

BOLETÍN DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA
Tomo XIV, pp. 23-38, 3 láms., 3 cuadros. 1949

CARTAS DE ANOMALIAS DE LA GRAVEDAD EN LA REPÚBLICA
MEXICANA *

ALFONSO DE LA O CARREÑO **

CONTENIDO

Introducción	25
Datos aprovechados	25
Anomalías de Bowie	27
Relación entre las isanómalias y la tectónica de la República Mexicana	31
Macizos	32
Continente Occidental	32
Macizo de Jalisco y Pequeños Macizos de Guerrero y Oaxaca	32
Macizo Complejo de Guerrero y Oaxaca, y Macizo de Chiapas	32
Plataforma de Coahuila	32
Plataforma de Yucatán	33
Macizo de San Andrés	33
Macizo de Tezintlán	33
Plataforma de Tamaulipas	33
Macizo de El Burro-Picachos	33
Pliegues del Geosinclinal Mexicano y Antefosas	34
Cuenca	34
Cuenca de Sabinas	34
Cuenca de Burgos	34

* Estudio presentado en el 8º Congreso de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, en Oslo, Noruega, en agosto de 1948; y leído en la Sociedad Geológica Mexicana el 6 de octubre de 1949.

** Director General de Geología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y Profesor de Métodos Geofísicos de Exploración, Universidad Nacional Autónoma de México.

	Pág.
Cuenca Salina y Cuenca de Veracruz y de Tabasco-Campeche	34
Cuenca del Balsas	34
Anomalía aparente de Bouguer	35
Comparación de las anomalías de Bouguer con la Carta Tectónica de la República Mexicana	35
Macizos	36
Continente Occidental	36
Plataforma de Tamaulipas	36
Plataforma de Yucatán	36
Geosinclinal Mexicano y Antefosas	37
Cuenca	37
Cuenca de Burgos	37
Cuenca Salina y Cuenca de Veracruz y de Tabasco-Campeche	37
Cuenca del Balsas	37
Bibliografía	38

ILUSTRACIONES

Lámina 1. Carta de anomalías totales de la gravedad en la República Mexicana	30
2. Carta gravimétrica de anomalías de Bouguer en la República Mexicana	36
3. Carta tectónica de la República Mexicana	38
 Cuadro 1. Cuadro sinóptico de estaciones de gravedad pendulares. I.—Datos del Departamento Geográfico de la Secretaría de Agricultura y Fomento. II.—Datos de la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos. III.—Datos de la U. S. Coast and Geodetic Survey	26

INTRODUCCION

Desde hace varios años el autor ha estado recopilando y revisando datos de observaciones gravimétricas hechas en la República Mexicana, que sirvieran de base para la construcción de las dos cartas de anomalías (láminas 1 y 2) que se presentan en este estudio. Una de ellas muestra las anomalías totales o de Bowie, y la otra las anomalías aparentes de Bouguer. Creo que la primera, especialmente, tenga interés general, dado que con ella se cubre, aunque imperfectamente, el territorio mexicano, que representa una extensión considerable de la América del Norte, en donde se tienen las numerosas observaciones hechas en los Estados Unidos (U. S. Coast and Geodetic Survey, 1940) y algunas en la América Central (Medina, 1944).

Deseo hacer patente en estos renglones mi reconocimiento a las personas que colaboraron en la elaboración de estas cartas, y muy especialmente a la señorita profesora Rita López de Llergo, Directora del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma, por su decidido empeño en que se terminaran y dieran a conocer estas cartas, que inició el autor cuando era Investigador de dicho Instituto.

DATOS APROVECHADOS

Los datos fundamentales son valores totales de la gravedad, calculados con determinaciones pendulares relativas, hechas en estaciones dentro de México, en Centroamérica y en la zona sur de los Estados Unidos. Se aprovecharon también valores deducidos de observaciones hechas con gravímetro, en redes de estaciones apoyadas en las de péndulo, así como otros valores deducidos de observaciones con balanza de torsión.

Los datos básicos se dan en el cuadro sinóptico I anexo, que comprende 85 estaciones pendulares del Departamento Geográfico de la Secretaría de Agricultura del Gobierno Mexicano, referidas a la estación base de Tacubaya, D. F., que está a su vez relacionada con la de Washington, D. C. El error medio de estas determinaciones oscila entre 0.1 y 5.0 miligales.

La estación de Tacubaya se encuentra en un extremo del salón de comparación de cintas en el edificio del citado Departamento Geográfico, y sus coordenadas son:

$\varphi = 19^{\circ} 24' 17.90''$ de latitud boreal,
 $\lambda = 6^{\circ} 36' 46.74''$ de longitud oeste de Greenwich,
 $H = 2,297.5$ metros sobre el nivel del mar y
 $g = 978.941$ miligales (Leyva, 1912).

Se cuenta, además, con 52 estaciones de la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos, cuyos valores fueron deducidos de observaciones de gravímetro, apoyadas en estaciones pendulares. En el cuadro sinóptico II se dan los datos de estas estaciones y la forma en la que están distribuidas, que es como sigue: región noreste de México, 18; región de Tampico, 14; región del Istmo de Tehuantepec y Tabasco, 7, y región del centro, 13. Por último, se cuenta con 83 observaciones pendulares del U. S. Coast and Geodetic Survey (cuadro sinóptico III), relacionadas con la estación base de Washington, D. C., que a su vez lo está con la de Potsdam, Alemania.

La estación de Washington, D. C., es la que figura en la lista de estaciones de los Estados Unidos con el número 337, que está en el edificio del Departamento de Comercio y cuyos datos son:

$\varphi = 38^{\circ} 53.6'$ de latitud boreal;
 $\lambda = 77^{\circ} 02.0'$ de longitud oeste de Greenwich,
 $H = 0.2$ metros sobre el nivel del mar y
 $g = 980.118$ miligales (Lushene, 1933).

Todos los valores consignados están en miligales, que es la milésima parte de una dina por gramos-masa, o se dan en unidades de aceleración en centímetros por segundo por segundo.

Teniendo en cuenta únicamente estaciones pendulares, se ve que hasta ahora contamos en México sólo con 85 para cubrir un área de 1.963,366 kilómetros cuadrados. La República de la Unión Americana tiene 1,135 estaciones para 7.710,756 kilómetros cuadrados, o sea una para cada 6,800 kilómetros cuadrados, representando una densidad 3.4 veces mayor. Sin embargo, en México hay zonas densamente cubiertas por estaciones de gravímetro y balanza de torsión; éstas son las exploradas con fines petroleros (De la O. Carreño, 1946), que alcanzan densidades hasta de una estación por cada kilómetro cuadrado para las observadas con balanza de torsión, cuya precisión oscila entre 0.5 y 2.0 Eotvos. Las observaciones con gravímetro alcanzan densidades hasta de una estación

por cada 1.78 kilómetros cuadrados, con una precisión media de 0.05 de miligal.

He indicado ya que los datos de observaciones gravimétricas de balanza de torsión o gravímetro pertenecen a Petróleos Mexicanos. De los millares de ellos he escogido con anuencia de la Gerencia de Exploración, el conjunto de 52 ya mencionado, que nos ayude en este trabajo de carácter general.

Vemos, pues, que los datos con que contamos son escasos y, por lo tanto, la correlación de ellos por interpolación entre estaciones es limitada. Hay muchas que no pueden relacionarse por su lejanía, y se darían ideas erróneas sobre las condiciones gravimétricas en México si se hiciera el trazo de isanomalías sólo geométricamente, sin atender a la posición relativa de las estaciones y al relieve del país. Por lo tanto, el trazo de las curvas de igual anomalía es sólo tentativo.

ANOMALIAS DE BOWIE

Tanto las anomalías de Bowie como las de Bouguer están basadas en la fórmula internacional que nos da la gravedad teórica al nivel del esferoide ideal:

$$g^e = 978049 (1 + 0.0052884 \operatorname{sen}^2 \varphi - 0.0000059 \operatorname{sen}^2 2\varphi) \quad (1)$$

(De la O Carreño, 1944).

La anomalía de Bowie tendrá por valor:

$$\Delta g^{Bowie} = g_{obs} - (g_\varphi + C_H + C_T + C_I + C_\sigma), \quad (2)$$

en la cual:

$$C_H = \mp \frac{2H}{R} g, \quad (3)$$

$$C_H = \mp 0.3086H \text{ (miligales, si } H \text{ se da en metros);} \quad (4)$$

g_{obs} = la gravedad observada en la estación considerada,

H = la altitud de la estación,

R = el radio de la esfera terrestre, equivalente a 6,371 kilómetros, y

g = el valor de la gravedad, cuyo valor teórico a 45° de latitud puede tomarse en 980,629 miligales.

La expresión C_H es la corrección por altura libre, y la C_T es la corrección por topografía, que tiene en cuenta el efecto de todas las masas que circundan la estación, correspondientes a las irregularidades del relieve terrestre, tanto de las cuencas oceánicas y mares como de los

relieves continentales y grandes islas. Esta corrección puede ser positiva o negativa, y para poder calcularla es indispensable disponer de buenos mapas locales y regionales configurados, así como un buen globo terrestre que esté también debidamente configurado.

Para calcular esta corrección (C_T) se considera a la superficie terrestre dividida en una serie de zonas en forma de trapecios. De éstos se calcula su efecto parcial y se suma el total de ellos. Dos regiones se consideran como fundamentales, desde el punto de vista de su lejanía a la estación. La primera, hasta un radio de 200 kilómetros y en la que se desprecia la curvatura terrestre, es la región de masas cercanas. La segunda, desde esa distancia hasta el antípoda de la estación, es la zona de masas lejanas y en ella sí se tiene en cuenta la curvatura terrestre.

De acuerdo con la división propuesta por Toscano (1944), los radios de las zonas de la región de masas cercanas son:

Zona	Radios extremos	
A	0.0 a 0.5 Km.	
B	0.5	1
C	1	2
D	2	4
E	4	20
F	20	100
G	100	200

Los cálculos de C_T se basan en la ecuación fundamental:

$$C_T = 2\pi K\sigma (\rho_2 - \rho_1 + \sqrt{H^2 + \rho_1^2} - \sqrt{H^2 + \rho_2^2}), \quad (5) \text{ o}$$

$$C_T = 0.0419\sigma (\rho_2 - \rho_1 + \sqrt{H^2 + \rho_1^2} - \sqrt{H^2 + \rho_2^2}), \quad (6)$$

que da el efecto de una masa cilíndrica de altura H , de densidad σ , comprendida entre los dos radios ρ_1 y ρ_2 , sobre un punto A en el plano de su base superior. La constante de la gravitación universal es K .

Para observaciones al nivel del mar (Geoide), si se tiene una superficie de roca, el efecto C_T sería nulo siempre que se tratara de una formación de densidad uniforme; tratándose del agua de los océanos y mares, cuya densidad es apenas de 1.027 en promedio, habría una deficiencia de densidad de 1.643, considerando un valor medio de 2.67 para las rocas superficiales. Este valor de 1.027 será el que se tome para σ .

en la ecuación 5; la atracción será negativa y la altura del cilindro (H) será la profundidad del océano en la zona considerada.

A partir de los 200 kilómetros, a causa de la forma de la Tierra, no es posible considerar los anillos como se ha explicado, sino como zonas esféricas (es suficiente, en este caso, considerar a la Tierra como una esfera). La ecuación que se aplica en este caso es la siguiente:

$$C_T = \frac{2\pi K \sigma R^2 H}{n} (\cos C_2 - \cos C_1) (E_1 + E_2 + \dots + E_n), \quad (7)$$

siendo en general:

$$E = \frac{\operatorname{Sen}(\frac{1}{2}C - \operatorname{sen}^{-1} \sqrt{D^2 + H^2 + 2HD \operatorname{sen} \frac{1}{2}C})}{D^2 + H^2 + 2HD \operatorname{sen} \frac{1}{2}C}. \quad (8)$$

En estas ecuaciones,

K = la constante de la gravitación,

σ = la densidad,

R = el radio medio terrestre,

H = la altitud media de cada zona comprendida entre dos ángulos geocéntricos C_1 y C_2 , suficientemente cercanos para que la diferencia angular ($C_2 - C_1$) sea pequeña,

n = el número de fajas elementales en la zona considerada, y

D = la distancia en línea recta entre la estación y el punto de la superficie que corresponde al ángulo C . Si se miden los ángulos a partir de la estación tomando ésta como polo, serán iguales a la mitad del ángulo central, o sean los valores $\frac{1}{2}C$.

Para la región de masas lejanas, Toscano (1944) ha hecho la división de zonas como sigue:

Zona	Ángulos $\frac{1}{2}C$ extremos	
1.....	1°48' (200 Km.)	3°
2.....	3	6°
3.....	6	10°
4.....	10	20°
5.....	20	50°
6.....	50	90°
7.....	90	180°

De acuerdo con estas bases, Toscano (1944) calculó tablas para las correcciones topográfica e isostática que son muy cómodas y facilitan grandemente los cálculos.

Volviendo a la ecuación 2, C_I es la corrección por isostasia o de Bowie, que tiene en cuenta los efectos de masa en los relieves y el exceso en los océanos; se aprovechan los mismos datos de configuración que para la corrección topográfica, por lo cual pueden combinarse ambas correcciones o pueden tratarse separadamente. Para el cálculo de esta corrección C_D , se hace uso de las mismas fórmulas que se emplean en la corrección topográfica C_T , pero entran en ellas con un valor de σ_1 , o sea la densidad, que cada vez se calcula según la ecuación:

$$\sigma_1 = \frac{0.615}{H - H^1}, \quad (9)$$

en la que σ_1 es la densidad normal, es decir, la de una columna de la corteza que desde la superficie de compensación isostática termine al nivel del mar. H es la profundidad de compensación, que en México se toma igual a — 114 kilómetros. H^1 es la profundidad media del océano en la zona considerada. Esta corrección es de signo contrario a la topográfica, siendo positiva la que corresponde a los océanos y negativa la de los continentes.

C_σ es la corrección que tiene en cuenta las densidades anormales locales por la presencia de materiales de diversa naturaleza distribuidos irregularmente en la corteza terrestre y es difícil de calcularse. Por este motivo, en realidad la anomalía de Bowie está afectada del error producido por esta corrección, es decir, se tendrá que en realidad los valores calculados son:

$$\Delta g = \Delta g_{\text{Bowie}} + C_\sigma. \quad (10)$$

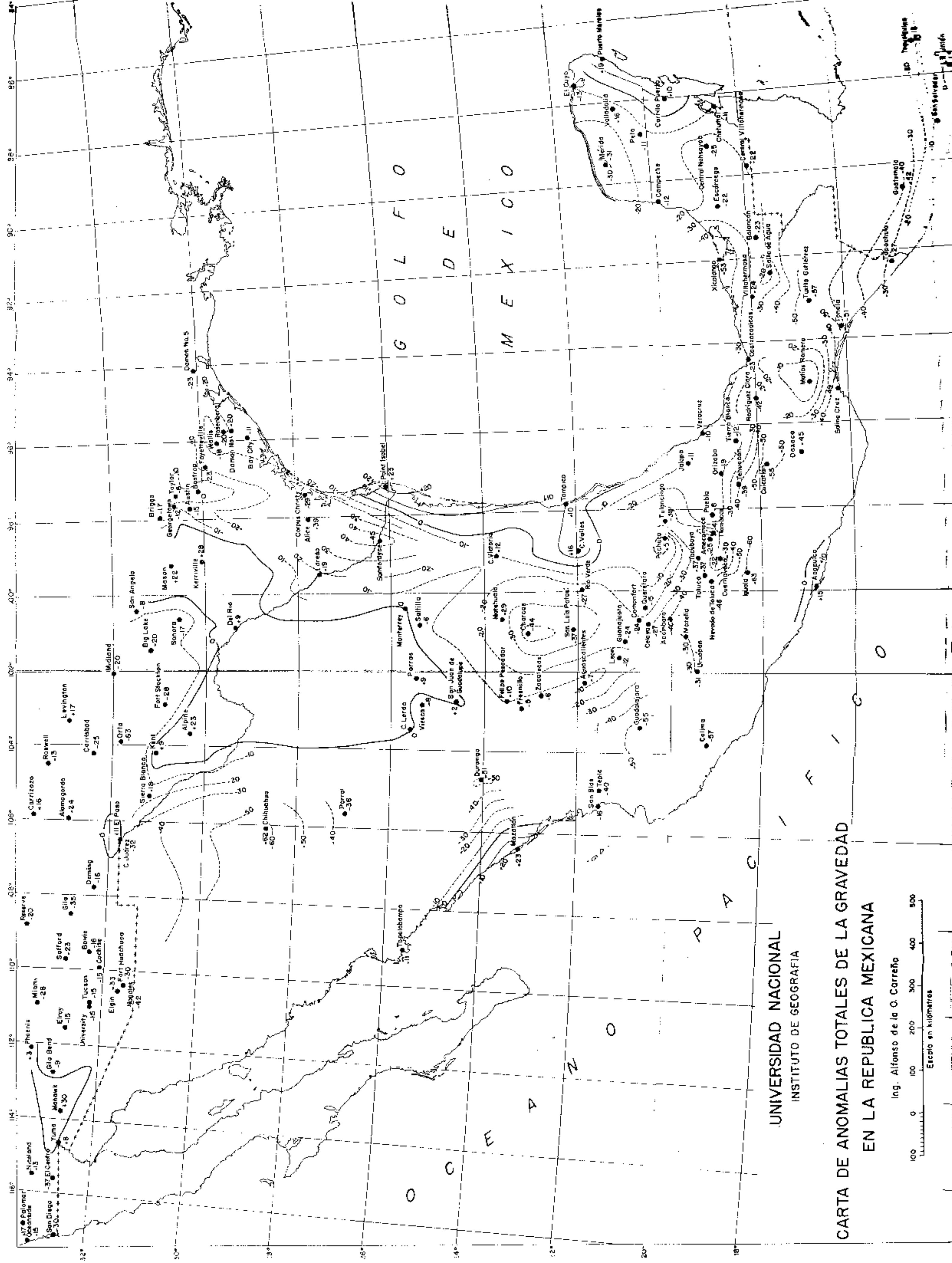
Sabemos que desde el punto de vista de la exploración gravimétrica y abarcando sólo extensiones reducidas en la superficie del Globo, las anomalías que se interpretan (generalmente las de Bouguer) para averiguar las condiciones estructurales del subsuelo, incluyen el efecto de las masas de densidades anormales que se tratan de localizar.

Los resultados finales nos permitieron trazar las isanómalias que se presentan en la carta de la lámina 1, a la que se agregó una faja de isanómalias del plano publicado en el trabajo de Hess (1938), referente al arco antillano.

**CARTA DE ANOMALIAS TOTALES DE LA GRAVEDAD
EN LA REPUBLICA MEXICANA**

UNIVERSIDAD NACIONAL
INSTITUTO DE GEOGRAFIA

Ing. Alfonso de la O. Carrasco
Escala en kilómetros



RELACION ENTRE LAS ISANOMALAS Y LA TECTONICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

En seguida haremos una breve discusión de la Carta de isanomalas (lámina 1), relacionándola con la Carta Tectónica de la República Mexicana (lámina 3) que presenta Alvarez (1948).

A grandes rasgos se ve que las anomalías positivas ocupan algunas zonas alargadas paralelas a las costas, como se ve en la del Pacífico en la zona de Mazatlán y Acapulco; en la del Golfo de México desde el Río Bravo hasta Tampico, con una entrante a Valles; y en la del Caribe en la costa oriental de la Península de Yucatán. Esta última zona está de conformidad con la de anomalías positivas del Caribe, según el mapa de Hess (1938). Ya se llegará la oportunidad de hacer observaciones submarinas en el Canal de Yucatán para completar esta región por demás muy interesante. El mayor valor observado en estas zonas costeras es de + 23 miligales.

Existen otras zonas de anomalías positivas en la masa continental. Dos de ellas son muy pequeñas, pero de gran significado; una está en la región de Pachuca y la otra se halla cerca de Matías Romero en el Istmo de Tehuantepec. En las dos regiones mencionadas las anomalías apenas alcanzan un valor de + 5 miligales. Pero la zona más interesante es la del norte del país, que abarca una gran parte de los Estados de Coahuila y Nuevo León y que se introduce al Estado de Texas de los Estados Unidos. En esta región tampoco se observan valores positivos muy grandes en territorio mexicano. En los Estados Unidos se llegan hasta + 28 miligales en Kerrville, Texas.

Las anomalías negativas son las predominantes y se extienden tanto en la masa continental como en sus zonas costeras. En estas zonas alcanzan sus valores máximos en ciertas regiones como en Chihuahua (- 62 miligales), Durango (- 51 miligales), Colima (- 57 miligales), Guadalajara (- 55 miligales), Charcas (- 44 miligales), Tlamacas (- 41 miligales), Iguala (- 63 miligales), Cuieatlán (- 55 miligales), Tuxtla Gutiérrez (- 57 miligales), y un lugar en el noreste frente a Samfordyce, Texas (- 45 miligales).

Los contornos y límites de las zonas de anomalías son más irregulares y caprichosos hacia la parte central de la República Mexicana, en donde las condiciones geológicas son más complejas.

Es interesante hacer la correlación de las anomalías de la gravedad con las unidades tectónicas delimitadas en la carta (lámina 3) y estudio

de Alvarez (1948). Se sobrentiende que esta correlación es tentativa solamente, ya que nos faltan importantes extensiones de territorio mexicano por cubrir con observaciones de la gravedad.

MACIZOS

Continente Occidental.—Esta gran unidad coincide con zonas de anomalías negativas, desde valores bajos hasta grandes. Es posible que en toda esta gran unidad predominen los materiales siálicos a profundidades considerables, de los que tenemos manifestaciones superficiales muy importantes, como son los grandes derrames riolíticos comprendidos en la misma, la presencia de granitos y la ausencia de rocas básicas, ya que las cordilleras de la Sierra Madre Occidental, en general, no están formadas ni siquiera por materiales basálticos, sino de rocas intermedias como las andesitas. Además, se encuentran sedimentos continentales y de origen marino, entre los que debemos mencionar grandes masas de tobas riolíticas.

Macizo de Jalisco y pequeños Macizos de Guerrero y Oaxaca.—No tenemos datos de estas regiones, y solamente podemos decir que el primero coincide con una zona de anomalías negativas. En esta unidad predominan las rocas efusivas, tanto ácidas como básicas, que están ampliamente representadas por riolitas y basaltos. A pesar de la alta densidad de estos últimos y sus espesores muy considerables, se acusa una deficiencia de masa, que sólo es explicable por la presencia de grandes masas graníticas a profundidad. El extremo oriental de los pequeños macizos coincide con la zona de anomalías positivas de Acapulco; de manera que no obstante que en esta región aparecen en la superficie rocas de tipo siálico, la potencia de éstas debe ser menor que en el Macizo de Jalisco.

Macizo Complejo de Guerrero y Oaxaca, y Macizo de Chiapas.—El primero de éstos se extiende probablemente hasta el pequeño macizo al poniente de Iguala. Está constituido por rocas del complejo basal e incluye varias cuencas de calizas mesozoicas, algunas casi rodeadas de granitos y rocas metamórficas de origen sedimentario. Esto explica el por qué se encuentre en una zona de anomalías negativas, ya que como es una región bastante alta y accidentada, el espesor de la cubierta de sial debe ser grande. Lo mismo puede decirse del Macizo de Chiapas, que está constituido por rocas graníticas y metamórficas.

Plataforma de Coahuila.—Este macizo, formado por el frente muy comprimido del sistema Ouachita, ocupa junto con la Cuenca de Sabinas

la zona de anomalías positivas del norte de la República. Estas anomalías positivas pudieran explicarse como debidas a que durante el proceso orogénico que dió origen a las Montañas Ouachita, las rocas básicas del substrato afluyeron hacia los plegamientos y formaron en la profundidad un bloque rígido, lo cual explicaría la influencia de este macizo al modificar la dirección de los plegamientos del Geosinclinal Mexicano.

Plataforma de Yucatán.—Este macizo está constituido por una masa siática en su parte más profunda, cubierta apenas por unos mil metros de sedimentos; se adelgaza considerablemente hacia el oriente, donde aparecen las anomalías positivas que se prolongan en el Caribe. Esto significa probablemente que las rocas de tipo básico se encuentran a poca profundidad.

Macizo de San Andrés.—Este pequeño macizo apenas se insinúa por una disminución de las anomalías negativas, y su importancia parece ser muy secundaria.

Macizo de Teziutlán.—Este pequeño macizo se insinúa en la entrante de las anomalías negativas que se dirige hacia Jalapa.

Plataforma de Tamaulipas.—Por la naturaleza de esta gran unidad, se ve que es bastante compleja desde el punto de vista geológico, lo que se manifiesta por la presencia tanto de anomalías positivas como negativas, dentro de ella. Las partes que corresponden francamente a las anomalías negativas son principalmente regiones de rocas mesozoicas de origen marino, por más que en la entrante de Valles-Tampico esas formaciones corresponden a anomalías positivas. En el primer caso podemos suponer que las raíces de origen siálico son muy profundas, mientras que en el segundo son de poca profundidad.

Hacia el sureste, no obstante la presencia de rocas ígneas, esta unidad corresponde también a anomalías negativas, lo cual significa probablemente que las rocas principalmente de origen volcánico no son de gran espesor y cubren materiales siálicos.

Hacia el norte de Tampico, donde aparecen rocas terciarias, menos densas que las mesozoicas, existen anomalías positivas, lo que indica probablemente un alto hipocontinental de rocas básicas.

Macizo de El Burro-Picachos.—Esta unidad, que coincide en parte con anomalías positivas y en parte con negativas, aunque en general de valores bajos, nos indica que coincide probablemente con un alto de rocas básicas, no obstante que corresponde superficialmente a formaciones mesozoicas marinas.

PLIEGUES DEL GEOSINCLINAL MEXICANO Y ANTEFOSAS

Es muy interesante observar que prácticamente toda esta gran unidad alargada en una dirección general de noroeste a sureste, corresponde a anomalías negativas que en general no son de gran valor, a excepción de sus extremos noroeste y sureste; pero lo más notable es que esta faja queda siempre comprendida entre zonas de anomalías positivas y que se flexiona en las cercanías de estas zonas. Lo anterior quiere decir que el gran Geosinclinal Mexicano de Alvarez (1948) corresponde probablemente a una franja comprendida entre macizos originales de rocas básicas. En las zonas en que esta unidad coincide con grandes anomalías negativas, puede interpretarse, o que el geosinclinal es bastante profundo, o que el material siálico también lo es, como en las regiones de Chiapas y de Chihuahua.

Podemos considerar, desde el punto de vista geofísico, a las antefosas como formando parte de esta unidad.

CUENCAS

Cuenca de Sabinas.—Esta cuenca se encuentra dentro de la zona de las anomalías positivas en donde se halla la Plataforma de Coahuila. Se trata de una cuenca somera y posiblemente se encuentra en las mismas condiciones que dicha plataforma.

Cuenca de Burgos.—Esta cuenca coincide con una zona de anomalías negativas, algunas muy grandes; solamente hacia el este, es decir, hacia la costa, corresponde a anomalías positivas. Lo anterior quiere decir que la mayor parte de la cuenca es probablemente profunda, adelgazándose las rocas siáticas hacia la costa.

Cuenca Salina y Cuenca de Veracruz y de Tabasco-Campeche.—Estas cuencas corresponden todas a anomalías negativas, lo que indica un gran espesor de rocas sedimentarias.

Cuenca del Balsas.—Esta cuenca se encuentra dentro de una zona de grandes anomalías negativas, no obstante de que contiene efusiones de rocas básicas y que las sedimentarias mesozoicas no son de considerable potencia. Esto puede interpretarse como que las raíces siáticas alcanzan gran espesor, lo que en parte confirma su gran altura media.

ANOMALIA APARENTE DE BOUGUER

Las anomalías de Bouguer que sirvieron para trazar las curvas de la Carta de la lámina 2 se calcularon con la siguiente expresión:

$\Delta g_{\text{Bouguer}} = g_{\text{obs}} - (g_{\sigma} + C_H + C_B)$,
en la que g_{obs} , g y C_H tienen exactamente el mismo significado y valor dados, al referirnos a las anomalías totales o de Bowie. (11)

La expresión para la corrección de Bouguer es:

$$C_B = 2\pi K \sigma H = \frac{3\sigma H}{2\Delta R}, \quad (12)$$

$$C_B = 0.0419 \sigma H \text{ (miligales, si } H \text{ se da en metros).} \quad (13)$$

Es el efecto de una losa de espesor H , de densidad σ y de extensión horizontal infinita.

Δ = la densidad media terrestre, que puede tomarse igual a 5.53 (que según Harkness es 5.576 ± 0.016).

R = el radio de la esfera de volumen equivalente al de la Tierra, que es de 6,371 kilómetros.

En la ecuación 11 falta el término C_T , complemento de la corrección de Bouguer, que tendría en cuenta el efecto de las irregularidades de relieve en dicha corrección. No fué posible introducirlo debido a que, proveniendo nuestros datos gravimétricos de tres fuentes diferentes, no dispusimos de los datos de relieve más cercanos a las estaciones y preferimos calcular la anomalía de Bouguer en igualdad de condiciones para todas las estaciones. No obstante, el trazo de las curvas de igual anomalía (lámina 2) es interesante al ser comparado con la Carta Tectónica de México (lámina 3).

COMPARACION DE LAS ANOMALIAS DE BOUGUER CON LA CARTA TECTONICA DE LA REPUBLICA MEXICANA

La anomalía de Bouguer es un reflejo de los cambios en densidad de las formaciones de rocas menos profundas. Al comparar la Carta de anomalías de Bouguer (lámina 2) con la Carta tectónica (lámina 3), vemos que las anomalías positivas ocupan pequeñas áreas en la costa del Pacífico, como en Mazatlán (+ 8 miligales) y en Acapulco (+ 52 miligales). Ocupan también una angosta zona en la costa del Golfo de México, desde Matamoros hasta más al sur de Tampico, con una pequeña entrante al occidente de este último puerto. El mayor valor observado allí es de

+ 18 miligales. Vuelven a aparecer en la costa del Golfo en la zona de Frontera, con un valor hasta de + 21 miligales. En la parte continental se definen tres pequeños altos positivos, que están en las regiones de Vallecito, Poza Rica y Salto de Agua. En ninguno de estos lugares son de un alto valor las anomalías.

La Península de Yucatán corresponde casi totalmente a una zona de anomalías positivas en franjas paralelas que crecen sucesivamente hacia la costa del Caribe, desde la isanómala O hasta un valor máximo en Puerto Morelos de + 72 miligales. Estas franjas son aproximadamente paralelas al eje de la Península de Yucatán y a sus costas.

En todo el resto de la República en donde disponemos de observaciones para calcular la anomalía de Bouguer, predominan los valores negativos en fajas toscamente paralelas a las costas, con valores ascendentes hacia el centro de la masa continental, hasta culminar en varias zonas de grandes anomalías que alcanzan valores de — 230 miligales en Zacatecas, — 203 miligales en Guanajuato y — 267 miligales en el Nevado de Toluca.

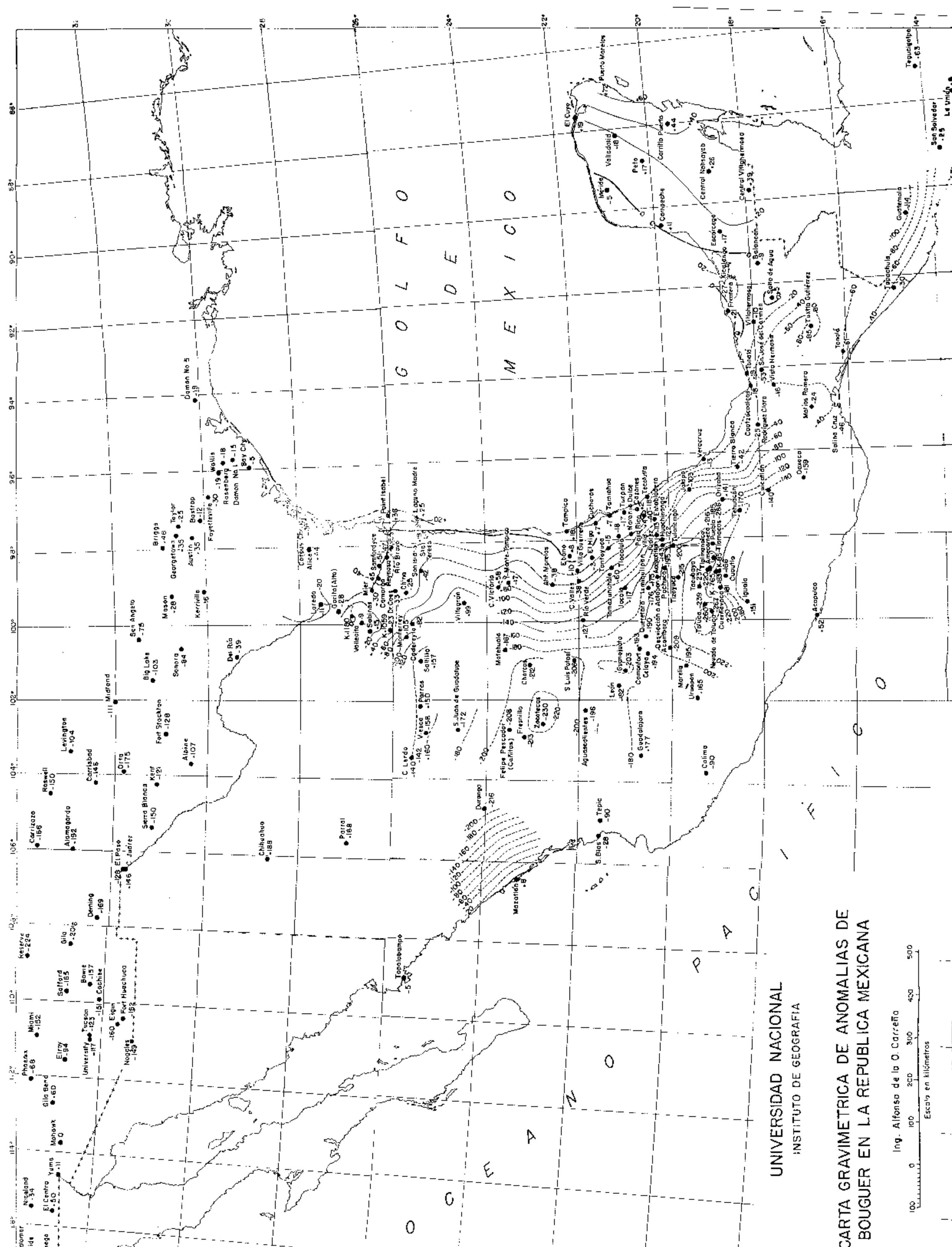
Haremos una breve correlación de las unidades tectónicas de acuerdo con la Carta Tectónica (lámina 3) de Alvarez.

MACIZOS

Continente Occidental.—Solamente puede hacerse la correlación en la porción austral de este macizo. En toda esta porción coincide el Continente Occidental con las anomalías negativas más altas. Es muy probable que estos valores sean debidos en parte a los materiales volcánicos tufáceos, pero posiblemente también se deban a la influencia de la altitud en la corrección de Bouguer.

Plataforma de Tamaulipas.—Esta plataforma corresponde a valores negativos bajos e intermedios y en una pequeña región, a anomalías positivas. Es interesante ver que especialmente en la zona costera, de baja altitud, donde la corrección de Bouguer tiene menos influencia, se acusan los altos estructurales del Embalse de Tampico y de Poza Rica.

Plataforma de Yucatán.—Dado el poco relieve de esta plataforma, puede considerarse muy significativo que corresponda a un alto gravimétrico de gran extensión. Esto puede deberse a un alto de rocas sedimentarias más densas que las calizas cenozoicas de la superficie, aunque también pudiera tener influencia la relativa cercanía de las rocas básicas que hemos supuesto al discutir la Carta de anomalías totales.



GEOSINCLINAL MEXICANO Y ANTEFOSAS

Llama la atención, desde luego, que las isanómalias son toscamente paralelas a esta gran unidad, sobre todo en su porción central orientada de noroeste a sureste. A lo largo de toda su longitud el geosinclinal coincide con valores negativos intermedios. Las anomalías no son sino el reflejo de las grandes estructuras que forman esta unidad.

CUENCIAS

Cuenca de Burgos.—La mayor parte coincide con anomalías negativas de valores bajos o intermedios, y solamente hacia el extremo oriental se presentan anomalías positivas. En esta cuenca, que abarca una región de altitudes bajas, se refleja la Cuenca de Camargo-Reynosa como posiblemente de profundidad considerable. Hacia el oriente se acusa un alto que puede deberse, como en el caso de Yucatán, a estructuras de rocas sedimentarias más densas que las que afloran en esa región, o quizás a la influencia de las rocas profundas básicas.

Cuenca Salina y Cuencas de Veracruz y de Tabasco-Campeche.—Esta gran unidad corresponde en general a terrenos de baja altitud. En conjunto no se observan valores negativos muy altos, sino más bien bajos. Son muy notables los altos en la región de Frontera y Salto de Agua, así como en la parte suroeste de Yucatán. Creemos también, en este caso, que estos altos gravimétricos corresponden a estructuras de rocas más densas que las cenozoicas que afloran en la superficie.

Cuenca del Balsas.—Esta cuenca es bastante compleja, y solamente podemos correlacionar su extremo oriental con las anomalías, extremo que abarca desde puntos tan elevados como los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, hasta lugares de altitud intermedia como Iguala y Tehuacán. En esta porción la cuenca a la que estamos refiriéndonos corresponde a anomalías altas, hasta un valor máximo de todos los observados, de — 267 miligales en el Nevado de Toluca y de — 266 en Tlaxcalas. Es seguro que estos grandes valores negativos se deben a la influencia de la altitud en la corrección de Bouguer y tal vez en parte, a la influencia de la relativa baja densidad de materiales volcánicos piroclásticos.

Sería atrevido, tanto en el caso de las anomalías de Bowie como de las de Bouguer, hacer deducciones más específicas, en vista de la escasez de datos que impide un trazo más seguro de las curvas de igual anomalia.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, Manuel, Jr. (1948).—Tectónica de la República Mexicana: 8^a Asamblea de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, inédito.
- De la O Carreño, Alfonso (1944).—El potencial del campo gravífico terrestre, significado y medida de sus funciones derivadas: 2^a Reunión Panamericana de Consulta sobre Geografía y Cartografía, vol. especial, pp. 116-151.
- De la O. Carreño, Alfonso (1946).—Estado actual de la investigación gravimétrica en la República Mexicana: 4^a Asamblea del Instituto Panamericano de Geografía e Historia y 3^a Reunión Panamericana de Consulta sobre Geografía. "Ciencia", Vol. VII, núms. 7-8, 1946.
- Fowler, F. E. (1934).—Smithsonian physical tables: Smithsonian Misc. Coll., vol. 88, p. 75.
- Hess, Hammond (1938).—Gravity anomalies and island arc structure, with particular reference to the West Indies: Am. Phil. Soc. Proc., vol. 79, núm. 1, pp. 71-96, 2 mapas.
- Medina, Manuel (1944).—La gravimetría en México: 2^a Reunión Panamericana de Consulta sobre Geografía y Cartografía, vol. especial, pp. 1-19a, 1 mapa.
- Toscano, Ricardo (1944).—Cálculo de las correcciones por topografía e isostasia: 2^a Reunión Panamericana de Consulta sobre Geografía y Cartografía, vol. especial, pp. 116-151.
- U. S. Coast and Geodetic Survey (1940).—Principal facts for gravity stations in the United States, Parts 1-6. Se incluyen seis folletos que dan el nombre del observador y describen el lugar de cada estación.