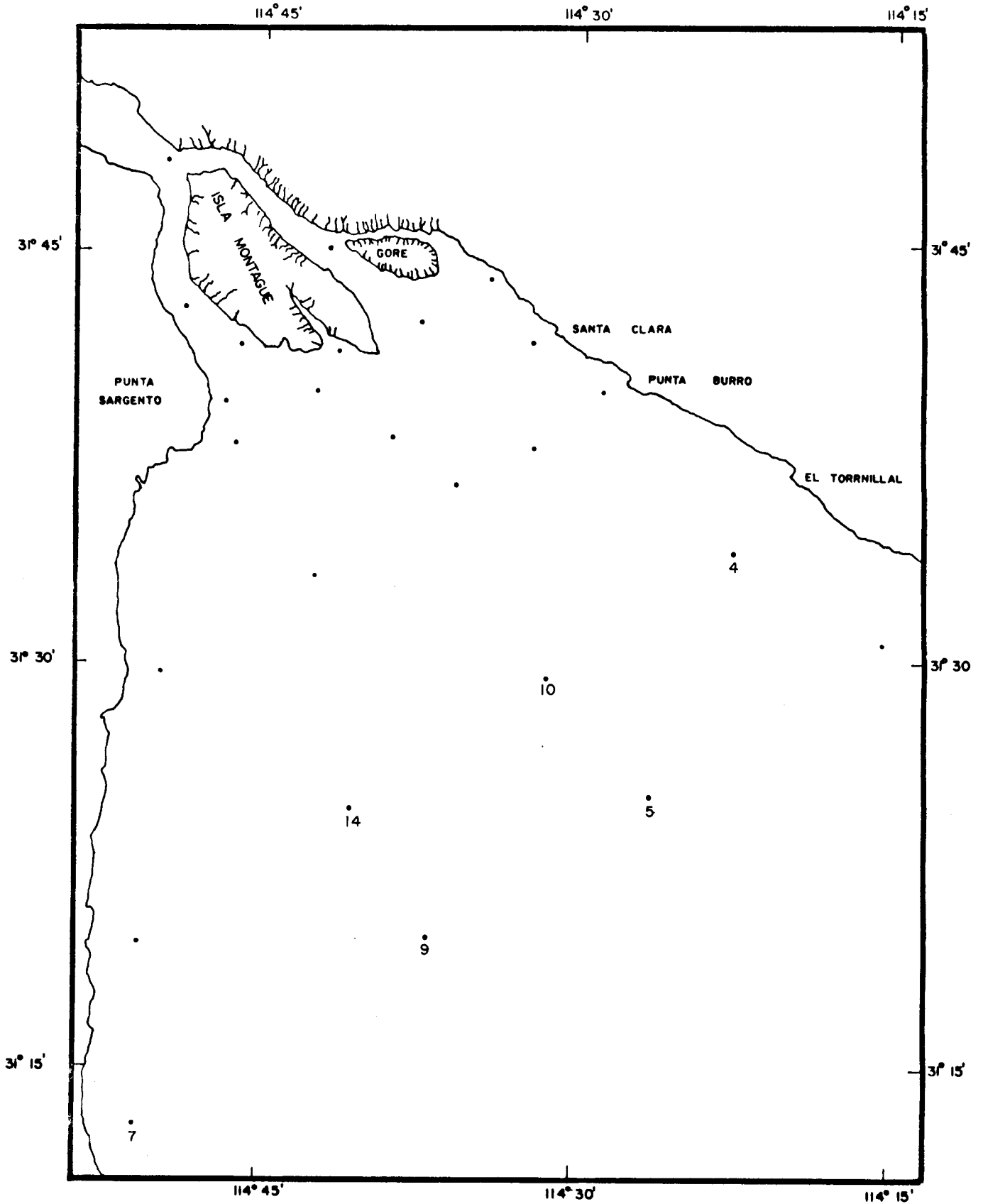


FIGURA 7. Seston (mg/l), a 10 m de profundidad. Mayo.

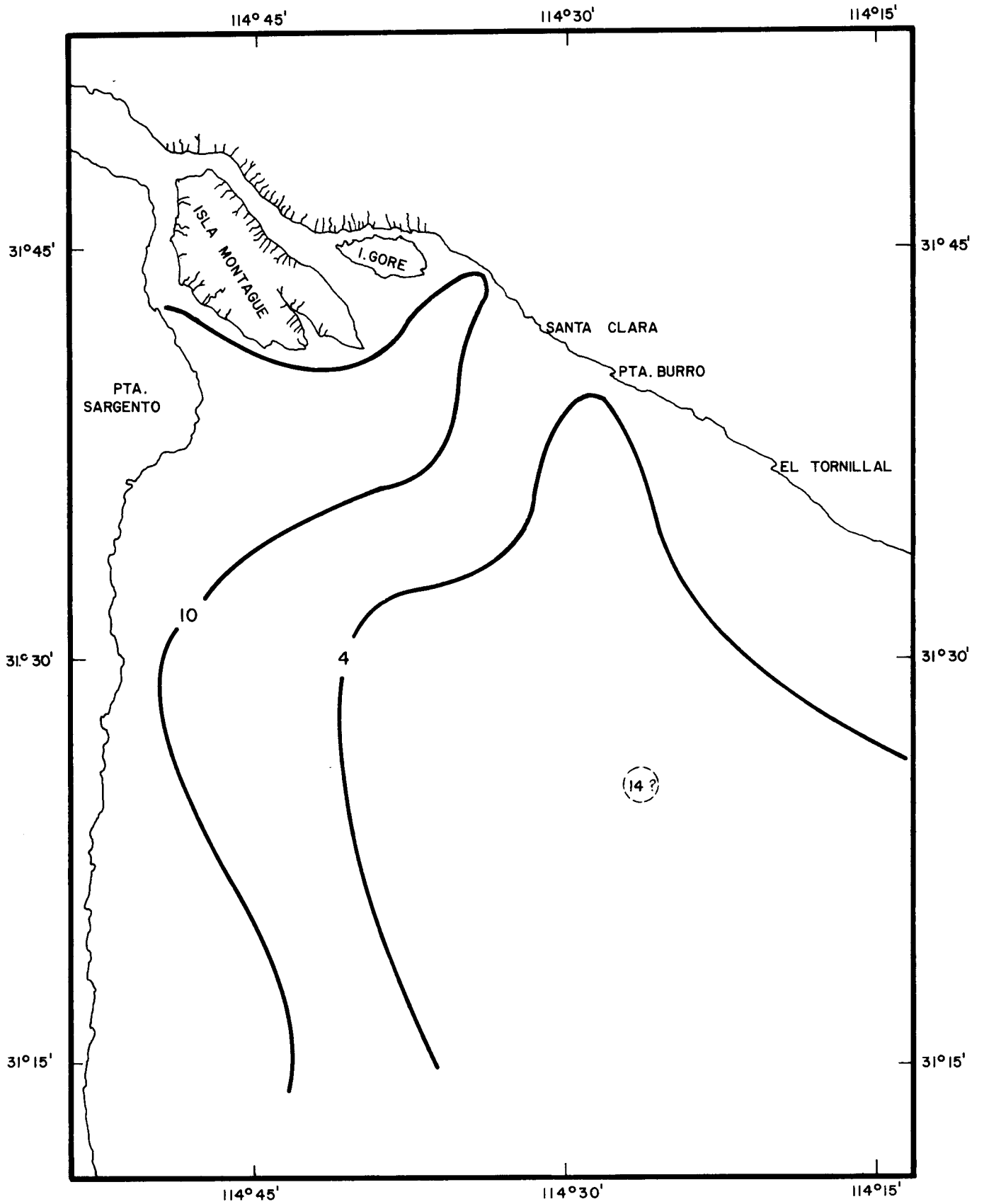


FIGURA 8. Distribución superficial de seston (mg/l). Octubre.

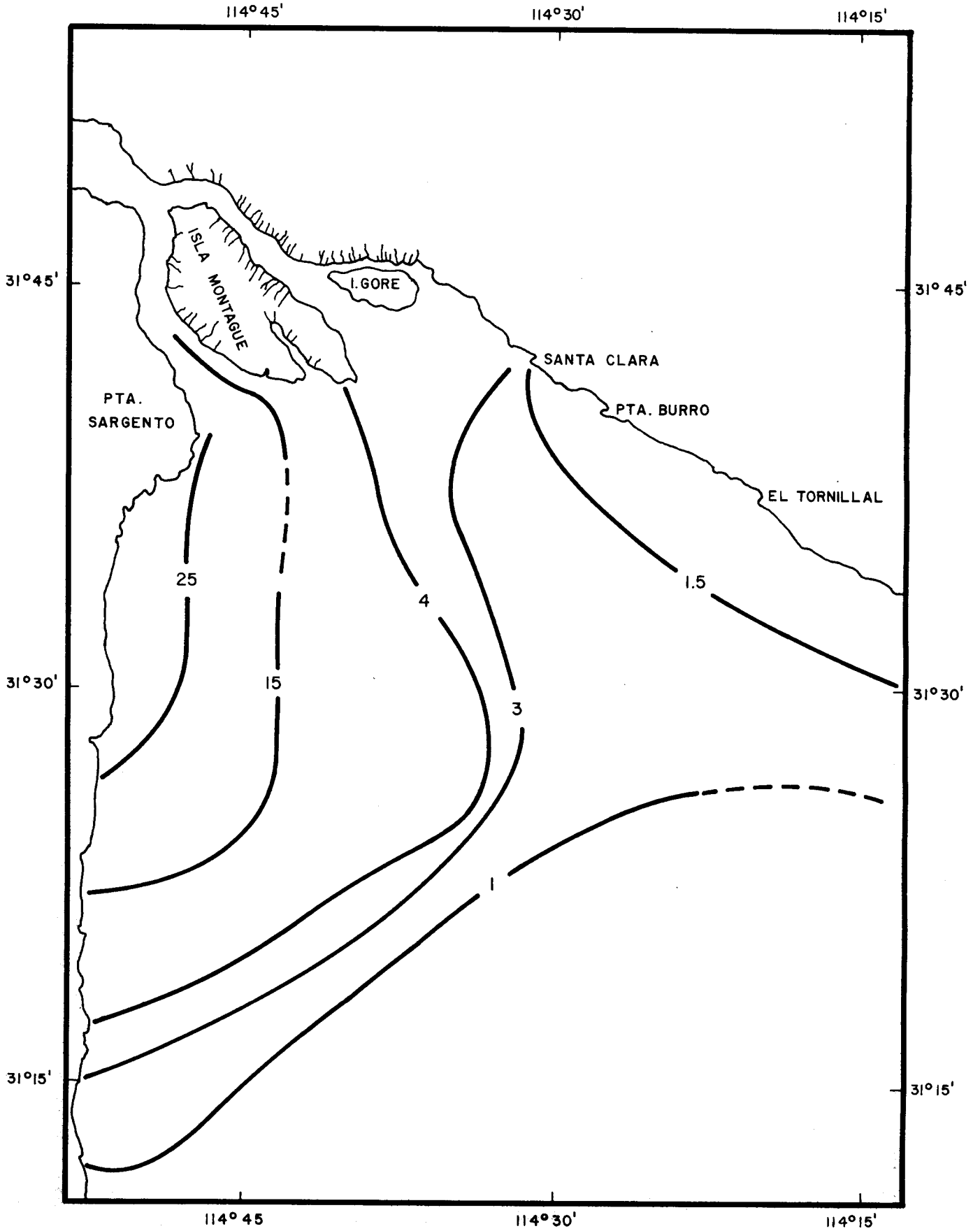


FIGURA 9. Distribución superficial del material en suspensión (p.p.m.), determinada con el turbidímetro. Mayo.

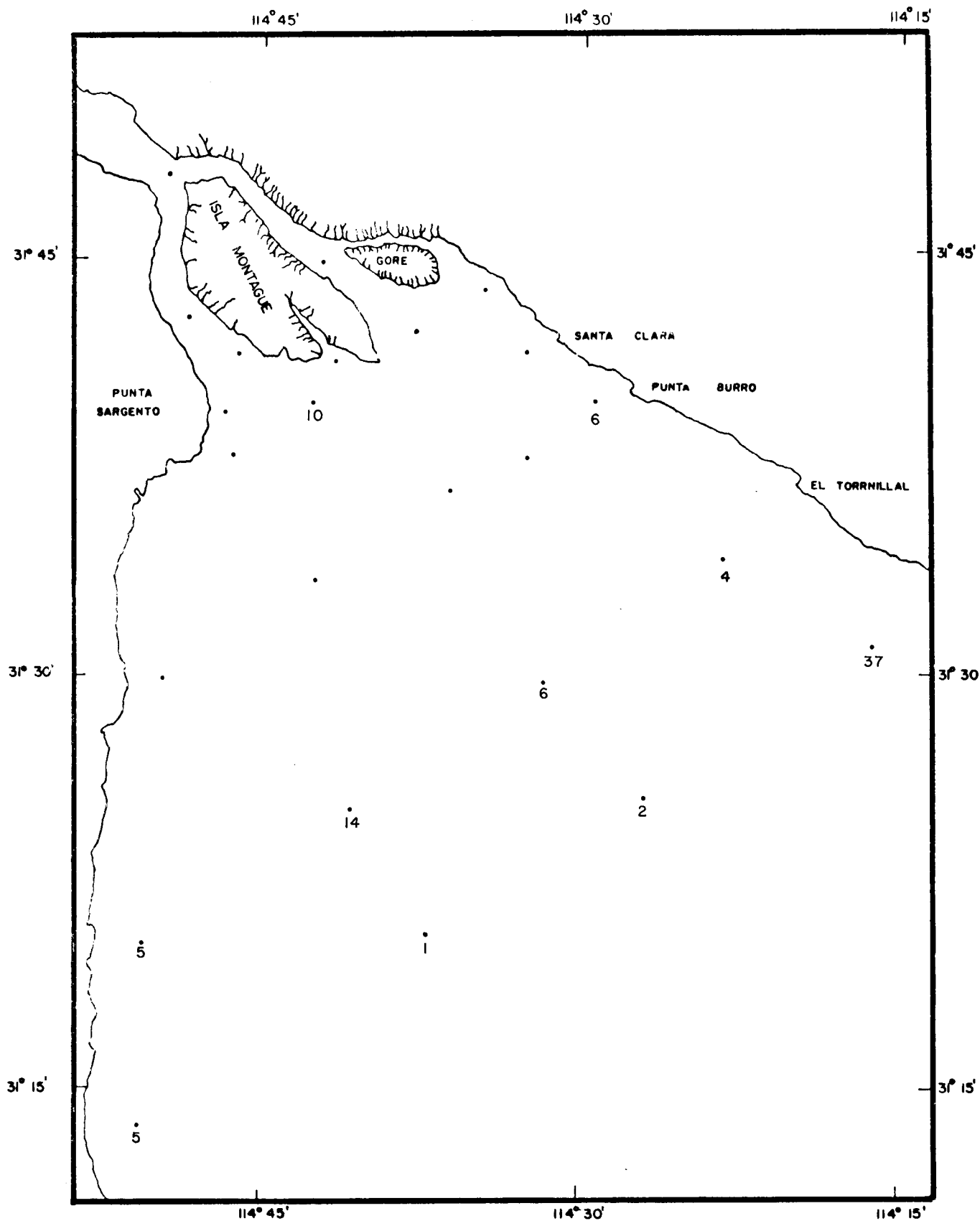


FIGURA 10. Material en suspensión (p.p.m.) a 5 m de profundidad. Mayo.

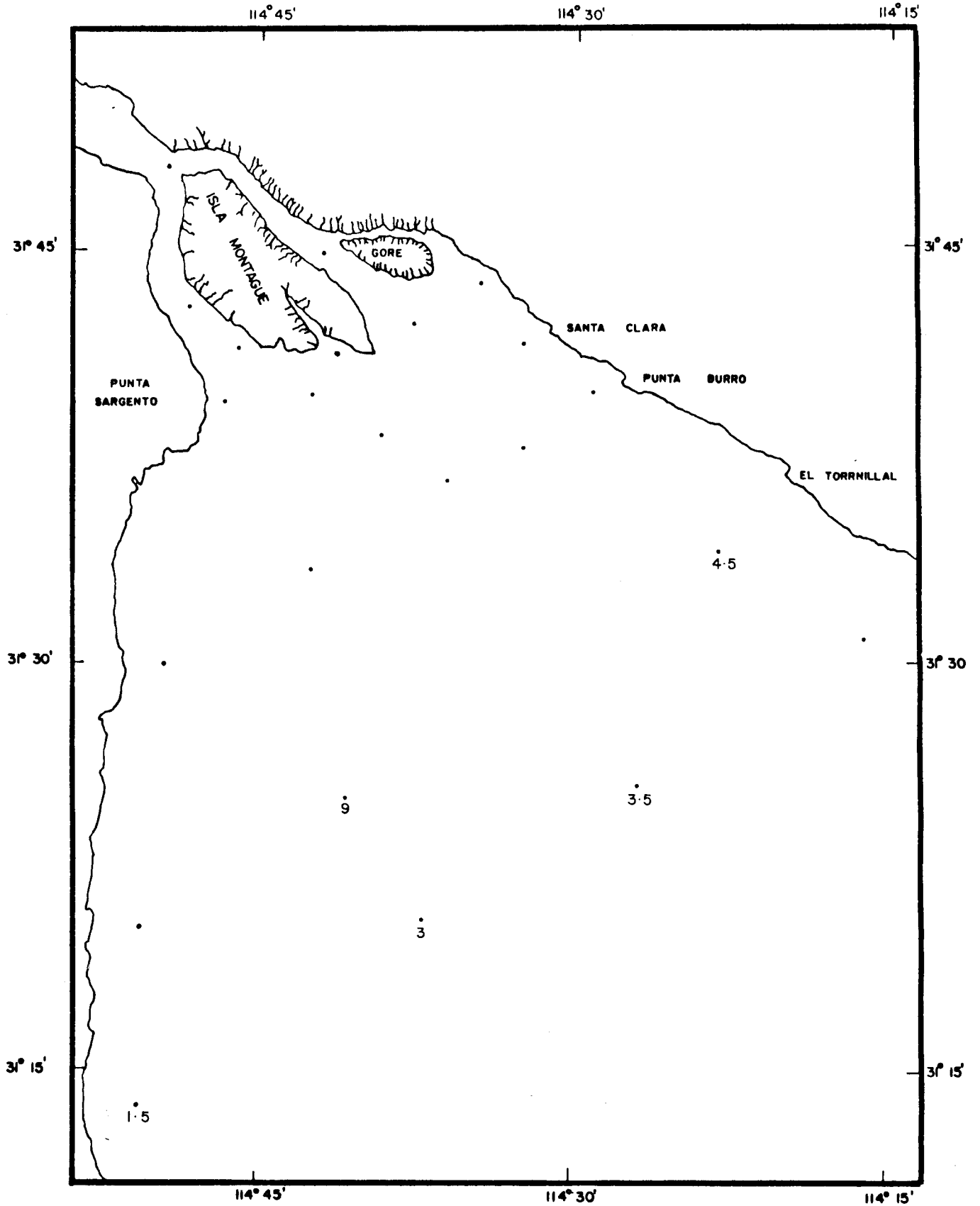


FIGURA 11. Material en suspensión (p.p.m.) a 10 m de profundidad. Mayo.

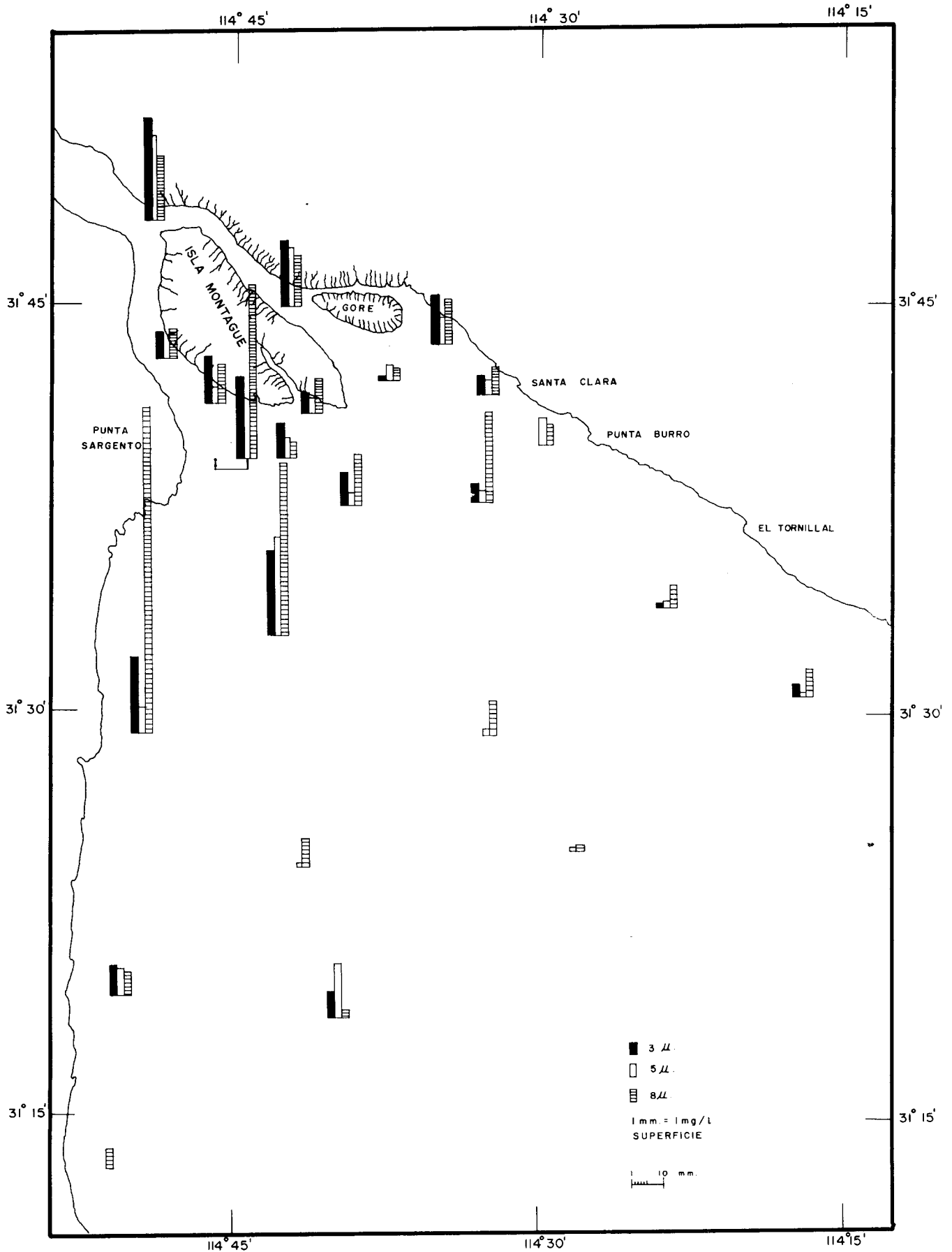


FIGURA 12. Distribución superficial de granulometria. Mayo.

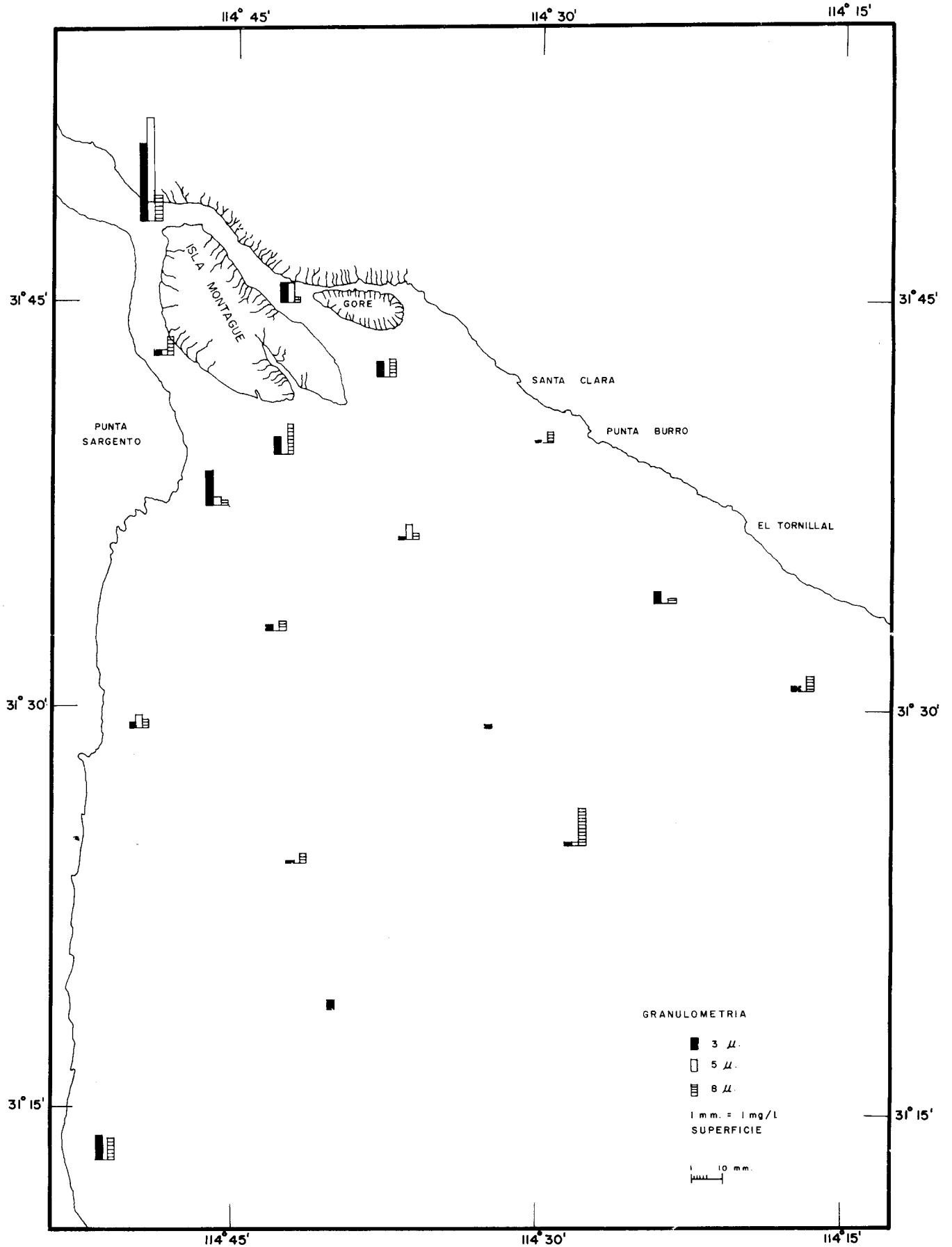


FIGURA 13. Distribución superficial de granulometria. Octubre.

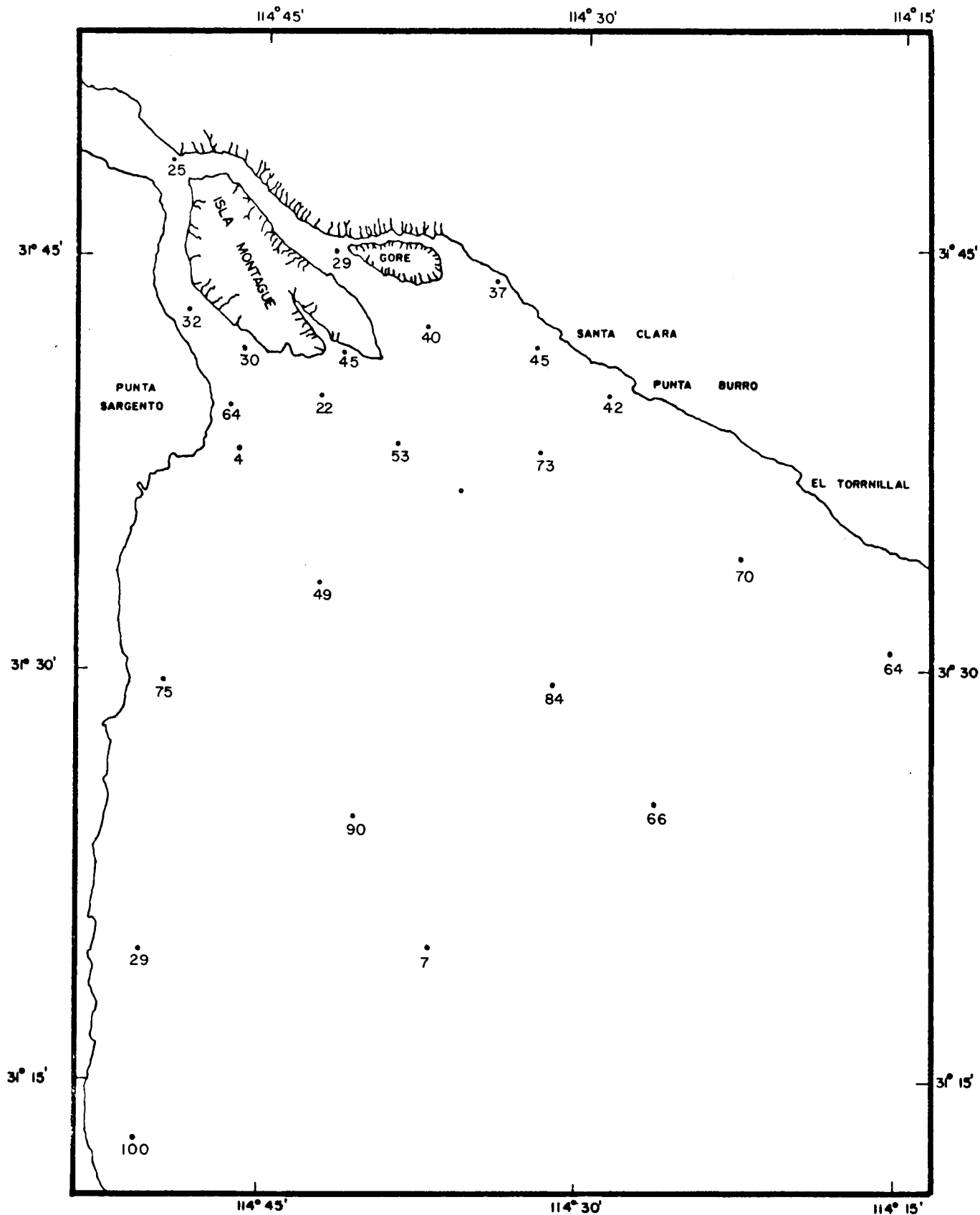


FIGURA 14. Distribución superficial de porcentaje de material mayor a 8 micras. Mayo.

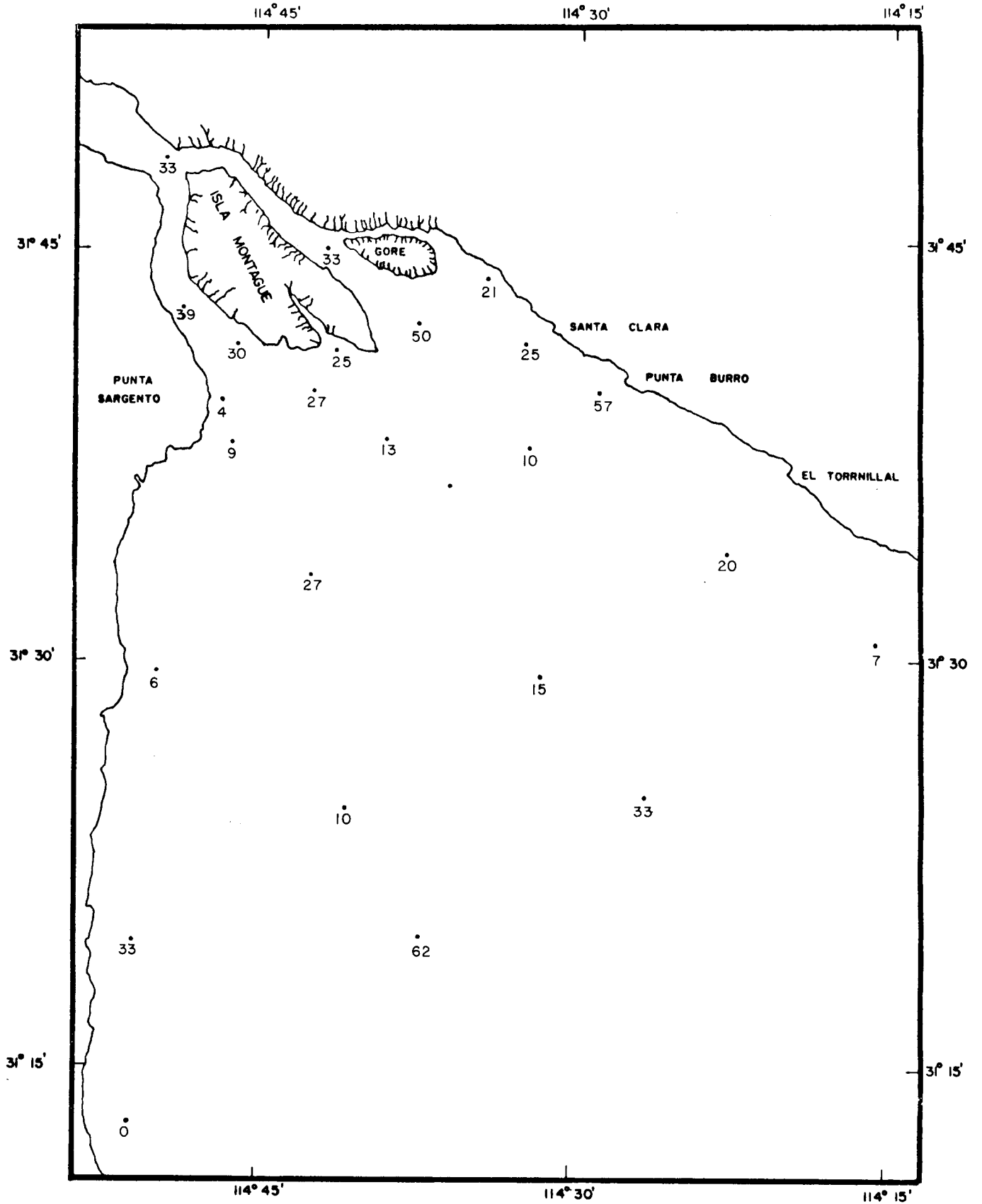
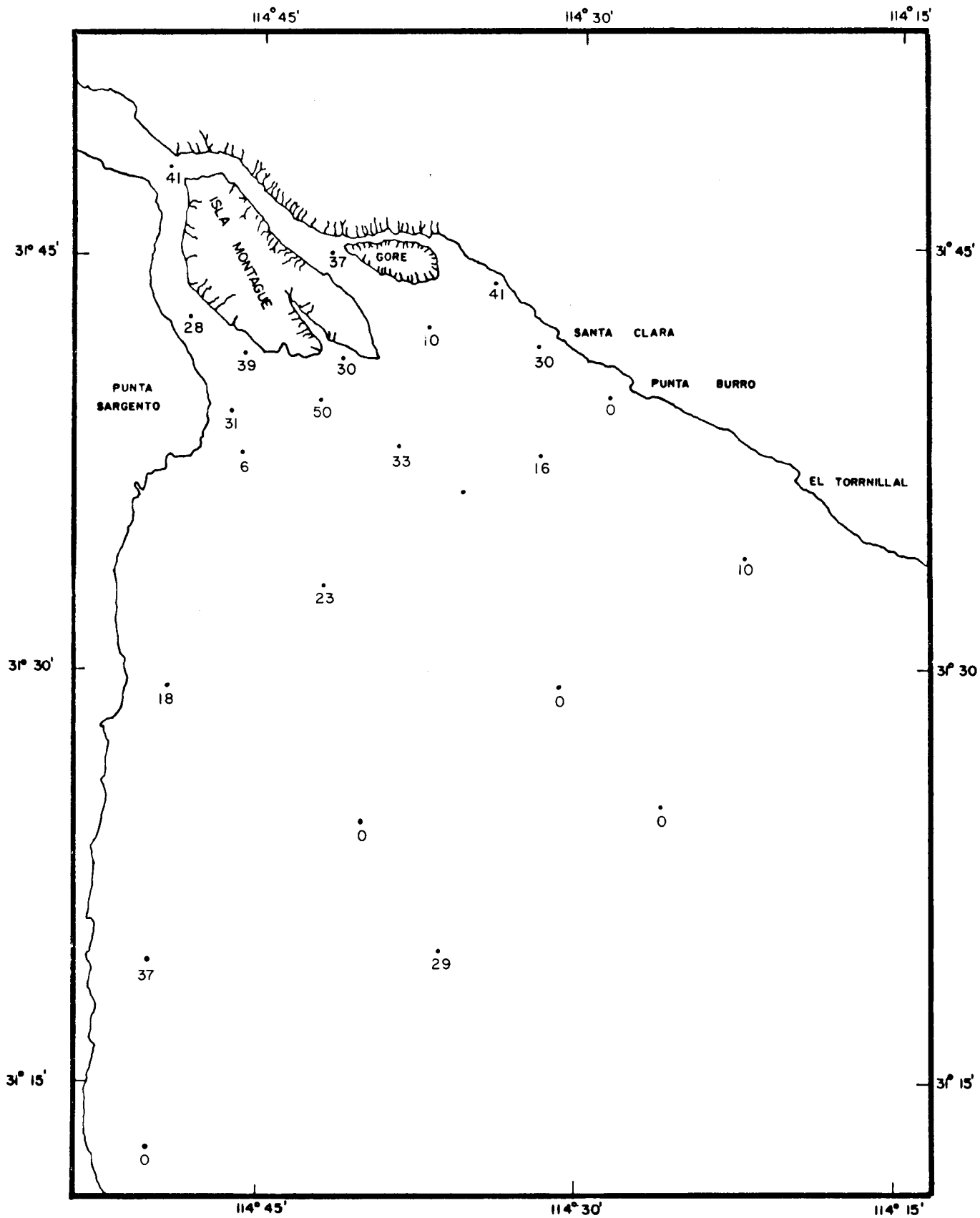


FIGURA 15. Distribución superficial de porcentaje de material entre 8 y 5 micras. Mayo.



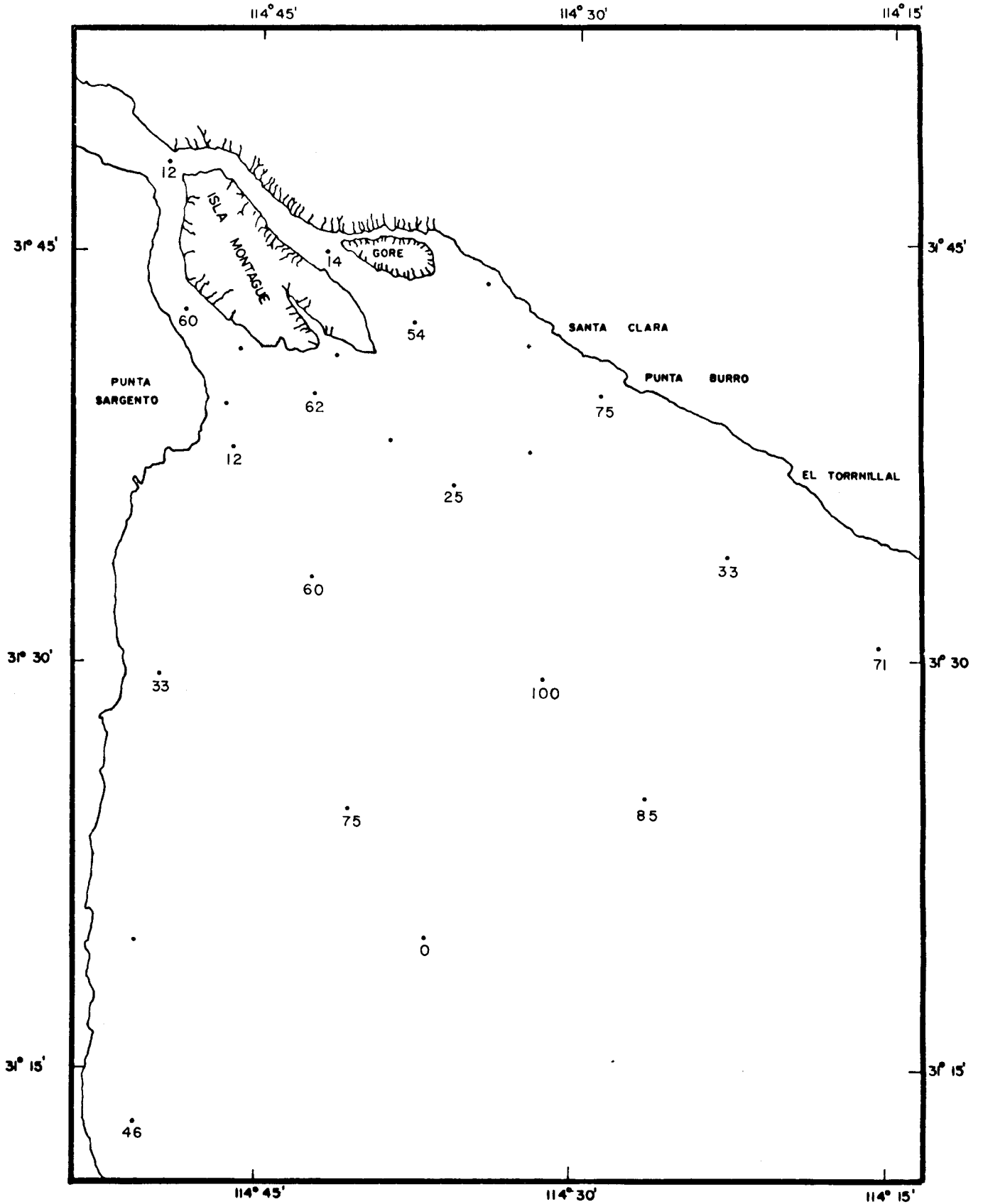


FIGURA 17. Distribución superficial de porcentaje de material mayor a 8 micras. Octubre.

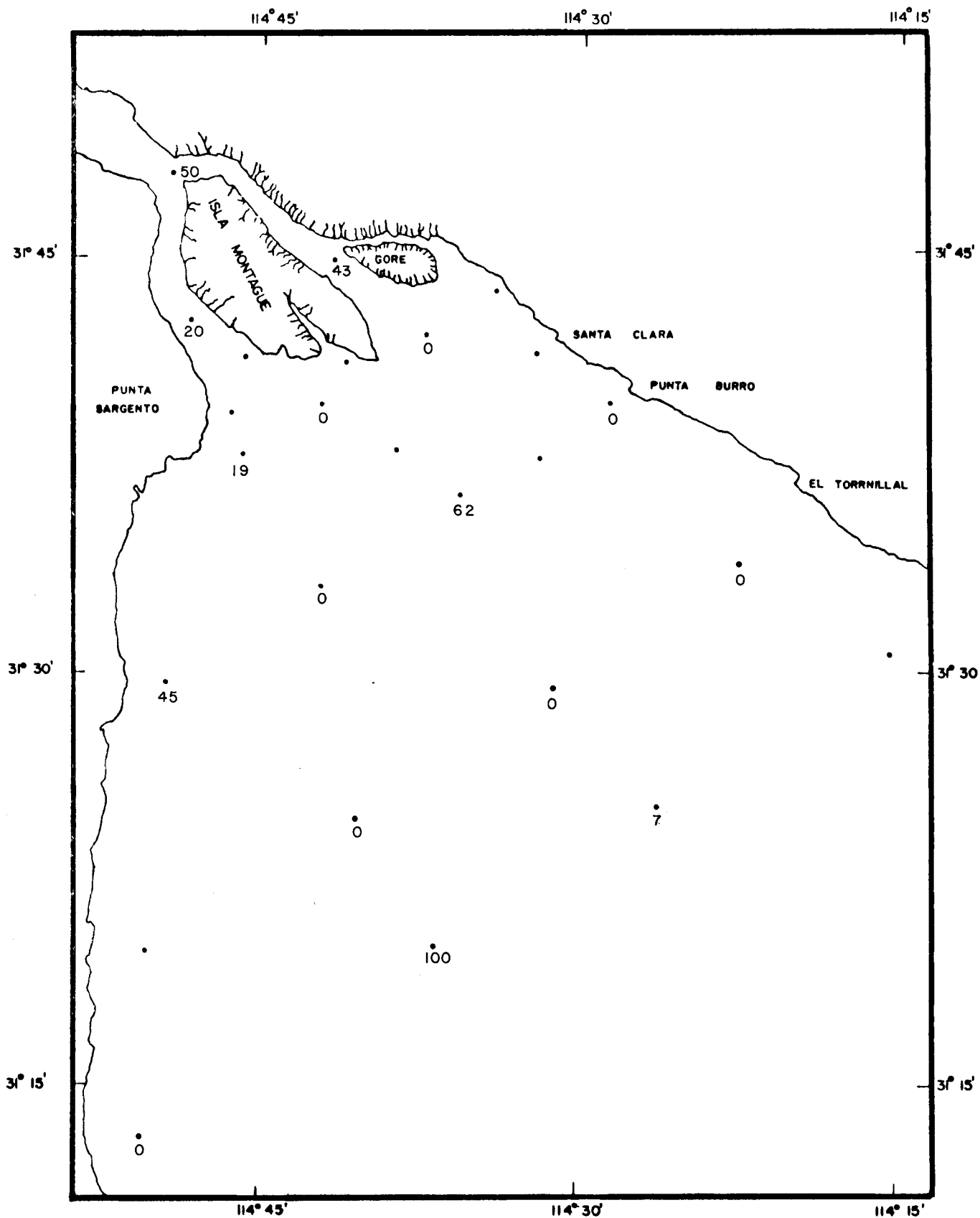


FIGURA 18. Distribución superficial de porcentaje de material entre 8 y 5 micras. Octubre.

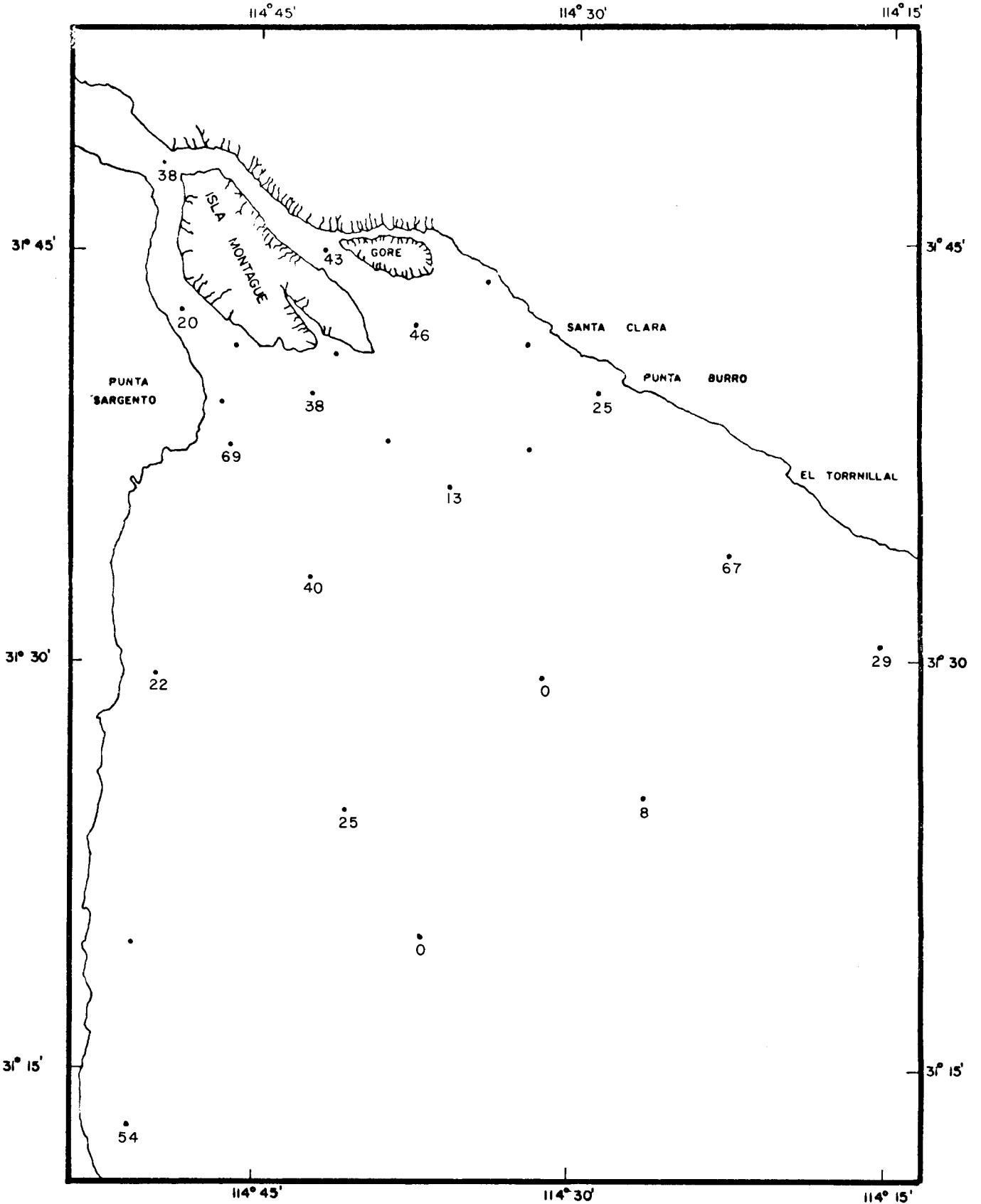


FIGURA 19. Distribución superficial de porcentaje de material menor a 5 micras. Octubre.

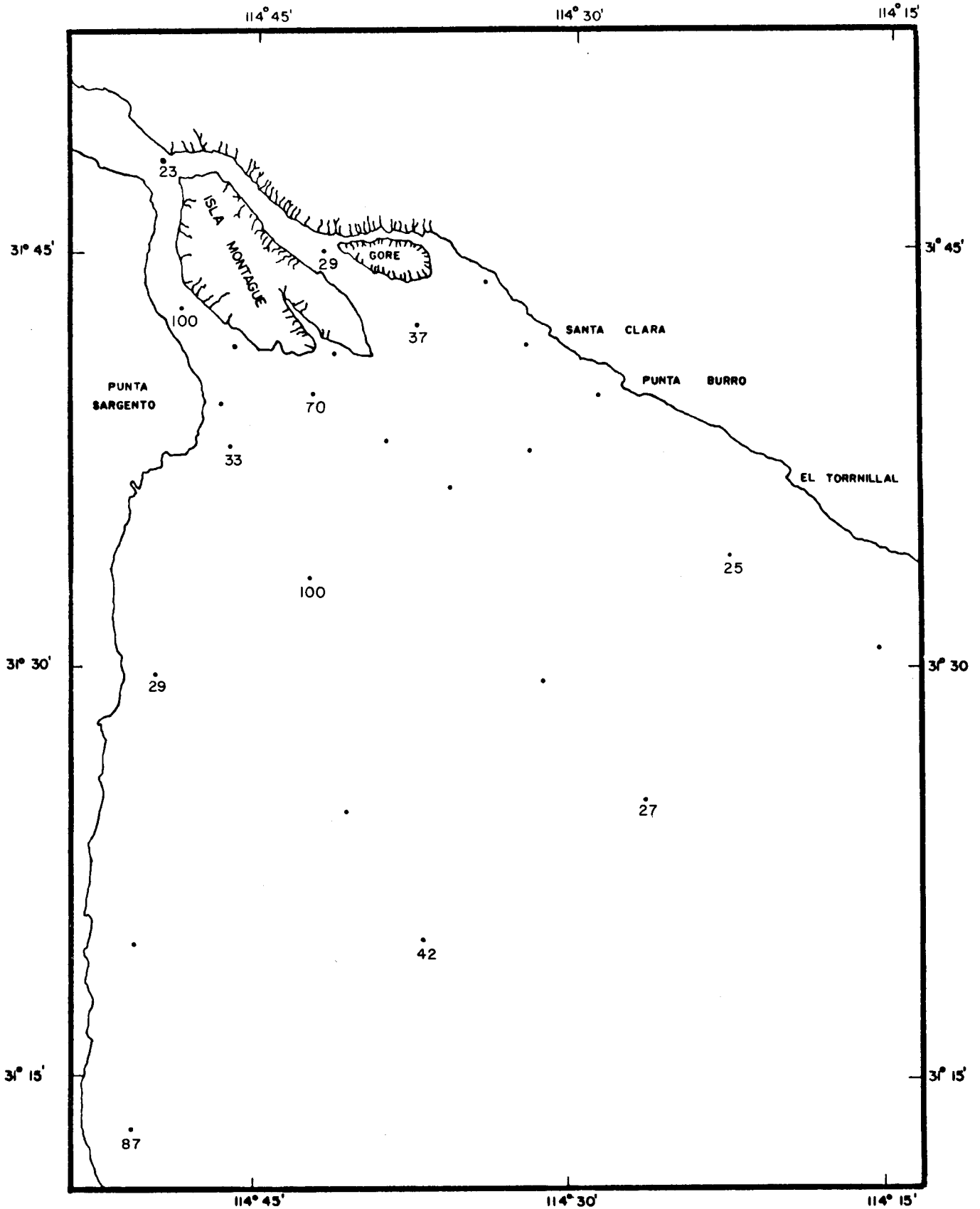


FIGURA 20. Distribución superficial de por ciento de materia orgánica. Octubre.

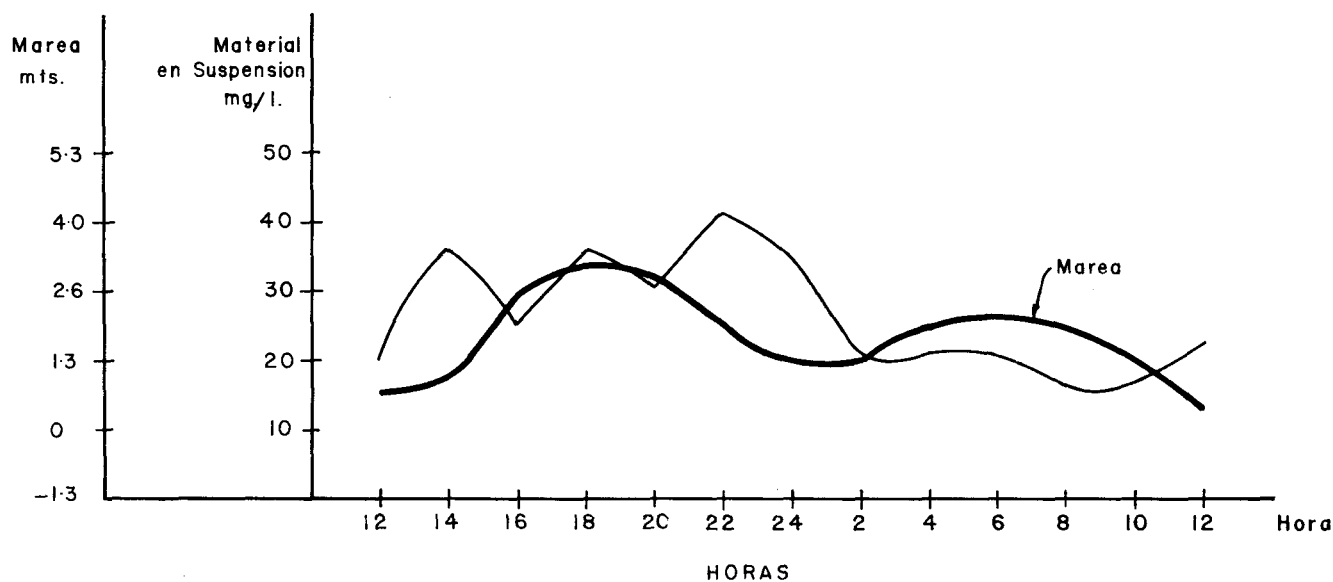


FIGURA 21. Variación diaria. Estudio del material en suspensión (mg/l) y la marea a lo largo de 24 horas en la Estación 24. Mayo.

En la distribución de superficie (Figura 9), se encuentran las mayores concentraciones de material hacia la región noroeste del área, encontrándose un valor máximo de 27 ppm en la Estación 7 y mínimos de 1 ppm en las Estaciones 16 y 17.

A los 5 m de profundidad (Figura 10), se encuentra un valor máximo de 37 ppm en la Estación 18 y un mínimo de 1 ppm en la Estación 16.

A los 10 m de profundidad (Figura 11), el valor máximo es de 9 ppm en la Estación 13 y un mínimo de 3 ppm en la Estación 16.

4. *Granulometría.* En la distribución superficial de la granulometría del mes de mayo (Figura 12), se nota en la zona noroeste un mayor porcentaje de material de tamaño mayor a 8 micras, mientras que en la zona norte y noreste se observan valores de tendencia contraria. En la parte sur, se encuentra gran irregularidad en los valores.

En la distribución superficial de octubre (Figura 13), se nota una considerable disminución en la cantidad de partículas mayores a 8 micras.

También se determinaron porcentajes del tamaño del material. En el mes de mayo, en porcentajes de partículas mayores a 8 micras (Figura 14), se nota en general una disminución hacia el norte del área. El valor máximo fué de 100% en la Estación 15, y el mínimo de 7% en las Estación 16.

En los porcentajes de partículas entre 8 y 5 micras (Figura 15), se observa bastante irregularidad en la distribución de los valores, notándose un máximo de 62% en la Estación 16 y un mínimo de 4% en la Estación 21.

Los porcentajes de material menor a 5 micras (Figura 16) se ven bastante reducidos, encontrándose un máximo de 50% en la Estación 5 y mínimos de 0 en varias estaciones del sur.

En la distribución de porcentajes de material mayor a 8 micras del crucero de octubre (Figura 17) se observa un valor máximo de 100% en la Estación 12 y un mínimo de 0 en la Estación 16.

En la gráfica de porcentajes de material entre 8 y 5 micras (Figura 18) se nota en general una disminución en los valores, encontrándose un máximo de 100% en la Estación 16 y un gran número de estaciones con valores 0. Para las partículas menores a 5 micras (Figura 19) se nota un decrecimiento de los valores en dirección sureste, teniendo un máximo de 67% en la Estación 11 y mínimos de 0 en las Estaciones 12 y 16.

5. *Materia orgánica.* Sólo se determinaron porcentajes de materia orgánica en las muestras obtenidas en el crucero de octubre (Figura 20). En general, la distribución de dichos valores es bastante irregular, se observan dos máximos de 100% en las Estaciones 4 y 8, y un mínimo de 23% en la Estación 3. Hay que hacer notar que las muestras fueron analizadas varios días después de ser tomadas, por lo que los resultados pueden haber sido afectados por la acción bacteriana.

DISCUSIONES

Los muestreos no fueron llevados a cabo simultáneamente, y los parámetros medidos en este trabajo entre una y otra estación varían de acuerdo a las condiciones de marea, luz, temperatura, etc., por lo que los valores determinados no son de precisión. Con el fin de conocer este rango de variabilidad se llevó a cabo la medición de una variación diaria en la estación 24 durante el crucero de mayo (Figura 21), en la que se observa un cambio de 20 a 40 mg/l de seston en la misma estación.

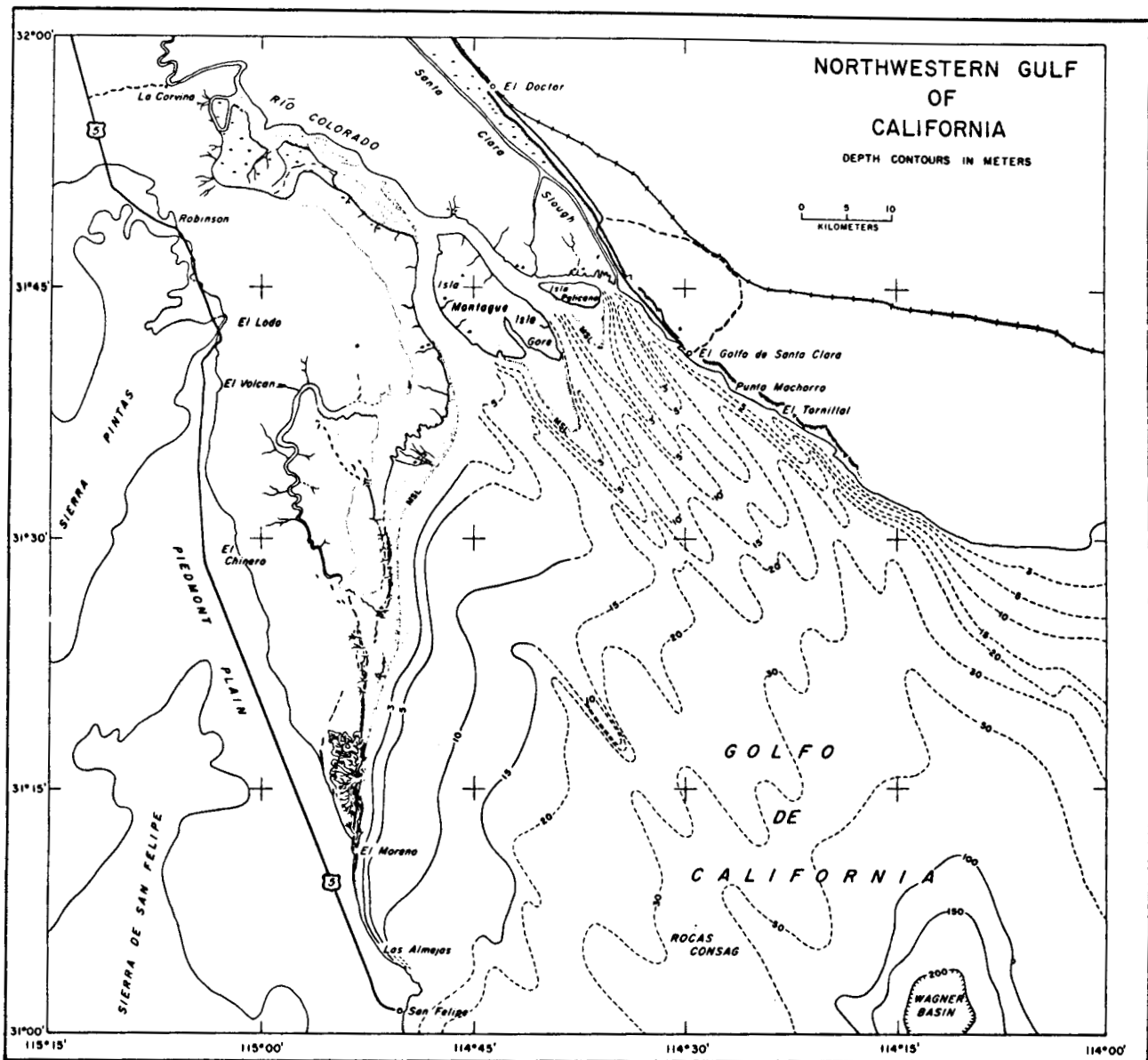


FIGURA 22. Batimetría del área de estudio establecida por Thompson en 1965.

Una de las posibles razones por la que se encuentra mayor concentración de material en suspensión en la zona noroeste del área de estudio, puede ser la batimetría de la misma, ya que la topografía del fondo en la costa de Baja California es amplia y de pendiente suave, en contraste con la costa de Sonora cuya plataforma es mucho más estrecha y abrupta (Figura 22).

En la gráfica elaborada por Thompson (1965), de la distribución superficial de los sedimentos de fondo en la misma área (Figura 23), claramente se observa que los sedimentos finos (limos y arcillas), se encuentran en la costa noroeste, mientras que en la costa sureste, el sedimento es más grueso (arena), lo cual se correlaciona con los resultados de este estudio.

El examen de la gráfica del estudio de la variación diaria (Figura 21), nos muestra varias cosas. Se puede observar claramente que existe un rango de variación bastante grande (20-40 mg/l), se nota que el máximo de turbidez se obtiene cuatro horas antes de la marea baja. Estos elementos hacen pensar que existe una masa de agua turbia que se desplaza con el flujo y reflujo de las mareas de norte a sur. Este fenómeno bien conocido en los estuarios fué llamado "tapón lodoso" (Berthois, 1945), y hasta ahora no ha sido mencionado en aguas marinas.

Hay que tomar en cuenta que en nuestra área de estudio los agentes dinámicos no sólo son el flujo y reflujo de las mareas, sino también la corriente neta que forma en esta región del golfo, un giro en sentido contrario a las manecillas del reloj, lo que hace que

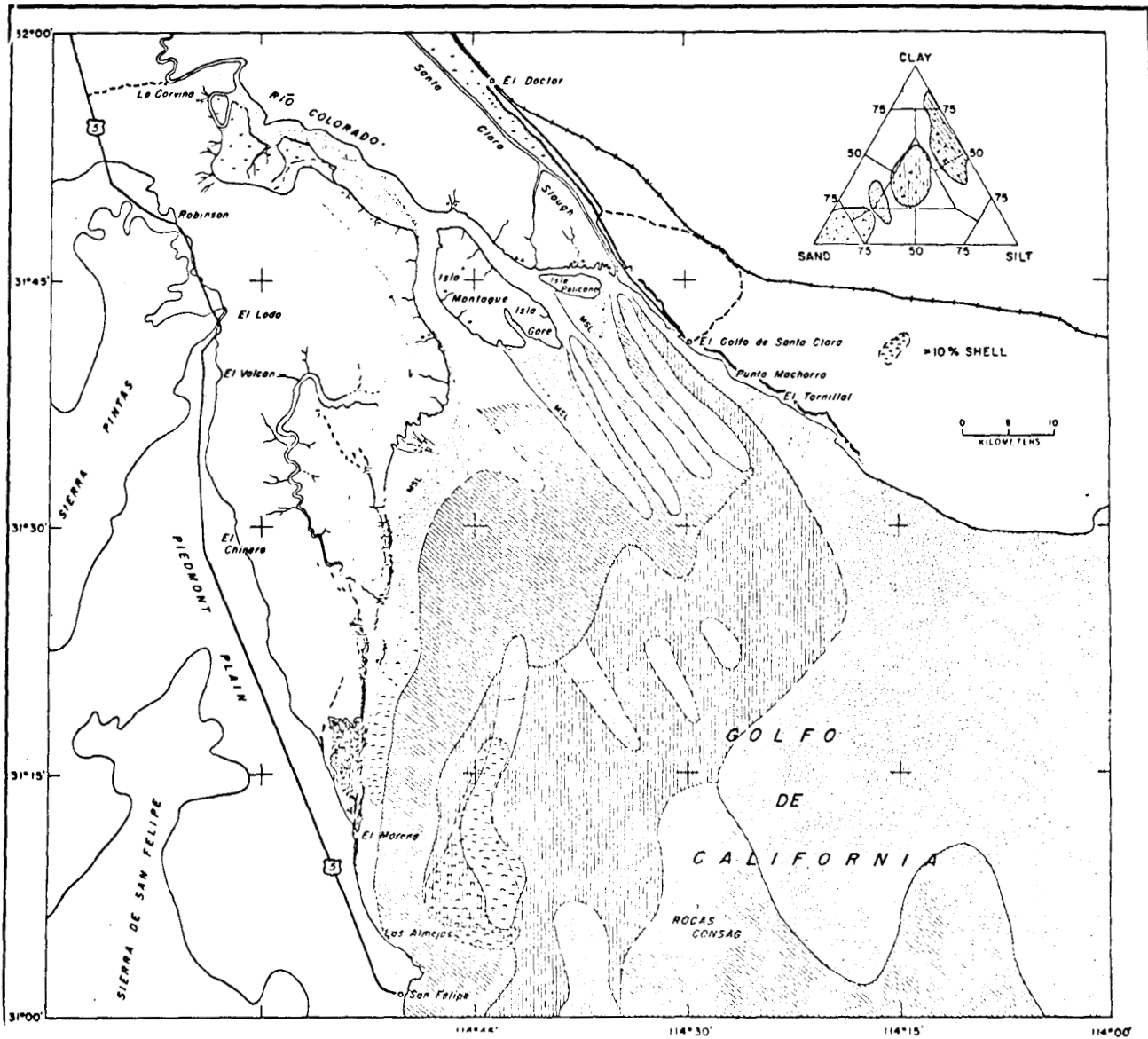


FIGURA 23. Distribución superficial de sedimentos de fondo en el área de estudio, establecida por Thompson (1965).

este "tapón lodoso" se desvíe hacia el oeste, por lo que la zona de mayor turbidez se encuentra siempre situada en el extremo noroeste del área.

Se debe considerar también el efecto del oleaje sobre el fondo. Es muy difícil determinar exactamente hasta que profundidad actúa la ola, algunos autores citan un valor de 20 veces la altura de la ola, pero otros consideran que a una profundidad igual a la semilongitud de onda y aún a la de la longitud de onda, la acción de la ola no se deja sentir. Para determinar la máxima acción de la ola sobre determinada profundidad, bastará conocer la máxima velocidad de las partículas situadas a esa profundidad. Con ello se puede saber, por ejemplo, si el fondo, cuya naturaleza es conocida, puede ser socavado por la ola considerada (Iribarren, 1954).

Pero de una manera general, se considera como

profundidad máxima a donde la ola todavía tiene efecto, la semilongitud de la misma (de Labra, comunicación personal).

La altura de las olas en esta área no es muy grande, según observaciones visuales durante los cruceros, varió entre 0.2 y 0.6 m. La longitud de onda de las olas no fué observada, por lo que no se puede correlacionar con la acción del oleaje sobre el fondo. Sin embargo, basándose en la altura de las olas, la baja batimetría y el fondo lodoso de la costa noroeste, se puede considerar al oleaje como un agente dinámico de importancia en la formación de la turbidez.

Si como se dijo anteriormente, el Río Colorado ya no aporta material al Golfo de California, se puede pensar que el origen de las partículas que producen la turbidez sean los limos y las arcillas depositadas durante la formación del delta. La acción combinada

de la corriente neta, el flujo y reflujo de las mareas y el oleaje, provocan un levantamiento de las partículas del fondo y posteriormente debido a estos mismos factores dinámicos una permanencia en suspensión de las partículas menores. Considerando el sentido de la corriente, se puede pensar que la zona este (sur de Santa Clara), es de erosión y que la zona oeste (norte de San Felipe), es de depositación, este fenómeno se observa fácilmente en una vista aérea, en la que se nota la formación de un tómbolo submarino en la prolongación de la Isla Montague con el extremo dirigido hacia el oeste, y otro al norte de San Felipe con la punta dirigida hacia el sur.

Al observar los parámetros fisicoquímicos determinados en los mismos cruceros, se establecen varias correlaciones con la turbidez. Durante el crucero de mayo, las máximas temperaturas superficiales se encuentran en el extremo noroeste en la misma zona en donde las concentraciones de material en suspensión son mayores, tal vez por la mayor absorción de la energía solar por parte de las partículas y, también debido a que la turbidez no permite el paso de la luz haciendo que se absorba en los primeros centímetros, calentando las aguas superficiales. En el mismo crucero se observan también las máximas salinidades en el extremo noroeste, lo cual está en relación directa con la temperatura, ya que al aumentar la evaporación se incrementa la salinidad.

Los valores de oxígeno disuelto del mismo mes muestran una distribución contraria, esto es, disminuyen hacia el noroeste y aumentan hacia el sureste. Estos valores mínimos en el noroeste pueden ser debidos al efecto que tienen las altas temperaturas disminuyendo la solubilidad del oxígeno, sin embargo, observando los valores de porcentaje de saturación (disminuyen hacia el noroeste), se ve claramente que existen otros factores además de la temperatura y la salinidad que afectan a la concentración de oxígeno disuelto, uno de estos factores es la presencia de la turbidez. En los análisis cuantitativos de plancton, se observa que los valores máximos también se encuentran concentrados en la región noroeste del área (Farfán, comunicación personal). En este extremo noroeste, en donde los valores de oxígeno disuelto son menores, existe un gran consumo del mismo por respiración, en parte por el material en suspensión (zooplancton y bacterias que actúan en la descomposición de la materia orgánica), y en parte por la gran cantidad de larvas y estadios juveniles de peces y crustáceos que encuentran protección y alimento en las áreas de mayor turbidez (Guevara, comunicación personal).

Los parámetros hidrológicos determinados en el crucero de octubre en general no presentan tanta correlación con la turbidez, sin embargo, las distribuciones de temperatura y salinidad sí se ven

ligeramente incrementados en dirección noroeste.

Entre las gráficas de distribución del material en ppm determinada con el turbidímetro en superficie (Figura 9), y la de mg/l de seston del mes de mayo (Figura 5), se observa una gran diferencia en los valores, de 15 ppm a 100 mg/l en el noroeste y de 1 ppm a 10 mg/l en el sureste, lo cual se estima se debe a la cantidad de plancton y materia orgánica (detritus), ya que el turbidímetro sólo mide la turbidez debida a partículas de SiO_2 , pero no determina material orgánico o de otra naturaleza. O sea que de la cantidad de material en suspensión medida en mayo, aproximadamente entre el 85 y el 90% era materia orgánica.

En cuanto a la granulometría, en mayo (Figura 12) se nota que hay tres poblaciones diferentes de turbidez, una situada alrededor de la Isla Montague, en donde la mayoría de las partículas son mayores a 8 micras, una segunda zona noreste con tendencia contraria y en la parte sureste una tercera en donde no se muestra una tendencia marcada. En octubre (Figura 13), se nota la desaparición de la segunda población y sólo se observan dos, una en el noroeste que abarca los lugares de las poblaciones 1 y 2 de mayo, y una segunda en donde la distribución se presenta irregular, pero se sigue notando la desaparición de las partículas mayores a 8 micras, por lo que se puede pensar que la variación de cantidad de seston de mayo a octubre se debe a partículas mayores a 8 micras.

Como fuente del material en suspensión además de los sedimentos del fondo ya considerados, hay que tomar en cuenta los sedimentos acarreados por el viento del continente, sobre todo considerando que la costa de esta área es árida y de escasa humedad. Hay que hacer notar que el mayor porcentaje del material en suspensión es materia orgánica, el origen de la misma no se puede determinar ya que para ello hace falta realizar estudios específicos de materia orgánica en el área, pero lo que sí se sabe es que establece en el área condiciones ambientales muy especiales ya que constituye el alimento de gran cantidad de organismos que habitan en la misma (Guevara, comunicación personal).

Deben haber todavía otros parámetros que afectan a este fenómeno, como la temperatura y salinidad que cambian las condiciones de densidad del agua y que por lo tanto intervienen en la distribución vertical de la turbidez.

CONCLUSIONES

Hay que considerar que los resultados de este estudio no son exactos, ya que como se mencionó anteriormente, las muestras no fueron colectadas en una forma simultánea, sin embargo se pueden hacer las siguientes conclusiones:

La presencia de material en suspensión en el área de estudio es de carácter constante.

Existe un gradiente de concentración descendente

del noroeste al sureste del área.

Este material tiene porcentajes sumamente altos de materia orgánica, por lo que puede ser considerado como de gran importancia como alimento para diferentes organismos marinos.

La dinámica de la corriente neta sin contar el flujo y reflujos de las mareas es el agente principal de la distribución del material.

De una manera general existe un movimiento controlado por las mareas de noroeste a sureste. Pero las corrientes y las mareas no son los únicos factores dinámicos de la turbidez, sino también el efecto del oleaje sobre el fondo.

El examen de los datos biológicos nos muestra que existe similitud entre la distribución de la turbidez y la del plancton, larvas y estadios juveniles de peces y crustáceos, lo que nos hace pensar que este parámetro actúa directamente sobre la distribución de los organismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, Sanchez G. 1973. Noticia del Río Colorado de la Baja California. *CALAFIA*, 2(2): 22-31.
- Gayman, W. 1969. Turbidity in the extreme northern Gulf of California: 88-91. *In* Environmental impact of brine effluents on Gulf of California. Saline Water Res. and Dev. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Green, C. R. 1969. The northern Gulf of California: A synopsis based on available information. B. Meteorological conditions: 7-15. *In* Environmental impact of brine effluents in Gulf of California: Saline Water Res. and Dev. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Iribarren, R. 1954. Obras Marítimas. Oleaje y Diques. Editorial Dossat, S. A. Madrid: 85-88.
- Mathews, J. B. 1969. Tides in the Gulf of California: 41-50. *In* Environmental impact of brine effluents in Gulf of California. Saline Water Res. and Dev. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Roden, G. I. 1958. Oceanographic and Meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 12(1): 941-965.
- . 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. *In* T. H. van Andel and G. G. Shore Jr., eds., *Marine Geology of the Gulf of California*, Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Memoir 3: 30-58.
- Schreiber, J. F. 1969. The northern Gulf of California: A synopsis based on available information. A. Geographical and geological features: 3-6. *In* Environmental impact of brine effluents on Gulf of California. Saline Water Res. and Dev. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Thompson, R. W. 1965. Tidal Flat Sedimentation on the Colorado River Delta, northwestern Gulf of California. University of California, San Diego. Scripps Institution of Oceanography. (unpublished Ph.D. dissertation), 245 p.
- . 1969. Tidal currents and general circulation: 51-55. *In* Environmental impact of brine effluents on Gulf of California. Saline Water Res. and Deve. Prog. Rept., (387): 1-207.
- Zeitzschel, B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.*, 7(4): 305-318.