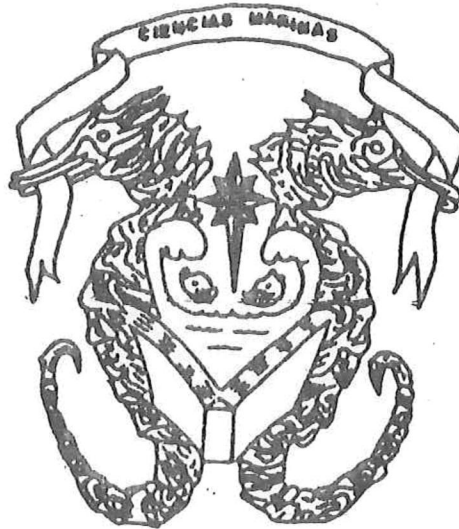


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS
Y
AREAS COSTERAS ADYACENTES**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
OCEANOLOGO
PRESENTA
GUSTAVO ADOLFO AGÜERO MADERO

ENSENADA, B. C. DICIEMBRE 1986

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS

Y AREAS COSTERAS ADYACENTES

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
GUSTAVO ADOLFO AGUERO HADERO

ENSENADA, B.C., DICIEMBRE DE 1986.

RESUMEN

Se realizó un levantamiento gravimétrico en la zona costera de la Bahía de Todos Santos, desde El Sauzal de Rodríguez hasta el Estero de Punta Banda. Se compiló información que existe en la región sobre gravimetría y geología para integrarla y obtener un mapa de anomalía de Bouguer para esta zona, con el propósito de deducir las características estructurales que presenta la Bahía y el área costera.

Se obtuvieron perfiles gravimétricos de la costa este y norte. En éstos, se delimita la configuración de las cuencas sedimentarias de El Sauzal, Ensenada y el Valle de Manadero; así también, se pueden observar dos gradientes gravimétricos fuertes: el primero, se localiza en la parte sureste de la Bahía y el segundo se presenta en las cercanías del Cerro El Vigía. Estos gradientes son causados por la Falla de Agua Blanca y una falla de segundo orden asociada a ésta, respectivamente.


Del comportamiento gravimétrico que presenta la Bahía de Todos Santos, se infiere que el basamento que constituye la Bahía, presenta un basculamiento con dirección NW-SE, con un buzamiento en sentido SE.


CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA BAHIA DE TODOS SANTOS


Y AREAS COSTERAS ADYACENTES


T E S I S
QUE PRESENTA:
GUSTAVO ADOLFO AGUERO MADERO

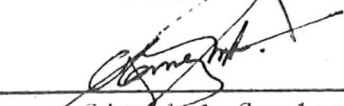
Aprobada por:


Presidente del Jurado
Oc. Sergio Pou Albert


Sinodal Propietario
H. C. Francisco Suárez V.


Sinodal Suplente
H. C. Arturo Cruz Falcón


Sinodal Propietario
Oc. Miguel A. Fellez D.


Sinodal Suplente
Oc. Lorenzo Gomez-Morin F.

AGRADECIMIENTOS

Al Oc. Sergio Pou A., por brindarme todo el apoyo necesario en el presente trabajo, guiarme en el transcurso del mismo y el gran interés mostrado para su culminación.

Al M.C. Rogelio Vázquez G., por sus valiosas sugerencias para esta tesis, toda su ayuda en el trabajo de campo, así como por estar siempre dispuesto a realizar este trabajo en el Departamento de Geofísica de Exploración de CICESE.

Al M.C. Francisco Suárez V., por brindar todas las facilidades para llevar a cabo esta tesis en la División de Ciencias de la Tierra de CICESE, por sus valiosos comentarios críticos y sugerencias en la revisión de la misma.

Al Oc. Lorenzo Gomez-Morín F., Oc. Miguel A. Téllez D. y M.C. Arturo Cruz Falcón, por todas sus críticas, sugerencias y opiniones en la revisión de esta tesis.

Al Dr. Mario Martínez, por sus comentarios y aclaraciones recibidas en este trabajo.

A mis compañeros del área de Geología y de la XXI Generación, por convivir conmigo los mejores momentos de la carrera.

Al M.C. Juan Manuel Espinoza C. e Ing. Jaime Herrera B., por ayudarme siempre en todo momento y brindarme sus conocimientos.

A Gustavo y Arturo, por todo el interés mostrado para realizar esta tesis, así como sus muestras de apoyo recibidas.

A Juan Carlos, Sergio, Pedro, Alejandro, José Luis y Cándido por su apreciada colaboración en el trabajo de campo.

A Hector, Roberto, Santiago, Alejandro y Adán, por su amistad durante el transcurso de mi carrera.

A la Profa. Telésfora Zepeda, por todo el cariño y ayuda brindada en mi estancia en Ensenada.

A CICESE, por permitirme utilizar sus instalaciones y apoyo para esta tesis.

DEDICATORIA:

A mis padres, por todo mi amor y respeto que merecen.
Por brindarme la oportunidad de mi
realización personal.

A mis hermanos: Lidia Luz

Maricela

Alma

Alejandro

Benjamín

Enrique

Patricia

Por todo lo que de ellos he recibido
en la vida.

A Sergio y Pedro, por brindarme su valiosa amistad.

A Cony, por todo su apoyo, cariño y comprensión.

INDICE

| | |
|---|----|
| I INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 Conceptos generales | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 2 |
| 1.3 OBJETIVO | 5 |
| II LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO | 6 |
| III METODOLOGIA | 10 |
| 3.1 Levantamiento gravimétrico | 10 |
| 3.1.1 CORRECCION DE DATOS | 11 |
| 3.1.2 Corrección por Deriva | 11 |
| 3.1.3 Corrección por Latitud | 12 |
| 3.1.4 Corrección por Elevación (aire Libre y | 12 |
| 3.1.5 Corrección por Topografía | 14 |
| 3.1.6 Anomalía de Bouguer | 15 |
| IV RESULTADOS | 16 |
| V DISCUSION | 22 |
| VI CONCLUSIONES | 35 |
| VII LITERATURA CITADA | 36 |
| VIII APENDICES | 39 |

LISTA DE FIGURAS

Pag.

- Figura 1.- Area de estudio. Localización de las estaciones y perfiles gravimétricos A, B, C, D 7
- Figura 2.- Principales rasgos geológicos de la región de Ensenada. Tomado de Gastil et al. (1975) 8
- Figura 3a.- Perfil gravimétrico para la zona N de la Bahía de Todos Santos 17
- Figura 3b.- Perfil gravimétrico para la zona E de la Bahía de Todos Santos 17
- Figura 4a.- Perfil gravimétrico A 18
- Figura 4b.- Perfil gravimétrico B 18
- Figura 5a.- Perfil gravimétrico C 19
- Figura 5b.- Perfil gravimétrico D 19
- Figura 6.- Perfil gravimétrico para la zona E de la Bahía de Todos Santos, anexando datos de Vázquez (1980) para la barra del Estero de Punta Banda 24

- Figura 7.- Sistema de fallas de la Bahía de Todos Santos. Se muestra la falla principal y la probable trayectoria de la falla de segundo orden. Modificado de González (1977). 26
- Figura 8.- Plano de anomalía de Bouger para el sur del Valle de Maneadero. Tomado de Vázquez (1980). 28
- Figura 9.- Mapa de anomalía de Bouger (miligales), para el área San Carlos-Maneadero. Tomado de Cruz (1986) 29
- Figura 10.- Mapa de anomalía de Bouger para el Valle de Maneadero 30
- Figura 11.- Mapas de anomalía de Bouger para la Bahía de Todos Santos y su área costera 32
- Figura 12.- Modelo estructural de la Bahía de Todos Santos. 34

I INTRODUCCION

1.1 Conceptos generales

Con el desarrollo de los métodos geofísicos, ha sido posible analizar la estructura interna de la tierra como apoyo a los estudios geológicos y de ese modo proponer teorías acerca de los procesos tectónicos ocurridos a través de la historia geológica regional.

Diversos son los métodos geofísicos que se emplean hoy en día para realizar estudios de prospección del subsuelo, siendo los métodos sísmicos, gravimétricos, magnéticos y eléctricos, los más comúnmente aplicados. En este estudio se utilizó la técnica de gravimetría.

La gravimetría es un método que utiliza las variaciones en el campo gravitacional de la tierra producidas por distribuciones anómalas de densidad de las rocas. Su principal utilidad se encuentra en la delimitación de cuencas sedimentarias, así como la localización de estructuras que involucren diferencias pronunciadas de densidad, como domos de sal, yacimientos de menas minerales, diques, fallas, etc. En lo que se refiere a gravimetría, se han realizado varios estudios con diferentes fines en la Bahía de Todos Santos y su área

costera. Estos trabajos cubren parcialmente la región y en el desarrollo del presente trabajo se realizó una integración de los mismos y se complementó con un levantamiento gravimétrico en la zona costera, desde El Sauzal de Rodríguez hasta el Estero de Punta Banda, con el fin de determinar las características estructurales del basamento de la Bahía de Todos Santos y el área costera adyacente.

1.2 ANTECEDENTES

El Consejo de Recursos Naturales No Renovables (1962), realizó un levantamiento aeromagnético para la zona Ensenada, en el cual se observan las principales anomalías magnéticas para el área.

Schroeder (1967), hizo un estudio geológico en un sector al sur de la ciudad de Ensenada. Describió las diferentes litologías presentes y determinó el comportamiento estructural del área. Concluyó que para esta zona los principales rasgos estructurales están asociados con la secuencia de rocas volcánicas del Mesozoico; el fallamiento normal puede ser resultado de relajamientos de las fuerzas compresivas en dirección norte-sur, produciendo un proceso distensivo, los cuales causaron plegamientos en la secuencia metavolcánica, además

la estructura de las rocas del basamento representan un homoclinal con buzamiento NW que varía de 14 a 25 grados.

Gastil, Phillips y Allison (1975), realizaron un levantamiento geológico del Estado. Delimitaron la presencia de diferentes litologías, así como la localización de las fallas más importantes. En ese estudio se incluye un mapa de Gravedad de Bouguer para todo el estado, realizado por Phillips.

Dowdy (1977), obtuvo un plano de anomalía de Bouguer para el Valle de Manadero y calcula el residual ajustando un regional (tomado de Phillips, en Gastil et al, 1975) a los perfiles de la anomalía. Estima la profundidad del basamento y el espesor de los sedimentos en algunos puntos.

González (1977), determinó las anomalías magnéticas y gravimétricas para la Bahía de Todos Santos. Concluyó que ambas están dominadas por la tendencia de la Falla de Agua Blanca y que la estructura de la Bahía consiste en un sistema de fallas laterales (una principal y otra secundaria), las cuales dieron origen a la formación de un graben en forma de cuña triangular, con frontera sur la Falla de Agua Blanca y por el norte la falla secundaria que se intersecta en la costa en las cercanías del Cerro El Vigía.

Vázquez (1980), realizó diversos estudios geofísicos, en el Valle de Maneadero, entre los cuales están: gravimetría, potencial espontáneo, resistividad y corrientes telúricas. Localizó mediante el primero la extensión de la rama norte de la Falla de Agua Blanca y determinó la profundidad del basamento.

Wong (1980), mediante perfiles sísmicos determinó las implicaciones tectónicas de la Falla de Agua Blanca en esta área. Concluyó que el Plano Costero de Todos Santos está controlado por fallas normales y paralelas asociadas al sistema de Falla de Agua Blanca, siendo éste el causante de toda la fisiografía actual de la región, principalmente en el área de Punta Banda, Valle de Maneadero y Bahía de Todos Santos.

Pou (1981), realizó estudios geológicos de las Islas de Todos Santos, para obtener su configuración tectónica e integrarlas al patrón tectónico regional. Concluyó que las Islas de Todos Santos responden a un modelo de zona de torsión entre dos fallas de rumbo, siendo éstas, el sector sur y norte de la Falla de Agua Blanca.

Cruz (1986), en un estudio gravimétrico en el zona del Arroyo San Carlos y Valle de Maneadero, determinó la profundidad del basamento como una forma de evaluar la

capacidad de la cuenca hidrológica del Valle de Mancaadero. La profundidad máxima calculada al basamento fue de 650 m con una tendencia a valores más someros hacia el Este. Asimismo obtiene un plano de anomalías de Bouguer para todo el valle.

1.3 OBJETIVO

Realizar una integración de los principales estudios gravimétricos existentes con un levantamiento gravimétrico en la zona costera de la Bahía de Todos Santos para inferir los rasgos estructurales del basamento.

II LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos, B.C., se localiza entre los $31^{\circ}40'$ y $31^{\circ}55'$ Norte, $116^{\circ}36'$ y $116^{\circ}50'$ Oeste (Fig. 1).

Los rasgos fisiográficos más sobresalientes de la Bahía son: Punta San Miguel, que marca el extremo norte de la Bahía, Punta Morro, Cerro El Vigía, Estero de Punta Banda, Península de Punta Banda, que determina la frontera sur de la Bahía, y las Islas de Todos Santos.

En el área comprendida desde Punta San Miguel hasta Punta Morro, afloran rocas sedimentarias post-batolíticas de la Formación Rosario. Desde Punta Morro hasta el Cerro El Vigía, están expuestas rocas ígneas pre-batolíticas de la Formación Alisitos (Fig. 2).

La costa este consiste de una playa ancha que abarca desde la desembocadura del Arroyo Ensenada hasta la boca del Estero de Punta Banda. En su parte posterior esta playa está limitada por una meseta de piamonte que corre hacia la base de las montañas de Ensenada, las cuales están constituidas en su mayor parte por rocas ígneas extrusivas pre-batolíticas, presentándose también rocas ígneas intrusivas post-batolíticas. Hacia el sur, se sitúan el Estero de Punta Banda y el Valle de Maneadero.

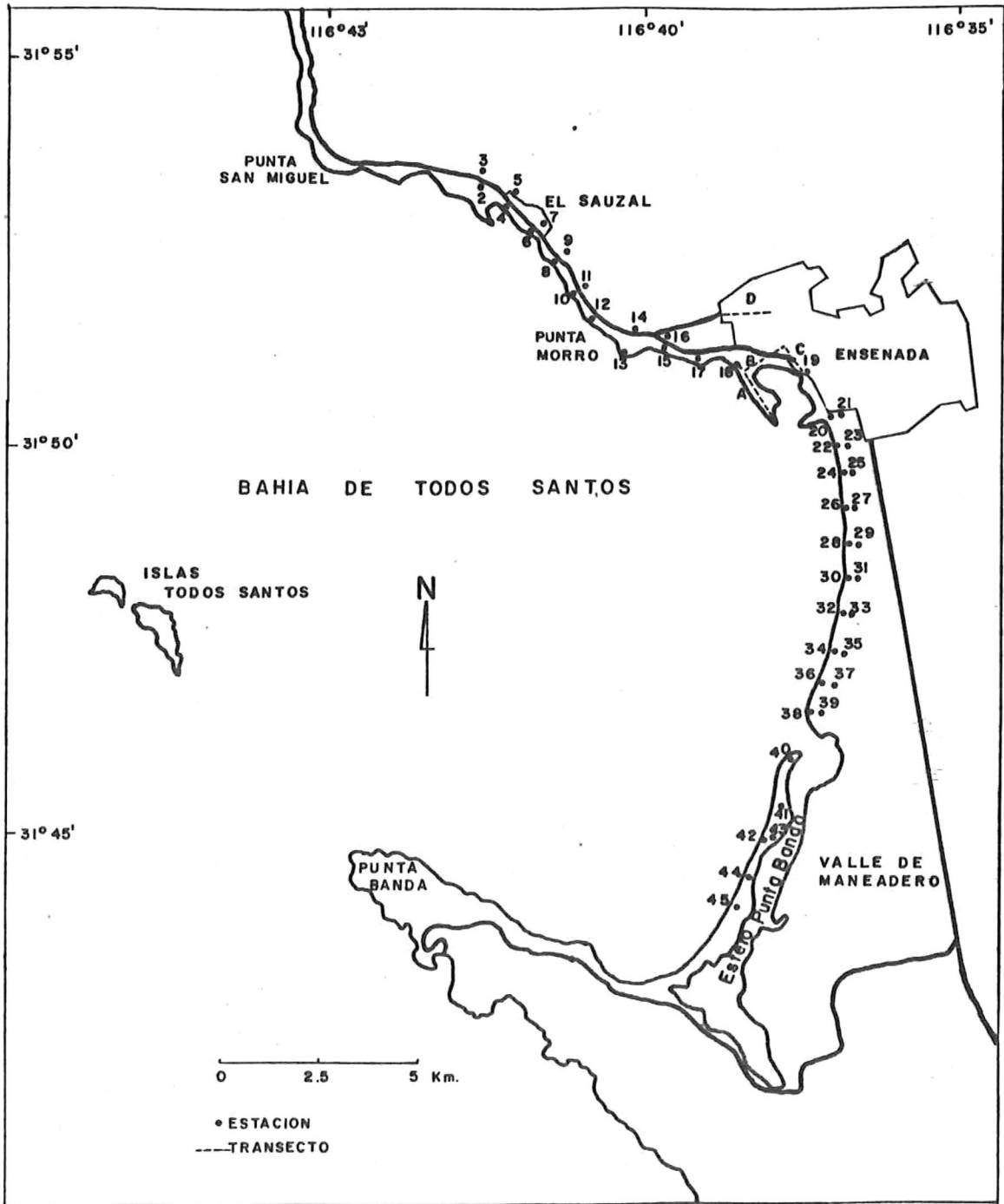
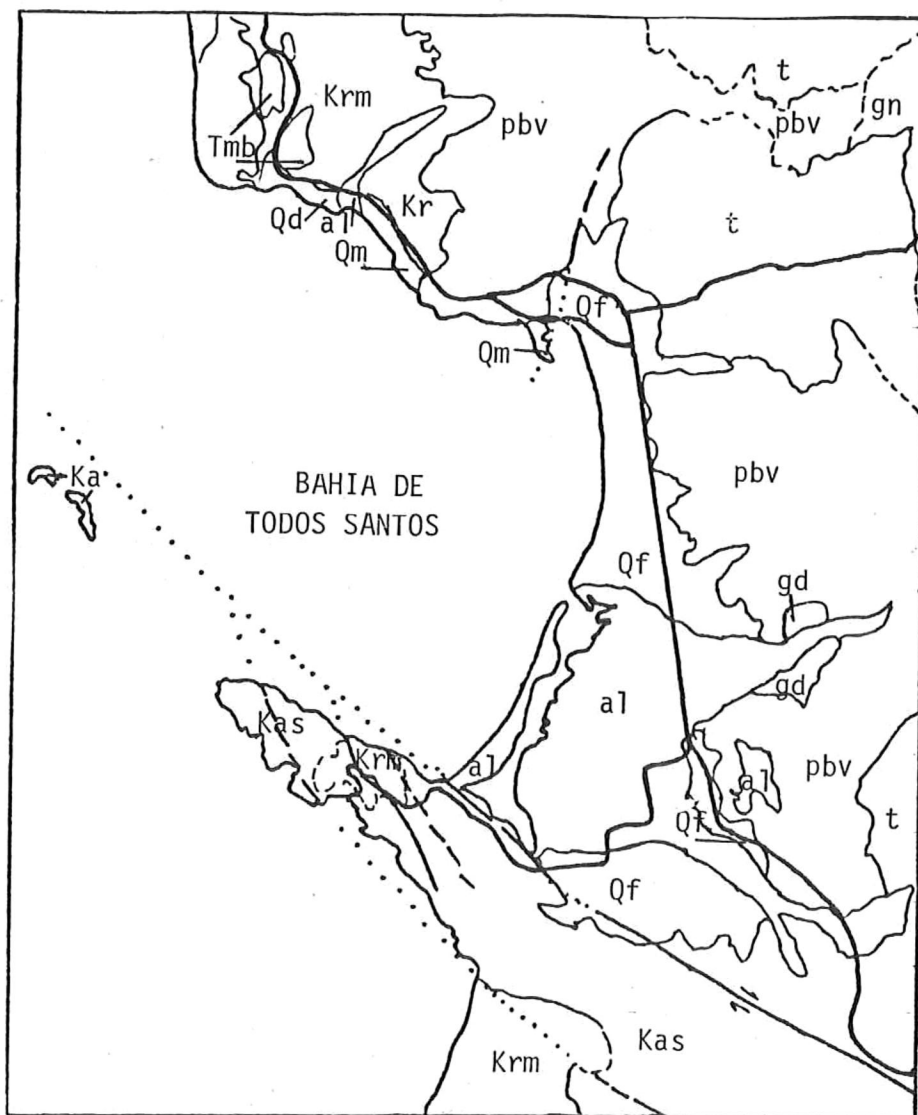


Figura 1.- Area de estudio. Localización de las estaciones y perfiles gravimétricos A, B, C, D.



Rocas Post-batolíticas

| | |
|-------------------|---------------|
| al: aluvión | (Cuaternario) |
| Qd: médanos | (Cuaternario) |
| Ql: lacustre | (Cuaternario) |
| Qf: fluvial | (Cuaternario) |
| Qm: marino | (Cuaternario) |
| Tmb: Basalto | (Mioceno) |
| Kr: Grupo Rosario | (Cretácico) |
| Krm: Marino | (Cretácico) |

Rocas Batolíticas

| |
|------------------|
| gd: granodiorita |
| t: tonalita |

Rocas Pre-batolíticas

| |
|-------------------------------------|
| pbv: volcánicas no diferenciadas |
| gn: gneiss |
| Kas: P. Alisites |

Figura 2.- Principales rasgos geológicos de la región de Ensenada. Tomado de Gastil et al. (1975).

La Península de Punta Banda, está formada por un cordón montañoso con dirección $N40^{\circ}W$ y se encuentra flanqueada por los sectores sur y norte de la Falla de Agua Blanca.

Las Islas de Todos Santos, se localizan aproximadamente a $31^{\circ}40' N$ y $116^{\circ}40' O$. Están constituidas por dos islas formadas de material predominantemente andesítico, con un pequeño depósito sedimentario miocénico en la isla norte.

III METODOLOGIA

3.1 Levantamiento gravimétrico

Se llevó a cabo, utilizando un gravímetro LaCoste y Romberg modelo G 599 (propiedad de CICESE), el cual tiene una precisión de 0.01 miligales.

El trabajo de campo se realizó durante los meses de julio y agosto de 1986. Se tomaron un total de 45 lecturas a lo largo de la zona costera de la Bahía de Todos Santos, a partir del km 101 de la carretera Tijuana-Ensenada, hasta el Estero de Punta Banda. La ubicación de las estaciones fue por parejas, separadas ambas entre 250 y 300 m. La separación entre cada pareja de estaciones fue 1 km aproximadamente (Fig. 1).

De acuerdo a los resultados preliminares, se llevaron a cabo 4 transectos con 44 estaciones espaciadas 100 m, con el fin de corroborar el gradiente obtenido entre las estaciones 18 y 19 y tener un mejor detalle de la variación de los valores gravimétricos medidos. Tres transectos se localizan alrededor de la zona portuaria de Ensenada y otro se realizó a lo largo de la Calle 10. En la Fig. 1 aparece la localización de las estaciones, así como los transectos mencionados.

Para facilitar el entendimiento de los resultados, se denominará en este estudio zona N, como la comprendida desde la estación 2 hasta la estación 19 y zona E, aquella que abarca desde la estación 18 hasta la estación 45.

3.1.1 CORRECCION DE DATOS.

Las lecturas gravimétricas, se convirtieron a valores de miligales, utilizando la tabla de conversiones del manual del instrumento y se procedió a relizar las correcciones por deriva del instrumento, latitud, elevación (aire libre y Bouguer) y topografía. Por último, se calculó la anomalía de Bouguer para cada una de la estaciones.

Los datos gravimétricos fueron corregidos tomando de referencia la estación Geodésica Interamericana, localizada en el Monumento Hidalgo en Ensenada (estación 1).

3.1.2 Corrección por Deriva

Se realizó calculando la deriva del instrumento en el inicio y cierre de las mediciones en la estación del Monumento Hidalgo. Estos cierres tuvieron un tiempo máximo de 2:50 h, siendo la deriva máxima del aparato de 0.16 miligales, la cual no se considera significativa de acuerdo

a las magnitudes de las anomalías medidas y utilizando este mismo aparato, permitirá ampliar los tiempos de cierre en la estación de referencia en estudios posteriores.

3.1.3 Corrección por Latitud

Las estaciones localizadas a distancias menores de 2 km de la estación de referencia, se corrigieron mediante la siguiente fórmula presentada por Telford, Geldart, Sheriff y Keys (1982):

$$k = 0.8122 \text{ Sen } 2\phi \text{ miligales/km.}$$

donde ϕ es la latitud en la estación 1.

Para las estaciones ubicadas a distancias mayores de 2 km de la estación 1, el factor de corrección (Δ_g), está dado por la fórmula:

$$\Delta_g = 5172.3 [\text{Sen}^2\phi(\text{Lat. Base}) - \text{Sen}^2\phi(\text{Lat. Ests.})]$$

miligales. (Dowdy, 1977).

3.1.4 Corrección por Elevación (aire Libre y Bouguer)

Para determinar la altura de las estaciones, se realizó un levantamiento altimétrico en la zona N de la Bahía. Para las estaciones localizadas en la zona E, se

utilizaron las alturas de las mojonearas de la sección de Procesos Litorales de CICESE. Para aquellas estaciones ubicadas dentro de la ciudad, se utilizó un mapa topográfico de la ciudad de Ensenada, proporcionado por el personal de SANOPE.

La corrección de aire libre (C_{AL}), se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$C_{AL} = 0.3086 A_h \text{ miligales} \quad (\text{Telford et al., 1982})$$

donde A_h = (altura estación - altura estación 1).

La corrección de Bouguer (C_{BG}), se obtiene para cada estación, de la siguiente manera:

$$C_{BG} = 0.0419 A_h p \text{ miligales} \quad (\text{Telford et al., 1982})$$

donde p es la densidad superficial de la roca o sedimentos de cada estación. Se consideró una densidad de 2.67 gr/cm^3 , en aquellas estaciones localizadas en lugares adyacentes a cerros compuestos de rocas ígneas (zona N) y 1.8 gr/cm^3 en aquellas estaciones ubicadas en la zona E. El primer valor se consideró por ser la densidad promedio para rocas ígneas utilizada previamente en otros trabajos en la región y el segundo fue obtenido por Cruz (1986) con

el método de perfiles de densidad de Nettleton (1976). Es cierto que al estimar de esta forma la densidad superficial se incurre en un error al calcular la corrección de Bouguer real, pero es válido efectuarla con fines cualitativos como lo es este estudio. Si se observan los valores de esta corrección de las estaciones gravimétricas (apéndices I y II), la mayoría de éstas presentan valores muy pequeños, los cuales variarían muy poco al cambiar la densidad superficial 1 ó 2 décimas y calcular esta corrección de nuevo.

3.1.5 Corrección por Topografía

Se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Hammer (1939), utilizando mapas de DETENAL para las zonas D, E, F, G, H, I. Para las zonas B y C, se utilizó un levantamiento altimétrico alrededor de cada estación, con el fin de tener un mejor control de dicha corrección.

Para obtener los valores de gravedad por corrección topográfica se empleó la tabla de correcciones presentada por Telford et al. (1982). Se empleó la densidad de 2.67 gr/cm^3 en las zonas que cubrían áreas montañosas y cerros compuestos de rocas ígneas y se modificó esta tabla a una densidad de 1.8 gr/cm^3 para las zonas que se encontraban dentro del valle.

3.1.6 Anomalia de Bouguer

Se calculó en base a la siguiente fórmula presentada por Telford et al. (1982), siendo la estación de referencia la número 1:

$$\text{Grav. de Bouguer} = \text{Grav. obs. rel.} + \text{corr. lat. rel.} + \\ \text{corr. elev. rel.} + \text{corr. topo. rel.}$$

$$\text{Anomalia de Bouguer} = \text{Grav. de Bouguer} + \text{Anomalia} \\ \text{de grav. de Bouguer en est. base \#1.}$$

La anomalia de Bouguer de la estación 1, es de -23.55 miligales (Vázquez, 1980) y es la diferencia entre el valor de gravedad observada (ya corregido) menos el valor teórico de gravedad en esta estación. La anomalia de Bouguer de cada estación se obtuvo utilizando la estación 1 como de referencia.

IV RESULTADOS

En las tablas I y II, aparecen los valores de las correcciones de los datos en cada una de las estaciones (Apéndices I y II).

En las figuras 3a y 3b se observan los perfiles gravimétricos para la zona costera de la Bahía, en la primera aparece el perfil de la zona N y en la siguiente el correspondiente para la zona E. Como criterio para la elaboración de los perfiles anteriores, se utilizaron las estaciones más cercanas a la línea de costa, ya que la diferencia en los valores de las anomalías para las estaciones ubicadas por parejas fue muy poca.

Los perfiles gravimétricos para los transectos A, B, C y D se representan en las figuras 4a, 4b, 5a, 5b, respectivamente.

Se obtienen las correcciones con referencia a la estación 1, sustrayendo las correcciones de ésta a las correspondientes en cada una de las estaciones, por el cual se observan en los apéndices I y II valores positivos y negativos en las distintas correcciones.

La corrección topográfica toma en cuenta el efecto

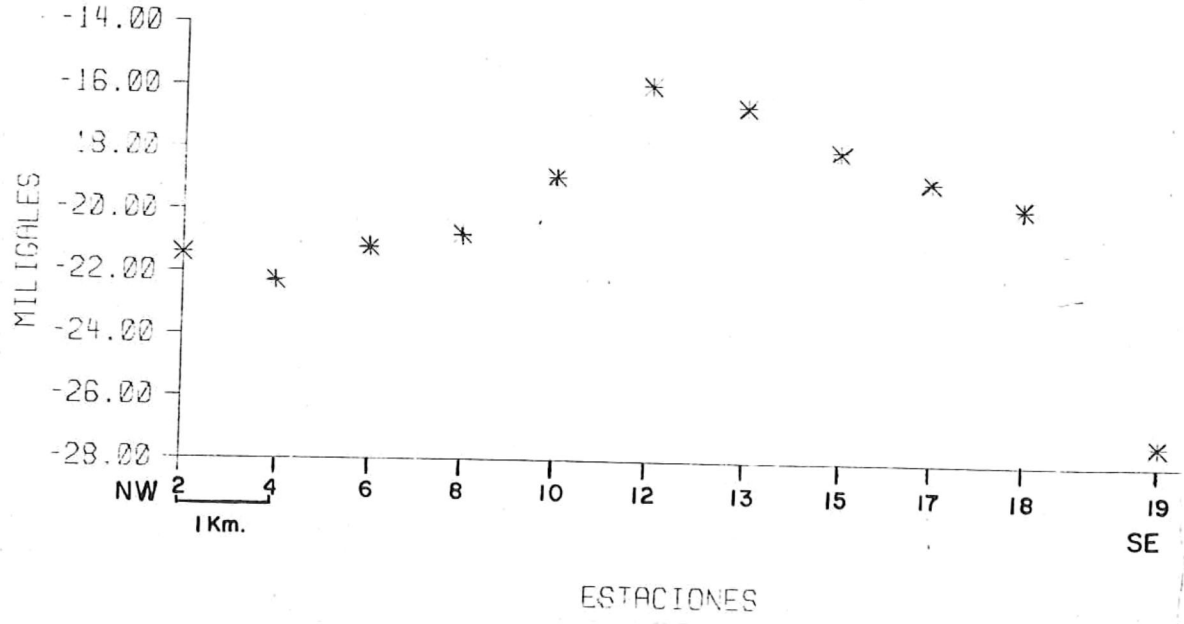


Figura 3a.- Perfil gravimétrico para la zona N de la Bahía de Todos Santos

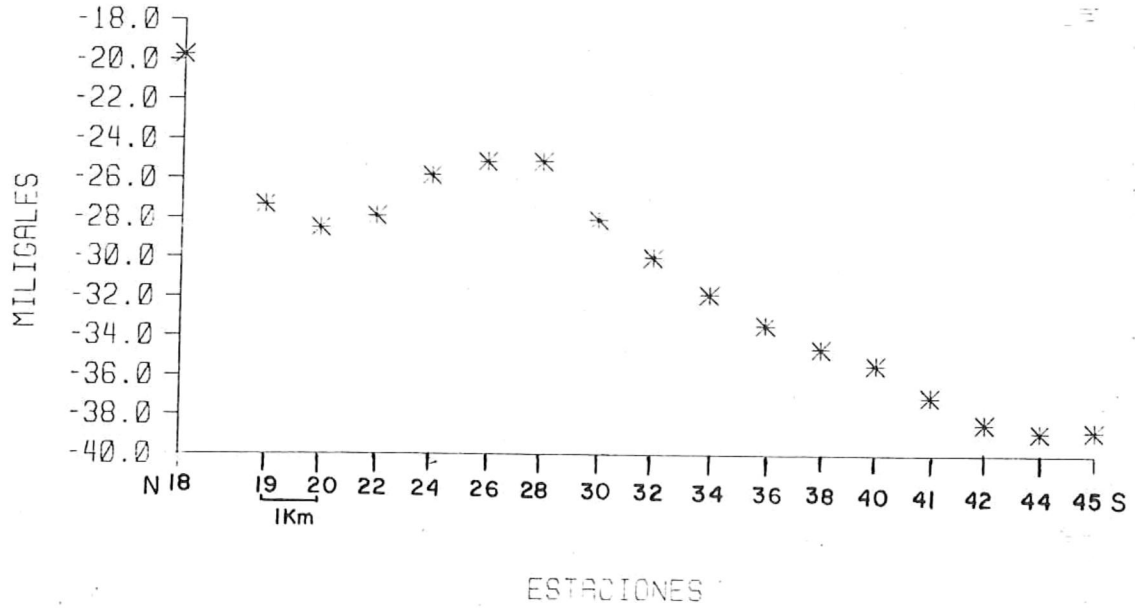


Figura 3b.- Perfil gravimétrico para la zona S de la Bahía de Todos Santos

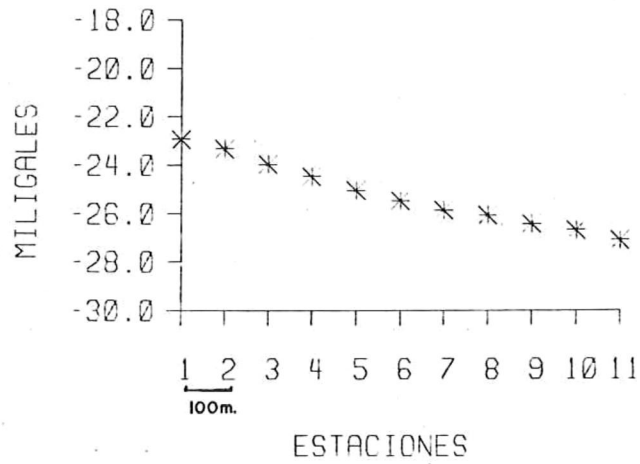


Figura 4 a.- Perfil gravimétrico C.

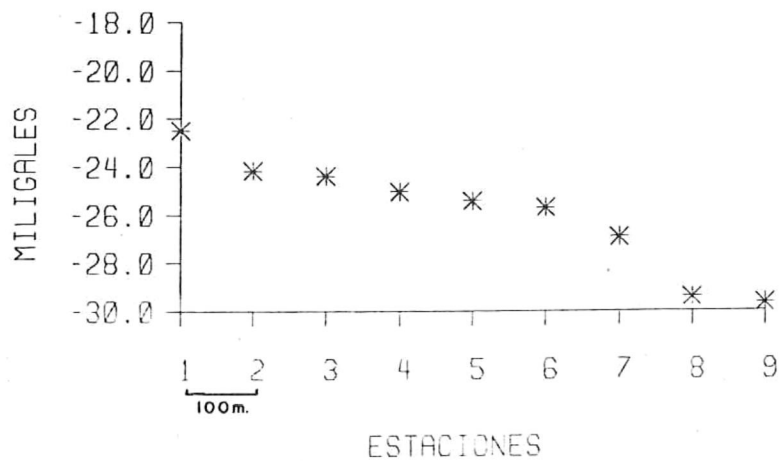


Figura 4 b.- Perfil gravimétrico D.



Figura 5a.- Perfil gravimétrico A.

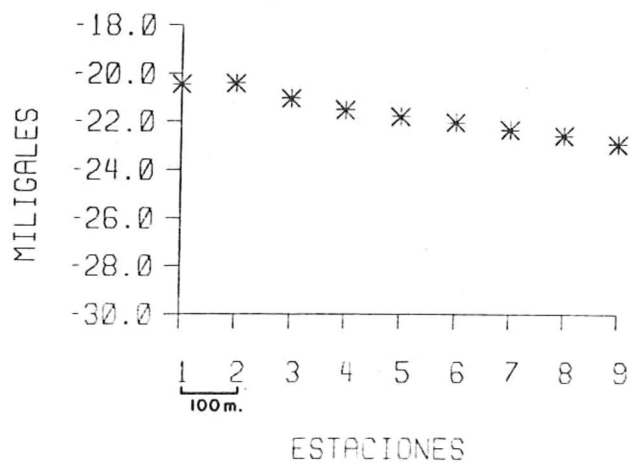


Figura 5b.- Perfil gravimétrico B.

gravimétrico de valles y cerros circundantes a la estación a corregir, cuanto mayor son los cambios topográficos, más alto es el valor de esta corrección. Para cada estación, ésta siempre es positiva, al referenciar a la estación 1, se presentan en algunas estaciones valores negativos, lo cual significa que ésta corrección es menor en las estaciones corregidas que en la estación 1.

En lo referente a la corrección por latitud, a medida que se avanza del ecuador a los polos, disminuye el radio terrestre y por lo tanto la componente vertical de la fuerza centrífuga (a causa de la rotación terrestre), por lo que aumenta la gravedad en ese sentido. Para corregir este efecto, la corrección por latitud es negativa para las estaciones ubicadas al Norte de la estación de referencia y viceversa.

Para efectuar la corrección de aire libre, se toma en cuenta la diferencia de alturas entre las estaciones gravimétricas y la estación de referencia, a mayor altura de la estación, aumenta su radio con respecto al centro de la tierra y por lo tanto disminuye su valor de gravedad. Las estaciones que se encuentran a mayor altura que la estación de referencia, tienen una corrección de aire libre positiva y el caso contrario al estar la estación de referencia más alta que la estación gravimétrica.

La corrección de Bouguer, toma en cuenta la atracción de la masa del material presente entre la elevación de la estación 1 y la correspondiente a la estación. El efecto de este material, incrementa la gravedad observada en la estación, por lo cual, las estaciones con mayor altura que la estación de referencia, presentan correcciones de Bouguer negativas, mientras que una corrección de Bouguer positiva, significa que la estación gravimétrica está a menor altura que la estación de referencia. Esta corrección, siempre de signo contrario a la corrección de aire libre.

V DISCUSION

Ya que todas las anomalías obtenidas en este estudio son negativas, para normalizar el criterio en la discusión de los perfiles gravimétricos, es conveniente hacer las siguientes aclaraciones: se denomina un máximo gravimétrico (anomalía de Bouguer) en una estación, en la cual su medición muestra un valor mayor con respecto a las mediciones de otras estaciones y un mínimo gravimétrico en una estación, en el caso contrario. Este criterio es considerando como valores negativos máximos los más cercanos a cero.

La ventaja de utilizar gravimetría, consiste en interpretar las condiciones topográficas del basamento basándose en los valores de las anomalías gravimétricas obtenidas, ya que a mayor profundidad al basamento, menor es la anomalía medida y en el caso inverso, se obtienen valores de anomalías máximos cuando el basamento está más próximo a la superficie. Es por eso, que un mínimo gravimétrico está asociado a una cuenca sedimentaria o a un cuerpo de menor densidad con respecto al área circundante y cuando el basamento se encuentra a menor distancia de la superficie, se le asocia un máximo gravimétrico.

Perfil zona N (Fig. 3a)

Se observa claramente un máximo en la estación 12, presentándose un gradiente marcado de la estación 2 a 12, suavizado de la estación 12 a 18 y abrupto entre las estaciones 18 y 19. Las altas anomalías de esta área son producidas por el tipo de litología presente en dicha zona, ya que estos valores concuerdan con el afloramiento del basamento ígneo de la región. En cambio, en el sector NW, las anomalías son resultado del basamento más profundo, generando una cuenca que permitió la depositación de sedimentos que forman la cuenca sedimentaria de El Sauzal, la cual está constituida principalmente por sedimentos marinos de la Formación Rosario.

Con respecto al fuerte gradiente que existe entre las estaciones 18 y 19 (Figs. 3a y 3b), localizadas contigua al Cerro El Vigía y frente al Centro Cultural Riviera, respectivamente, es de esperarse, ya que el Cerro El Vigía (estación 18), está formado de roca cristalina y la estación 19 está ubicada en una cuenca rellena de sedimentos.

Perfil zona E

A este perfil obtenido, se anexaron los datos de Vázquez (1980) para la barra del Estero de Punta Banda (Fig. 6). Esta caracterizado por dos cuencas separadas por

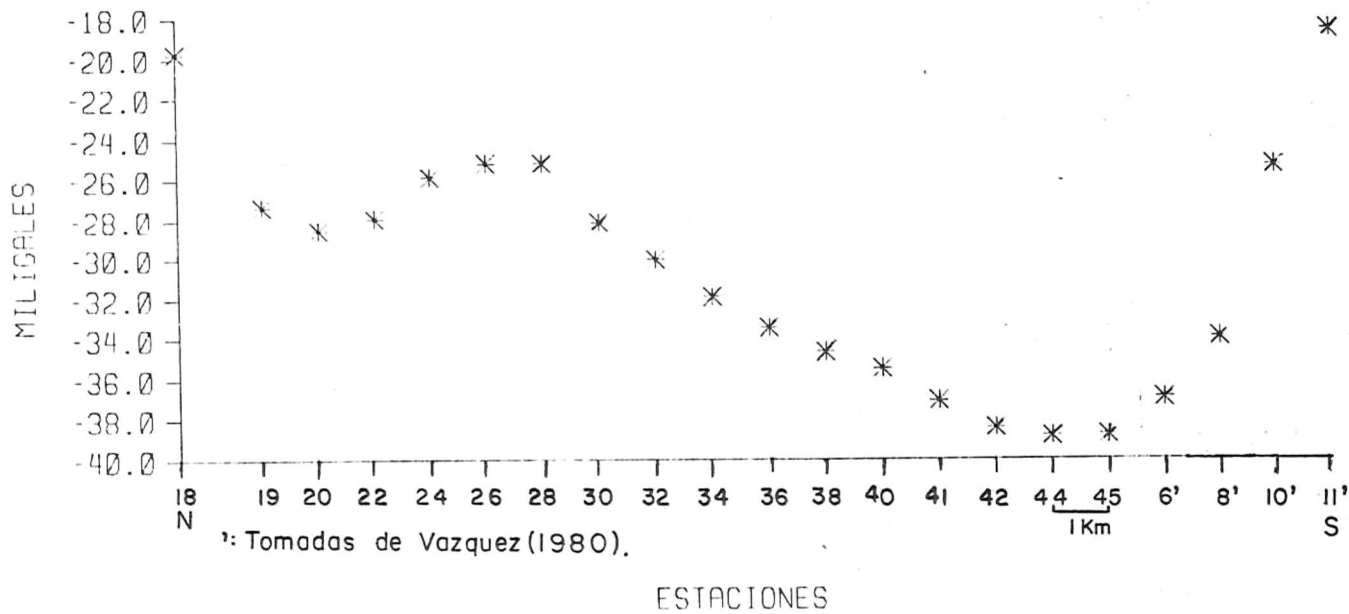


Figura 3.6.- Perfil gravimétrico para la costa este de la Bahía de Todos Santos, anexando datos de Vázquez (1980) para la barra del Estero de Punta Banda.

un máximo intermedio en la estación 28. En la parte norte, anterior al gradiente abrupto, existe una cuenca sedimentaria en la cual se sitúa la ciudad de Ensenada. A partir del máximo intermedio, se presenta un gradiente suave y descendente de las anomalías, de lo que se infiere una mayor profundidad del basamento que permitió integrar una gran cuenca sedimentaria que es el Valle de Maneadero.

El mínimo gravimétrico para este perfil se localiza en la estación 45 (Fig. 6) de la cual hacia el sur, se presenta la zona de máximo gradiente gravimétrico para toda el área de estudio, más adelante se interpretará este resultado.

Perfiles A, B, C y D (Figs. 4a, 4b, 5a, y 5b)

En los perfiles A, C y D, se observa un fuerte descenso en los valores, de la misma forma que en la cercanías del Cerro El Vigía. El rumbo del perfil B, no es en el mismo sentido del gradiente máximo, sino que lo cruza oblicuamente, por lo que no es posible detectar la misma tendencia anterior. Estos perfiles reflejan una continuidad tierra adentro de los gradientes gravimétricos medidos dentro de la Bahía y en la zona costera. En la figura 7, aparece la probable trayectoria de una falla de segundo orden que se infiere en base al gradiente observado

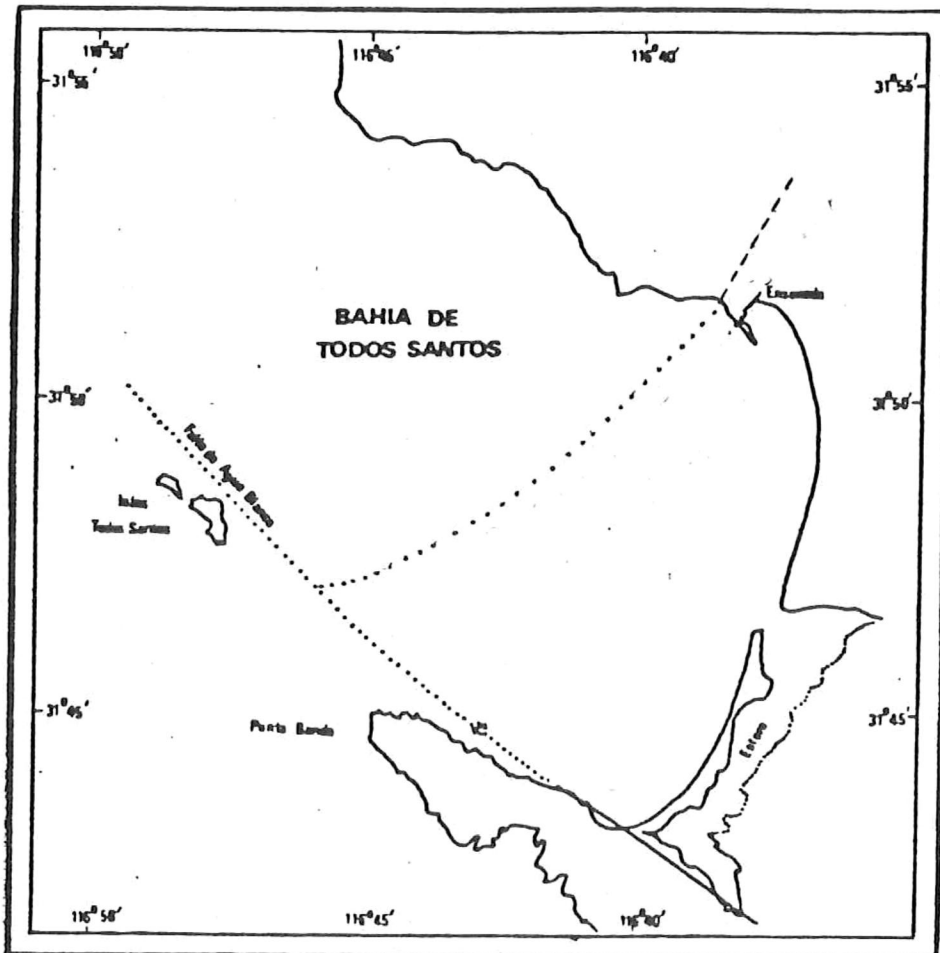


Fig.7 Sistema de fallas en la Bahía de Todos Santos.
 Se muestra la falla principal de Agua Blanca y la probable trayectoria de la falla de segundo orden. Modificado de González Serrano (1977, p. 42).

en la Bahía (González,1977). Esta trayectoria fue modificada, apoyada en evidencias geológicas de campo. De estos gradientes, se infiere que dicha zona de falla tiene una continuidad hacia el Norte.

Tomando en consideración trabajos gravimétricos dentro del área de estudio (Dowdy,1977; Vázquez,1980; Cruz,1986) es factible integrarlos directamente, ya que la metodología seguida para este estudio fue similar a la desarrollada por los trabajos citados (Figs. 8 y 9). De esta forma, existe una mayor extensión de área estudiada para el Valle de Manadero (Fig. 10). De esta integración, se marca la tendencia de las isoanomalías de Bouguer hacia valores mínimos en la parte intermedia de la barra del Estero de Punta Banda, zona donde según estos datos se presenta la máxima profundidad del basamento para el área costera. Así también, se observa el alineamiento de las isolíneas en la parte sur de la figura que delimita la traza del sector norte de la Falla de Agua Blanca.

En lo referente al estudio gravimétrico dentro de la Bahía (González,1977), no es posible hacer una integración directa de los datos, mediante una interpolación entre los valores de la zona costera y los situados dentro de la Bahía, ya que el procesamiento de los datos fue diferente. Sin embargo, el interés del estudio gravimétrico es obtener

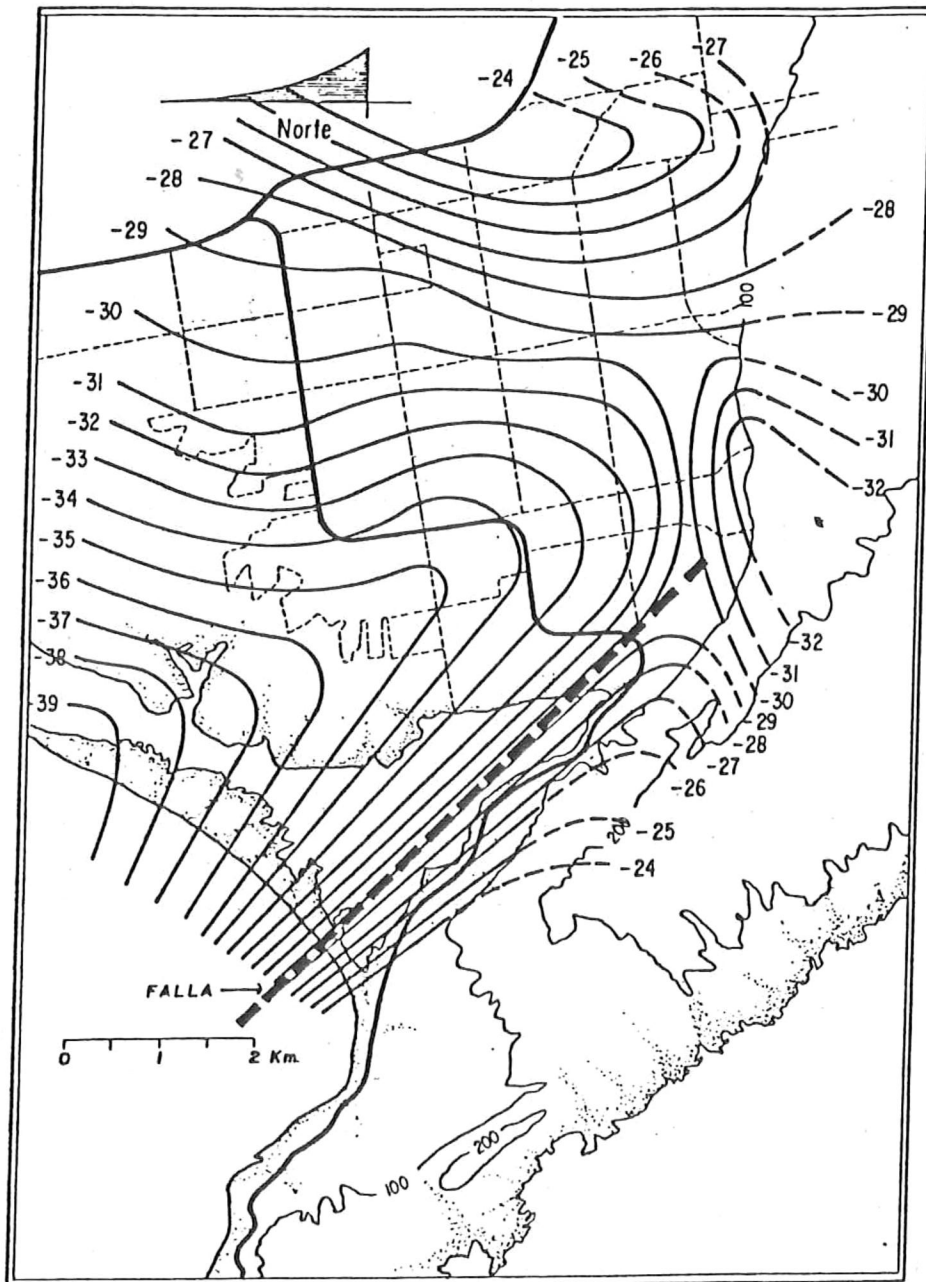


Figura 3.- Plano de anomalía de Bouger para el sur del Valle de Manadero. Tomado de Vázquez (1980).

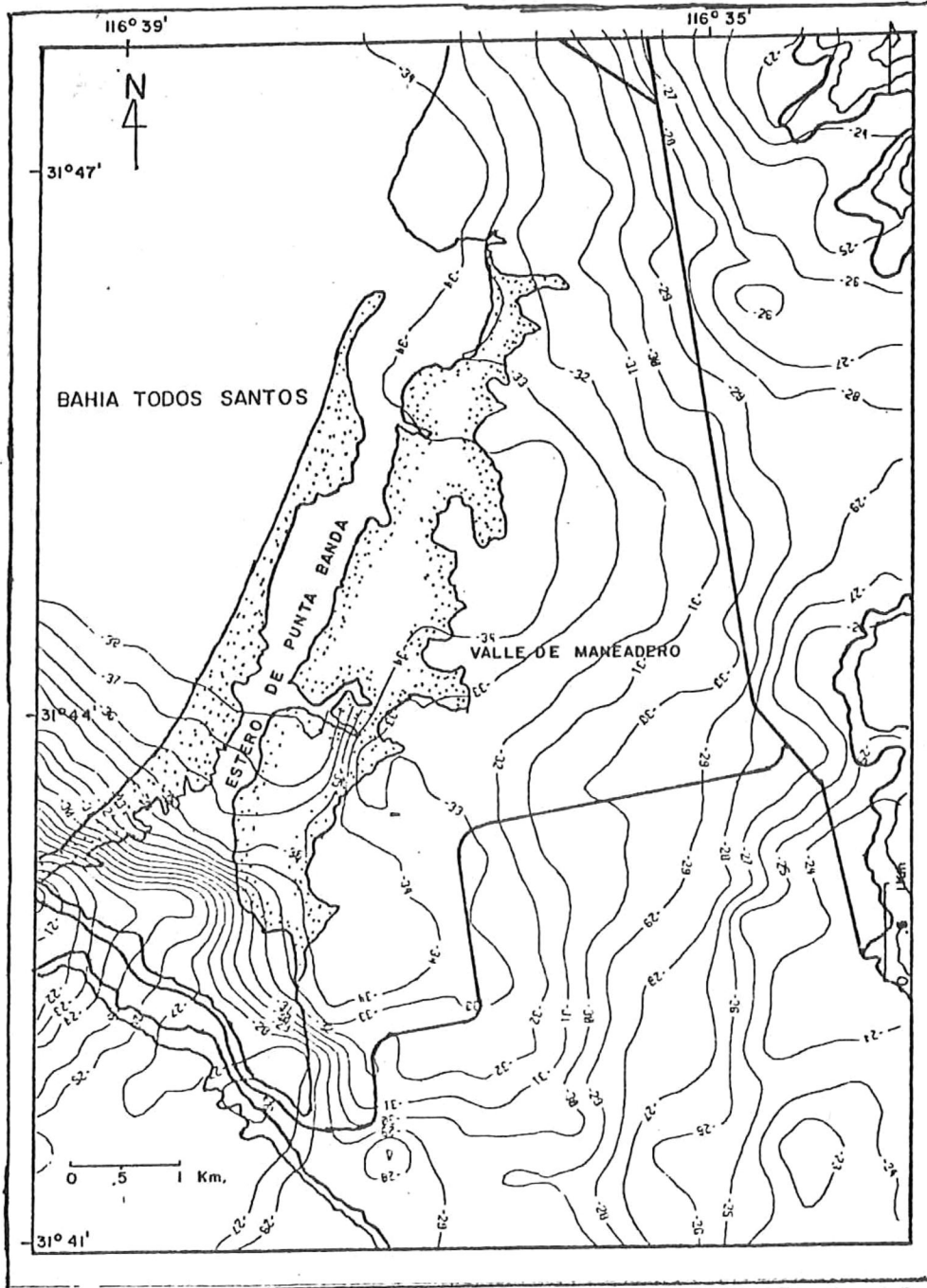


Figura 9.- Mapa de anomalía de Bouguer (miligauss), para el Área San Carlos-Bancaero. Tomado de Cruz (1986)

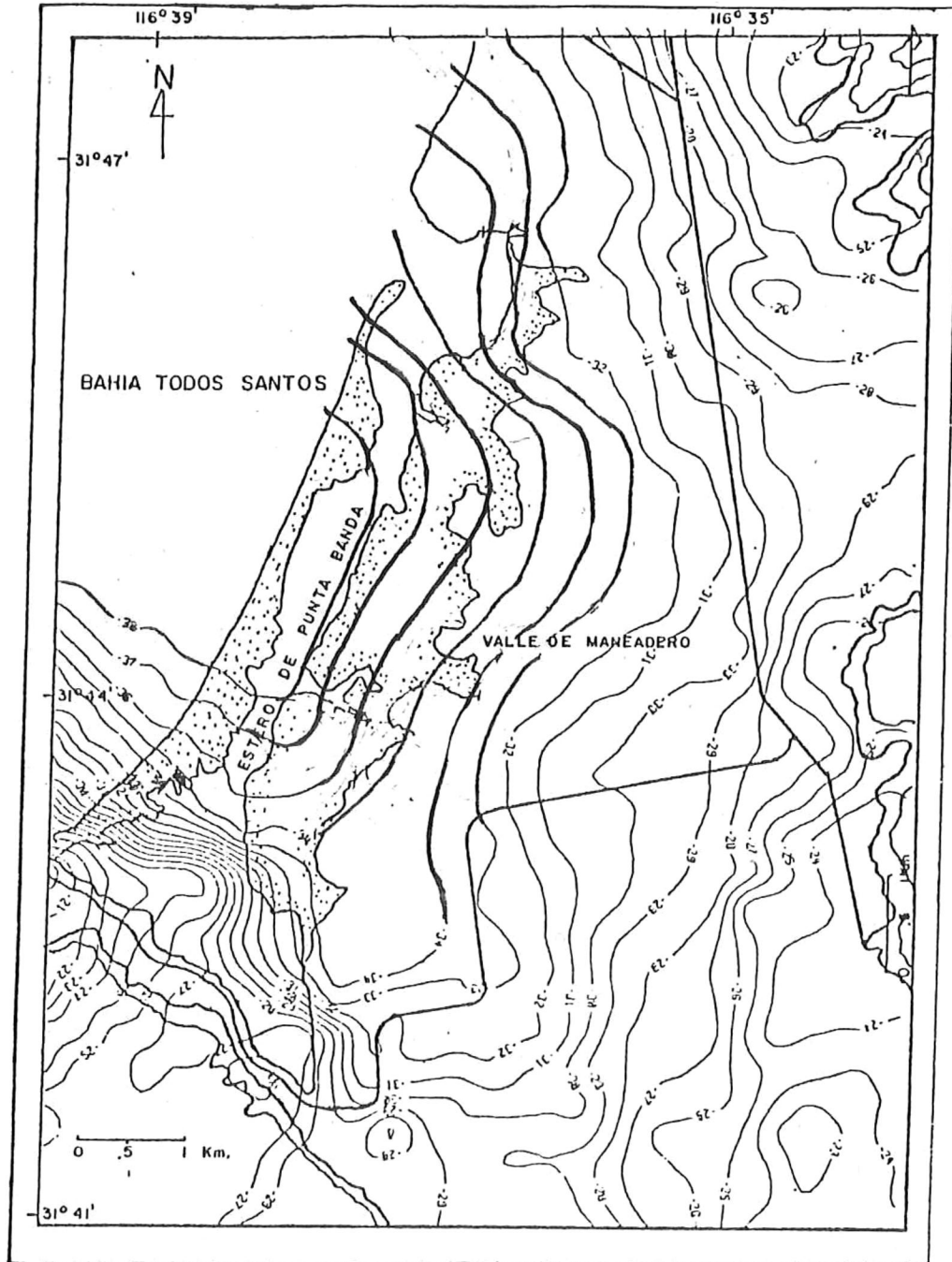


Figura 10.- Mapa de anomalía de Bouguer para el Valle de Maneadero

las anomalías de gravedad relativas (anomalías de Bouguer), que reflejen los gradientes de gravedad para la zona de estudio. González (1977), para adecuar sus anomalías gravimétricas referenciadas al área de la Bahía de Todos Santos, ajustó con un valor fijo de -30.0 miligales para todas las estaciones. A diferencia de otros estudios (Bowdy, 1977; Vázquez, 1980; Cruz, 1986) e incluyendo éste, se utilizó un valor de -23.55 miligales para obtener las anomalías de Bouguer con referencia a la estación 1. En base a lo anterior, es factible relacionar el estudio de González (1977) con los realizados en la zona costera, mediante la suma a las isoanomalías de Bouguer configuradas para la Bahía, de la diferencia entre los valores utilizados en ambos estudios (-23.55 miligales - (-30.0 miligales)), e interpolando entre los datos de la costa y los de la Bahía. Esto es válido si asumimos un comportamiento similar en la tendencia de las anomalías para los estudios mencionados. En la figura 11, aparecen las anomalías de Bouguer para toda la región. En base a la tendencia de las anomalías dentro de la Bahía, se infiere un basculamiento del basamento que la forma en dirección NW-SE, con un buzamiento en sentido SE. Esto se apoya con evidencias geológicas de campo presentes en las Islas de Todos Santos, además, concuerda con el gradiente determinado en la zona N a partir de la estación 12.

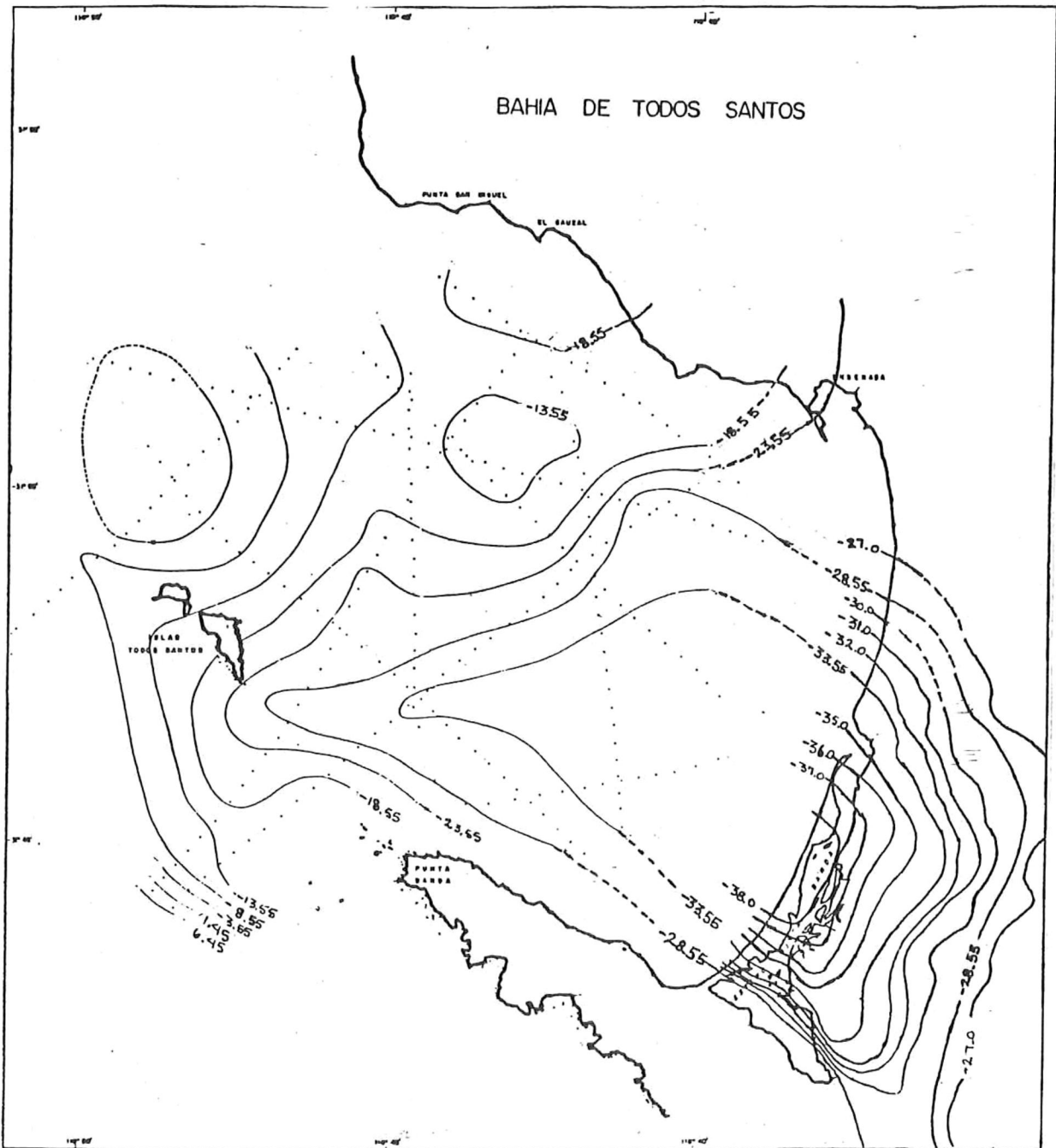


Figura 11.- Mapas de anomalía de Bouguer para la Bahía de Todos Santos y su área costera

Tomando en cuenta la configuración de las isoanomalías de la figura 11, se presenta un modelo estructural de la Bahía (Fig. 12).

De acuerdo a los resultados se puede determinar que la configuración gravimétrica de la zona N está dominada por la presencia superficial del basamento de la región. El perfil gravimétrico de la zona E, está controlado en el sur por la Falla de Agua Blanca, siendo la evidencia gravimétrica que lo corrobora el fuerte gradiente presente en la zona (Doway, 1977 y Vázquez, 1980) y el sector norte por una falla de segundo orden (González, 1977). Tal como se observa en la distribución de las isoanomalías de Bouguer para el Valle de Lanadero (Fig. 10), y para los perfiles de las zonas N y E (Fig. 5a y 6), solo se detectan para toda el área, los dos gradientes abruptos ya mencionados y tomando en cuenta la configuración de las isolíneas, no se presentan otros gradientes característicos que sugieran la existencia de otros movimientos verticales fuertes asociados a los movimientos del Sistema de Agua Blanca. Sin embargo, se presenta para la zona E, un descenso gradual de las anomalías en ambos sentidos a partir de la estación 30 (Fig. 6), esto se puede interpretar, como un alto del basamento que ha generado las cuencas sedimentarias del Valle de Lanadero y Ensenada.

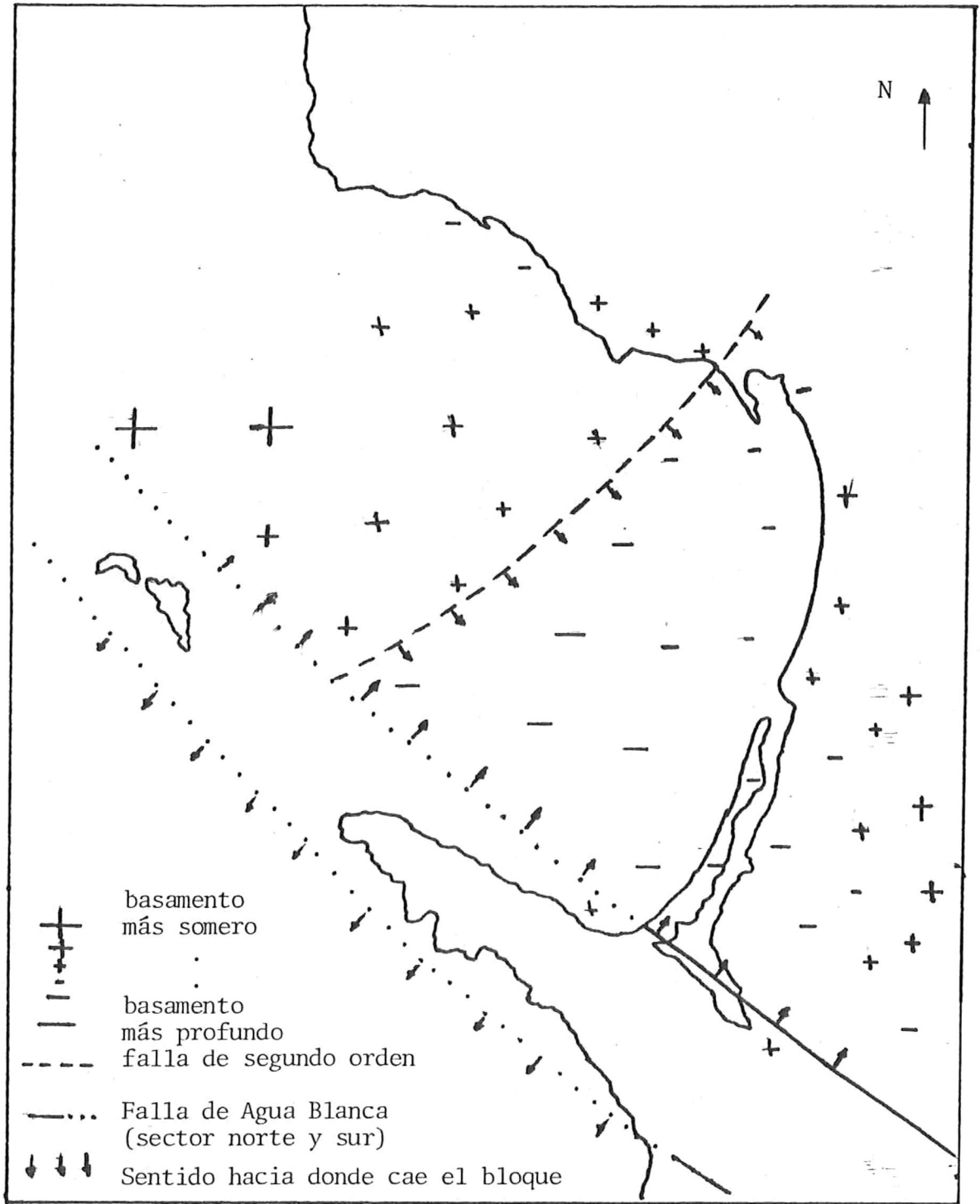


Figura 12.- Modelo estructural de la Bahía de Todos Santos.

VI CONCLUSIONES

Los rasgos estructurales que existen en la Bahía son: las cuencas sedimentarias de El Sauzal, Ensenada y Valle de Maneadero, que se delimitan en los perfiles gravimétricos; la Falla de Agua Blanca y una falla de segundo orden asociada a ésta se detecta mediante gravimetría, tanto para la zona costera como para la Bahía de Todos Santos.

Se presenta un alto del basamento que separa las cuencas sedimentarias de Ensenada y Valle de Maneadero.

El basamento que forma la Bahía de Todos Santos, presenta un basculamiento en dirección NW-SE, con un basculamiento en sentido SE, esto es inferido en base al comportamiento que presentan las isoanomalías tanto en la Bahía como en la costa norte.

Existe una correspondencia directa del comportamiento gravimétrico de la Bahía de Todos Santos y el de la zona costera.

VII LITERATURA CITADA

Consejo de Recursos Minerales No Renovables, 1962. Mapa Aeromagnético de la Región de Ensenada, B.C., México L.F.

Cruz, F.A., 1986. Gravimetría de la cuenca del arroyo San Carlos, Ensenada, B.C. Tesis de maestría en Geofísica de Exploración, C.I.C.E.S.E.

Dirección de Estudios del Territorio Nacional, DETENAL 1977. Cartas geológica y topográfica nos. H11E11, H11E12, H11E22. San Antonio Abad #124 México 8, D. F. DETENAL.

Dowdy, P. R. 1977. A Gravity Survey of Valle de Maneadero, Baja California, Senior report. San Diego State University, San Diego California. 52 pp.

Gastil, L.G., R.P. Phillips, E.C. Allison, 1975. Reconnaissance Geology of the State of Baja California, Mexico, Geol. Soc. Amer. Mem. 140, Boulder Colorado 170 pp.

- González, S.A., 1977. Anomalías Gravimétricas y Magnéticas de la Bahía de Todos Santos. Tesis de Licenciatura E.S.C.M.
- Hammer, S. 1939. Terrain corrections for gravimeter stations. Geophysics, vol. 4, 184-194.
- Nettleton, L.L. 1976. Gravity and Magnetics in Oil Prospecting. Copyright by Mc. Graw-Hill, Inc.
- Phillips R. P. 1975. Mapa de gravedad regional del estado de Baja California Norte. En Gastil, R. Gordon, R.P. Phillips y E.C. Allison 1975.
- Pou, A.S., 1982. Estudios de la Tectónica de las Islas de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. E.S.C.M.
- Schroeder, J. E., 1967. Geology of a portion of the Ensenada quadrangle, Baja California, México. Master's Thesis. San Diego State University. 74 p.
- Telford W. H., L. P. Geldart, R. E. Sheriff, D. A. Leys 1982. Applied Geophysics. Cambridge University Press. New York, 10022 U.S.A.

Vázquez, G.R., 1980. Estudio de Métodos Potenciales con aplicación a Geohidrología Tesis de Maestría, en Geofísica C.I.C.E.S.E.

Wong, O.V., 1980. Implicaciones Tectónicas de la Falla de Agua Blanca en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Maestría C.I.C.E.S.E.

VIII APENDICES

APENDICE I

DATOS DE ESTACIONES GRAVIMETRICAS, CORRECCIONES Y ANOMALIA DE BOUGER*
PARA LA ZONA COSTERA (unidades en miligales)

| EST. | GRAVEDAD OBSERV. | CORREC. TOPOG.* | CORREC. LATIT.* | CORREC. AIR. LI.* | CORREC. BOUGER* | GRAVEDAD BOUGER* | ANOMALIA BOUGER* |
|------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 3119.104 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 3119.104 | -23.55 |
| 2 | 3122.244 | -0.123 | -2.728 | 2.851 | -0.994 | 3121.250 | -21.40 |
| 3 | 3121.498 | -0.020 | -2.887 | 3.862 | -1.354 | 3121.119 | -21.53 |
| 4 | 3122.095 | -0.062 | -2.053 | 0.636 | -0.222 | 3120.394 | -22.26 |
| 5 | 3121.686 | -0.033 | -2.184 | 1.447 | -0.505 | 3120.411 | -22.24 |
| 6 | 3122.446 | 0.034 | -1.925 | 1.392 | -0.485 | 3121.462 | -21.19 |
| 7 | 3120.488 | 0.134 | -2.080 | 3.740 | -1.304 | 3120.978 | -21.67 |
| 8 | 3122.167 | 0.051 | -1.397 | 1.642 | -0.565 | 3121.898 | -20.75 |
| 9 | 3122.099 | 0.146 | -1.555 | 2.250 | -0.785 | 3122.155 | -20.49 |
| 10 | 3122.804 | 0.069 | -0.885 | 2.719 | -0.948 | 3123.759 | -18.89 |
| 11 | 3120.415 | 0.924 | -1.051 | 7.057 | -2.462 | 3124.883 | -17.77 |
| 12 | 3125.736 | 0.392 | -0.339 | 1.456 | -0.508 | 3126.737 | -15.91 |
| 13 | 3125.810 | -0.022 | 0.769 | -0.729 | 0.254 | 3126.082 | -16.57 |
| 14 | 3123.543 | 0.136 | 0.447 | 2.938 | -1.025 | 3126.039 | -16.61 |
| 15 | 3123.726 | 0.144 | 0.627 | 0.275 | -0.096 | 3124.676 | -17.97 |
| 16 | 3121.793 | 0.320 | 0.452 | 1.713 | -0.597 | 3123.681 | -18.97 |
| 17 | 3121.635 | 1.156 | 0.500 | 0.636 | -0.222 | 3123.705 | -18.94 |
| 18 | 3121.543 | 0.787 | 0.755 | -0.281 | 0.096 | 3122.902 | -19.75 |
| 19 | 3115.732 | -0.170 | 0.755 | -1.318 | 0.322 | 3115.321 | -27.33 |
| 20 | 3113.531 | -0.185 | 1.485 | -0.916 | 0.224 | 3114.139 | -28.51 |
| 21 | 3112.189 | -0.189 | 1.496 | 0.642 | -0.157 | 3113.981 | -28.67 |
| 22 | 3112.996 | -0.170 | 2.049 | -0.191 | 0.047 | 3114.731 | -27.92 |
| 23 | 3113.375 | -0.166 | 2.139 | 0.731 | -0.179 | 3115.900 | -26.75 |
| 24 | 3115.017 | -0.161 | 2.466 | -0.704 | 0.172 | 3116.790 | -25.86 |
| 25 | 3113.508 | -0.167 | 2.524 | 1.722 | -0.421 | 3117.166 | -25.48 |
| 26 | 3114.769 | -0.151 | 2.907 | -0.062 | 0.015 | 3117.478 | -25.17 |
| 27 | 3114.790 | -0.156 | 2.962 | 0.000 | 0.000 | 3117.596 | -25.05 |
| 28 | 3114.510 | -0.158 | 3.661 | -0.694 | 0.170 | 3117.489 | -25.16 |
| 29 | 3114.972 | -0.170 | 3.661 | -0.157 | 0.038 | 3118.344 | -24.31 |
| 30 | 3110.682 | -0.165 | 4.462 | -0.571 | 0.139 | 3114.547 | -28.10 |
| 31 | 3111.072 | -0.199 | 4.487 | -0.784 | 0.191 | 3114.767 | -27.88 |
| 32 | 3107.490 | -0.199 | 5.401 | -0.043 | 0.011 | 3112.660 | -29.99 |
| 33 | 3107.813 | -0.199 | 5.399 | -0.253 | 0.062 | 3112.822 | -29.83 |
| 34 | 3104.845 | -0.299 | 5.830 | 0.549 | -0.134 | 3110.791 | -31.86 |
| 35 | 3104.660 | -0.299 | 5.813 | 1.003 | -0.245 | 3110.932 | -31.72 |
| 36 | 3103.885 | -0.299 | 6.562 | -1.210 | 0.296 | 3109.234 | -33.42 |
| 37 | 3102.727 | -0.299 | 6.730 | 0.358 | -0.087 | 3109.429 | -33.22 |
| 38 | 3102.509 | -0.299 | 6.899 | -1.410 | 0.345 | 3108.044 | -34.61 |
| 39 | 3101.545 | -0.299 | 6.853 | 0.031 | -0.008 | 3108.122 | -34.53 |
| 40 | 3100.819 | -0.299 | 8.095 | -1.858 | 0.454 | 3107.211 | -35.44 |
| 41 | 3097.972 | -0.299 | 8.619 | -0.932 | 0.228 | 3105.588 | -37.06 |
| 42 | 3096.194 | -0.299 | 9.302 | -1.262 | 0.308 | 3104.243 | -38.41 |
| 43 | 3096.613 | -0.299 | 9.302 | -1.602 | 0.391 | 3104.405 | -38.24 |
| 44 | 3094.964 | -0.298 | 9.978 | -1.095 | 0.268 | 3103.817 | -38.83 |
| 45 | 3094.096 | -0.277 | 10.607 | -0.700 | 0.171 | 3103.897 | -38.75 |

*: Con referencia a la Estacion 1.

APENDICE II

DATOS DE ESTACIONES GRAVIMETRICAS, CORRECCIONES Y ANOMALIA DE BOUGER
PARA LOS PERFILES A, B, C y D (unidades en miligales)

| EST. | GRAVEDAD OBSERV. | CORREC. TOPOG.* | CORREC. LATIT.* | CORREC. AIR. LI.* | CORREC. BOUGER* | GRAVEDAD BOUGER* | ANOMALIA BOUGER* |
|------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| A-1 | 3122.078 | 0.787 | 0.755 | -0.281 | 0.097 | 3123.436 | -19.58 |
| A-2 | 3122.057 | 0.378 | 0.815 | -0.404 | 0.140 | 3122.986 | -20.03 |
| A-3 | 3122.323 | 0.073 | 0.875 | -1.071 | 0.370 | 3122.570 | -20.45 |
| A-4 | 3122.096 | -0.011 | 0.936 | -1.364 | 0.472 | 3122.129 | -20.89 |
| A-5 | 3121.561 | -0.038 | 0.996 | -1.364 | 0.472 | 3121.627 | -21.39 |
| A-6 | 3121.130 | -0.065 | 1.056 | -1.364 | 0.472 | 3121.229 | -21.79 |
| A-7 | 3120.894 | -0.091 | 1.116 | -1.364 | 0.472 | 3121.027 | -21.99 |
| A-8 | 3120.780 | -0.161 | 1.176 | -1.348 | 0.467 | 3120.914 | -22.10 |
| A-9 | 3120.492 | -0.150 | 1.237 | -1.348 | 0.467 | 3120.698 | -22.32 |
| A-10 | 3120.235 | -0.156 | 1.297 | -1.364 | 0.472 | 3120.484 | -22.53 |
| A-11 | 3119.947 | -0.163 | 1.358 | -1.364 | 0.472 | 3120.250 | -22.77 |
| A-12 | 3119.577 | -0.169 | 1.419 | -1.364 | 0.472 | 3119.935 | -23.08 |
| A-13 | 3118.980 | -0.175 | 1.479 | -1.148 | 0.397 | 3119.533 | -23.48 |
| A-14 | 3118.446 | -0.217 | 1.540 | -1.148 | 0.397 | 3119.018 | -24.00 |
| A-15 | 3117.594 | -0.220 | 1.600 | -1.148 | 0.397 | 3118.223 | -24.79 |
| A-16 | 3116.906 | -0.109 | 1.662 | -0.994 | 0.344 | 3117.809 | -25.21 |
| A-17 | 3116.166 | -0.112 | 1.722 | -0.932 | 0.323 | 3117.167 | -25.85 |
| B-1 | 3122.057 | 0.378 | 0.815 | -0.404 | 0.140 | 3122.986 | -20.03 |
| B-2 | 3122.024 | 0.103 | 0.776 | -0.438 | 0.152 | 3122.617 | -20.40 |
| B-3 | 3121.807 | 0.141 | 0.721 | -1.055 | 0.365 | 3121.979 | -21.04 |
| B-4 | 3121.490 | 0.173 | 0.667 | -1.271 | 0.440 | 3121.499 | -21.52 |
| B-5 | 3121.334 | 0.212 | 0.613 | -1.379 | 0.456 | 3121.236 | -21.78 |
| B-6 | 3121.108 | 0.196 | 0.559 | -1.348 | 0.466 | 3120.981 | -22.04 |
| B-7 | 3120.902 | 0.179 | 0.494 | -1.364 | 0.472 | 3120.683 | -22.33 |
| B-8 | 3120.727 | 0.163 | 0.456 | -1.379 | 0.477 | 3120.444 | -22.57 |
| B-9 | 3120.511 | 0.224 | 0.407 | -1.379 | 0.337 | 3120.100 | -22.92 |
| C-1 | 3120.511 | 0.224 | 0.407 | -1.379 | 0.337 | 3120.100 | -22.92 |
| C-2 | 3120.186 | 0.184 | 0.326 | -1.318 | 0.322 | 3119.700 | -23.32 |
| C-3 | 3119.517 | 0.142 | 0.399 | -1.318 | 0.322 | 3119.062 | -23.96 |
| C-4 | 3119.031 | 0.100 | 0.427 | -1.318 | 0.322 | 3118.562 | -24.46 |
| C-5 | 3118.432 | 0.057 | 0.462 | -1.287 | 0.314 | 3117.978 | -25.04 |
| C-6 | 3117.998 | 0.016 | 0.507 | -1.271 | 0.311 | 3117.561 | -25.46 |
| C-7 | 3117.645 | -0.025 | 0.552 | -1.225 | 0.229 | 3117.176 | -25.84 |
| C-8 | 3117.396 | -0.067 | 0.597 | -1.271 | 0.311 | 3116.966 | -26.05 |
| C-9 | 3117.116 | -0.189 | 0.639 | -1.271 | 0.311 | 3116.606 | -26.41 |
| C-10 | 3116.805 | -0.152 | 0.682 | -1.318 | 0.322 | 3116.339 | -26.68 |
| C-11 | 3116.360 | -0.194 | 0.755 | -1.318 | 0.322 | 3115.925 | -27.09 |
| D-1 | 3111.676 | 1.310 | -0.961 | 13.892 | -4.809 | 3121.108 | -22.49 |
| D-2 | 3114.843 | 0.869 | -0.929 | 7.105 | -2.459 | 3119.428 | -24.16 |
| D-3 | 3116.397 | 0.501 | -0.808 | 4.791 | -1.659 | 3119.223 | -24.37 |
| D-4 | 3116.689 | 0.346 | -0.734 | 3.464 | -1.199 | 3118.567 | -25.03 |
| D-5 | 3116.931 | 0.227 | -0.639 | 2.539 | -0.879 | 3118.179 | -25.41 |
| D-6 | 3118.427 | 0.129 | -0.519 | -0.207 | 0.072 | 3117.901 | -25.69 |
| D-7 | 3117.106 | 0.069 | -0.366 | -0.207 | 0.072 | 3116.673 | -26.92 |
| D-8 | 3114.353 | -0.008 | -0.257 | 0.164 | -0.057 | 3114.194 | -29.40 |
| D-9 | 3111.440 | -0.120 | -0.213 | 4.328 | -1.498 | 3113.938 | -29.66 |

*: Con referencia a la Estación 1.