

# **LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE CHILE**

**Por**

**M. Dragicovic, E. Kausel, C. Lomnitz, H. Meinardus y L. Silva**

## C O N T E N I D O

|   |     |
|---|-----|
| ABSTRACT . . . . .  | 221 |
| RESUMEN . . . . .   | 221 |
| INTRODUCCION . . . . .  | 222 |
| DATOS GENERALES . . . . .   | 222 |
| Estación Base . . . . .   | 222 |
| Medidas de la Aceleración de Gravedad . . . . .                           | 223 |
| Elevaciones . . . . .   | 223 |
| Ubicación . . . . .   | 224 |
| REDUCCIONES Y CORRECCIONES . . . . .                                      | 224 |
| Corrección por Elevación o Aire Libre . . . . .                           | 224 |
| Corrección de Bouguer . . . . .   | 224 |
| Corrección Topográfica . . . . .  | 225 |
| DISCUSION DE LAS MEDIDAS . . . . .  | 225 |
| Estimación del error máximo cometido en las medidas . . . . .             | 226 |
| CONCLUSIONES . . . . .  | 226 |
| Plano Nº 1: Medida de la aceleración de gravedad en Chile . . . . .       | 226 |
| Plano Nº 2: Mapa de las Anomalías de Bouguer en la Zona Central . . . . . | 227 |
| Perfil Nº 1: Arica-Visviri . . . . .                                      | 227 |
| Perfil Nº 2: Antofagasta-Ollahue . . . . .                                | 227 |
| Perfil Nº 3: Valparaíso-Caracoles . . . . .                               | 227 |
| Perfil Nº 4: Constitución-Laguna del Maule . . . . .                      | 227 |
| Perfil Nº 5: Puerto Saavedra-Curarrehue . . . . .                         | 228 |
| RESULTADOS . . . . .  | 228 |
| REFERENCIAS . . . . .   | 228 |
| ANEXO.  |     |

Figuras, Planos, Perfiles, Tablas.

# LEVANTAMIENTO GRAVIMETRICO DE CHILE\*

Por

M. Dragicevic, E. Kausel, C. Lomnitz, H. Meinardus y L. Silva\*\*

## ABSTRACT

The present survey was carried out by the Instituto de Geofísica y Sismología, Universidad de Chile (Santiago), using gravity values obtained from the following sources: Instituto Geográfico Militar, Inter American Geodetic Survey, and our own surveys. A total of 1450 stations were measured, most of them in Central Chile. A longitudinal gravity profile was obtained between latitudes 18° to 41° South, which includes most of Continental Chile. The central network covers the entire width of the country between latitudes 32° to 37° South. A further transverse profile was completed about latitude 39° South, up to the Argentine border.

All readings were taken with Worden gravity meters; the fundamental grid was laid out along lines of precise levelling. Many secondary stations were controlled by altimeter readings. All gravity values are reduced to the pendulum base located in the Instituto Geográfico Militar, Santiago. Data reduction was accomplished by means of the International Ellipsoid Formula. Free-air anomalies were computed using a vertical gradient of 0,3086 mgal/meter. All Bouguer anomalies were calculated by assuming a density of 2,67 g/cm<sup>3</sup> throughout. No terrain or isostatic corrections were applied.

A table of gravity readings and anomalies is given for selected localities in the entire territory. Two maps of Bouguer anomalies and five gravity profiles are furnished. The Bouguer map of Central Chile shows a steep gravity gradient towards the Andes, as expected from isostasy. The preferential trend of the gravity lines is North-South, but several regions show anomalous features. The transverse profiles show similar trends, from positive values of the Bouguer anomaly along the coast, to large negative values under the mountains. The absolute value of the anomaly decreases from North to South, following the trend of elevation of the Andes.

## RESUMEN

Este trabajo ha sido realizado por el Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile, con medidas de gravedad procedentes de diferentes fuentes; en especial del Instituto Geográfico Militar, del Interamerican Geodetic Survey y de levantamientos propios. Se utilizaron aproximadamente 1450 medidas pertenecientes en su mayoría a Chile Central. En el Norte del país, el trabajo abarcó un perfil gravimétrico longitudinal paralelo a la costa, desde la latitud 18° que se prolonga hasta la latitud 41° S; y dos perfiles transversales desde la Costa del Pacífico hasta la Cordillera de los Andes en las latitudes 18° y 23° S. En la Zona Central se extendió una red de estaciones gravimétricas que cubre todo el ancho del país entre las latitudes 32° y 37° S. En la latitud 39° S se levantó otro perfil transversal desde el Océano hasta el Límite Internacional. Las medidas se realizaron a lo largo de caminos y ferrocarriles mediante diferentes gravímetros Worden transportados por vehículos motorizados. El control de las cotas se basó en lo posible en líneas de nivelación de precisión; sólo a falta de éstas se recurrió a la nivelación barométrica. Todos los valores de la aceleración de gravedad están referidos a la base pendular de Santiago medida en 1949. Para la reducción de los datos se siguió la práctica común usando el Elipsoide Internacional para la obtención de los valores de gravedad normal. La

\*Recibido para su publicación en marzo de 1961.

\*\*Miembros del Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile.

anomalía de Aire Libre se computó de acuerdo con la gradiente vertical de gravedad de 0,3086 mgal/m. Se calculó la anomalía de Bouguer para todas las estaciones con densidad 2,67 g/cm<sup>3</sup>. No se efectuó corrección topográfica ni isostática.

Se presenta una tabla con valores de gravedad observada y teórica y las anomalías de Aire Libre y de Bouguer en diferentes localidades esparcidas a lo largo del país. Se discute en forma general el error posible en las reducciones gravimétricas, cuya fuente principal es la deficiencia de la nivelación barométrica, y se demuestra que el error de deriva del instrumento es despreciable frente a éste.

Los resultados de este trabajo se presentan en dos mapas con isoanómalas de Bouguer y cinco perfiles con las anomalías de Aire Libre y de Bouguer. El mapa de las isoanómalas de Bouguer a intervalos de 5 mgal en la Zona Central de Chile muestra una disminución general de la aceleración de gravedad desde la Costa a la Cordillera de los Andes, de acuerdo con las teorías de la isostasia. Las isoanómalas muestran en general preferencia por la dirección N-S; pero este aspecto es interrumpido en varias zonas por altos o bajos gravimétricos que escapan a esta tendencia. Los cinco perfiles gravimétricos indican en forma más clara el fenómeno de la isostasia. La anomalía de Bouguer presenta casi siempre un valor positivo en la orilla del Pacífico y decrece en forma bastante regular para tomar un valor negativo en la Cordillera de los Andes. Es notable observar que este valor negativo es mucho más grande en la región septentrional que en la austral, lo que está en relación directa con la altura de la Cordillera Andina.

## INTRODUCCION

En el año 1959, el Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile dio comienzo a la recopilación de medidas de la aceleración de gravedad ejecutadas en Chile por diversas instituciones, principalmente el Instituto Geográfico Militar, el Interamerican Geodetic Survey y algunas expediciones científicas norteamericanas. Con la adquisición de un gravímetro Worden, el Instituto de Geofísica y Sismología empezó con las mediciones en áreas no levantadas, labor que continuará, y en un futuro cercano se espera obtener y publicar un plano gravimétrico de todas las áreas accesibles del territorio nacional.

El objeto de este trabajo consiste en obtener toda la información posible sobre la estructura de la corteza y la distribución de masas en ella; estudiar las anomalías isostáticas y aprovechar las medidas en trabajos de geodesia; cálculo del "n" (ondulaciones del geoide); utilizar los datos como guía de primera aproximación o como "Regional" en levantamientos gravimétricos de detalle, para la prospección y trabajos aplicados a la Ingeniería Civil, y, finalmente, correlacionar las anomalías gravimétricas con los epicentros de movimientos sísmicos, aplicar los resultados en investigaciones de sismología y tomar medidas precisas de la aceleración de gravedad en zonas sísmicas para observar sus variaciones en el transcurso del tiempo.

Este estudio no hubiera podido realizarse sin la cooperación de las organizaciones que facilitaron el uso de sus datos: Instituto Geográfico Militar de Chile y el Interamerican Geodetic Survey. Asimismo, se agradece el préstamo por parte del Carnegie Institution of Washington, Department of Terrestrial Magnetism, de un gravímetro Worden (Nº 112) y de tres altímetros de precisión.

## DATOS GENERALES

### **Estación Base.**

Todas las medidas de la aceleración de gravedad del presente trabajo están referidas a la base pendular de Santiago, ubicada en el Instituto Geográfico Militar. Las coordenadas geográficas de esta estación son:

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Latitud . . . . .   | 33° 27,1'    |
| Longitud . . . . .  | 70° 39,8'    |
| Elevación . . . . . | 538 m s.n.m. |

El valor observado de la aceleración de gravedad es 979.429,8 mgal. La medida fue realizada por el Comandante Shelton del U.S. Coast and Geodetic Survey en el año 1949.

**Medidas de la Aceleración de Gravedad.**

Se utilizaron las medidas de 1.450 estaciones, que se reparten del siguiente modo:

| <i>Instrumento</i> | <i>Organización</i>                                    | <i>Zona</i>      | <i>Nº Est.</i> |
|--------------------|--|------------------|----------------|
| Worden Nº 32       | Interamerican Geodetic Survey, 1954/56                 | Norte (18°-33°)  | 300            |
| Askania            | Instituto Geográfico Militar, 1955/56                  | Centro (32°-36°) | 500            |
| Worden Nº 112      | Instituto de Geofís. y Sismol., 1958 (Univ. de Chile)  | Centro           | } 300          |
| Worden Nº 272      | Instituto de Geofís. y Sismol., 1960. (Univ. de Chile) | y                |                |
|                    |  | Sur              | 350            |
|                    |  |                  | 1.450          |

Para la ubicación de las distintas líneas, ver Fig. 1.

Las mediciones se efectuaron en lo posible mediante circuitos cerrados de poca duración (tres a cuatro horas). La deriva del instrumento se corrigió linealmente con el tiempo. Esta deriva alcanzó como máximo 0,2 mgal/hora. Generalmente fue bastante menor.

**Elevaciones.**

En el control de las cotas de las estaciones se utilizó en lo posible la nivelación geométrica; sólo en las zonas donde no existían estas líneas de precisión se recurrió a la nivelación barométrica.

Las estaciones controladas por nivelación geométrica corresponden a la Zona Norte y gran parte del área comprendida entre Valparaíso (latitud 33°) y Alico nes (latitud 34°30'). Las medidas gravimétricas se ejecutaron sobre los pilares de nivelación de precisión del Instituto Geográfico Militar. Prácticamente todas las elevaciones de las estaciones ubicadas en la provincia de Curicó, Talca, Linares, Maule, Chillán, Concepción, zona cordillerana entre Aconcagua y Talca, y el perfil Puerto Saavedra-Curarrehue fueron determinadas con altímetro. Este se controló cada dos a cuatro horas en puntos de cota conocida, obtenida por nivelación geométrica, principalmente estaciones de ferrocarril, plazas de pueblos, etc.

### Ubicación.

Las estaciones gravimétricas controladas por nivelación geométrica se localizaron mediante las coordenadas de los pilares de nivelación del Instituto Geográfico Militar. Estos pilares del levantamiento de primer orden se encuentran a lo largo de carreteras y mantienen una distancia de uno a dos kilómetros entre sí.

Las distancias entre las estaciones niveladas por altímetro se midieron con el cuentakilómetro del vehículo portador del instrumento y se controlaron en la carta preliminar a escala 1:250.000 mediante cruces de caminos, puentes, poblados, etc.

### REDUCCIONES Y CORRECCIONES

Para obtener las anomalías gravimétricas a partir de los datos recopilados, se compara el valor de la gravedad observada en cada estación con el valor teórico que le corresponde. El valor de la gravedad normal de un punto se basó en la fórmula del Elipsoide Internacional:

$$g_0 = 978.0490 ( 1 + 0.005288 \text{ sen}^2 \varnothing - 0.0000059 \text{ sen}^2 2\varnothing ) \text{ gal}$$

en que  $g_0$  es el valor teórico de la aceleración de gravedad al nivel del mar y  $\varnothing$  es la latitud del punto. Es necesario aplicar varias correcciones a este valor teórico referido al nivel del mar para obtener el valor teórico que más se aproxime al verdadero valor de la gravedad de una estación dada. En este trabajo se aplicaron la corrección por aire libre y la corrección de Bouguer.

#### Corrección por Elevación o Aire Libre.

Considera la elevación de la estación sobre el nivel del mar, sin tomar en cuenta el paquete de rocas sobre el cual se encuentra ésta. Si se admite que el geoide tiene la forma regular de un elipsoide de revolución y que no hay masas que sobresalen de esta superficie, entonces el valor  $g_H$  de la aceleración de gravedad a una altura  $H$  sobre esta superficie se relaciona con  $g_0$  según la ecuación:

$$g_H = g_0 - (0.30855 + 0.00022 \cos 2\varnothing) H + 0.072 \left( \frac{H}{1000} \right)^2 \text{ mgal}$$

Esta corrección por aire libre se utiliza para calcular las llamadas anomalías de aire libre.

En la mayoría de los casos para estaciones a poca altura la fórmula aproximada:

$$g_H = g_0 - 0.3086 H \text{ mgal}$$

es suficientemente precisa. A las estaciones de gran elevación se aplicó la corrección por el término de segundo orden, que entonces pasa a tener influencia.

#### Corrección de Bouguer.

Además de la atracción de la masa terrestre debajo de la superficie de geoide que puede suponerse concentrada en su centro, porque la forma de éste se apro-

xima con gran exactitud a una esfera, es necesario considerar el efecto de la masa entre el geóide y la estación. Para el cálculo del valor de esta atracción se supone aquella masa en forma de plancha plana de espesor y densidad uniformes y de dimensiones horizontales infinitas. El efecto gravitacional en un punto sobre esta plancha vale  $0,04185 dH$  mgal/m, en que  $d$  es la densidad de la masa y  $H$  el espesor de ella. Como densidad media superficial de la corteza se tomó el valor universalmente aceptado de  $2,67$  g/cm<sup>3</sup>, y  $H$  es la cota de la estación, medida en metros sobre el nivel del mar.

Pero esta plancha no puede considerarse plana para valores crecientes de su espesor  $H$  y, por lo tanto, se debió aplicar una corrección por curvatura, corrección que sólo es función de  $H$ .

### Corrección Topográfica.

La corrección de Bouguer no considera las irregularidades topográficas de las masas terrestres vecinas, como son valles y cerros. La corrección topográfica computa este efecto, que puede tomar un valor apreciable. Es generalmente positiva y se calcula dividiendo el área alrededor de la estación gravimétrica en anillos y sectores. Mediante un mapa topográfico se estima la altura media de cada sector y se computa su atracción usando fórmulas tabuladas como la tabla de Hammer (para prospección) o las tablas de Hayford-Bowie, que además de la topografía consideran la compensación isostática. Aunque la corrección topográfica decrece al alejarse de la estación no puede despreciarse y teóricamente debería extenderse hasta la zona 0 de Hayford (166,7 km).

### DISCUSION DE LAS MEDIDAS

La obtención de datos significa la mayor dificultad en la ejecución del presente trabajo. Por un lado, se hace sentir la falta de líneas de nivelación de precisión, de manera que las cotas de muchas estaciones sólo se pudieron obtener por nivelación barométrica, lo que acarrea un error considerable en las elevaciones. Por otro lado, la falta de caminos, principalmente en la zona de la costa y en la alta Cordillera, implica "áreas blancas" en el mapa, donde no se pudo seguir la forma de las isonómalas de Bouguer. Otro factor desfavorable que estorba una ejecución más satisfactoria del plano gravimétrico es la falta de buenos mapas para muchas zonas. Esto trae como consecuencia un error en la ubicación de las estaciones y, por ende, en el valor de la aceleración de gravedad de éstas. Además, es imposible efectuar la corrección topográfica de las medidas sin planos adecuados; se necesitaría, por lo menos, un mapa de 1 : 100.000 con curvas de nivel a 100 m de distancia. Ciertas zonas de topografía muy accidentadas exigen inclusive un mapa 1 : 25.000 con curvas a 20 m.

En la Costa y en el Valle Central, regiones de relieve relativamente suaves, puede despreciarse el error introducido, por no considerar la corrección topográfica, porque es pequeña en comparación con las magnitudes de las anomalías que se presentan. En cambio, en la zona cordillerana puede tener un valor apreciable. Pero en estos distritos se dibujaron las isonómalas de Bouguer a un intervalo de 25 mgal, mientras que la corrección topográfica puede estimarse como término medio en 5 mgal; por lo tanto, su influencia también es pequeña.

**Estimación del error máximo cometido en las medidas.**

Estación gravimétrica controlada por nivelación geométrica:

|                              |        |   |   |            |
|------------------------------|--------|---|---|------------|
| Error en la elevación        |        |   |   | 0.0 mgal   |
| Error en la ubicación        | 250 m. | = | ± | 0.2 mgal   |
| Error en la lectura y deriva |        |   |   | ± 0.2 mgal |
|                              |        |   |   | <hr/>      |
| Error máximo                 |        |   |   | ± 0.4 mgal |

Estación gravimétrica controlada por nivelación barométrica:

|                              |         |   |       |   |   |          |
|------------------------------|---------|---|-------|---|---|----------|
| Error en la elevación        | 25 pies | = | 7.5 m | = | ± | 1.5 mgal |
| Error en la ubicación        | 250 m   | = |       | = | ± | 0.2 mgal |
| Error en la lectura y deriva |         |   |       |   | ± | 0.2 mgal |
|                              |         |   |       |   |   | <hr/>    |
| Error máximo                 |         |   |       |   | ± | 1.9 mgal |

**CONCLUSIONES**

Los mapas y perfiles que acompañan este estudio presentan los resultados obtenidos con las medidas gravimétricas disponibles.

**PLANO Nº 1: Medidas de la aceleración de gravedad en Chile.**

Este plano, que abarca el territorio nacional desde el extremo norte hasta la altura de Puerto Montt, contiene:

a) La ubicación de cinco perfiles gravimétricos que van de la Costa a la Cordillera de los Andes. Estos perfiles son:

- Perfil Arica-Visviri.
- Perfil Antofagasta-Oyahue.
- Perfil Valparaíso-Caracoles
- Perfil Constitución-Laguna del Maule.
- Perfil Puerto Saavedra-Curarrehue.

b) La ubicación y las anomalías de un perfil gravimétrico a lo largo de la costa desde Arica a Puerto Montt. Este perfil presenta las anomalías entre puntos consecutivos y no entre sus proyecciones sobre una recta paralela a la costa. La magnitud de las grandes anomalías se debe precisamente a la posición de las estaciones. Cuando éstas se alejan de la orilla del mar las anomalías decrecen de un valor positivo a uno negativo, como se observa entre Antofagasta y Taltal. Al comparar las anomalías de la parte septentrional con las anomalías de la zona austral se descubre una disminución notable en el valor de éstas. Las anomalías entre Iquique y Tocopilla, o Taltal y Copiapó, por ejemplo, alcanzan fácilmente hasta -120 mgal, mientras que las anomalías de Temuco al Sur tienen apenas -20 mgal. Esto está en relación directa con la altura de la Cordillera de los Andes que presenta grandes elevaciones en el norte, las que disminuyen hacia el sur.

c) El plano presenta además las isonómalas de Bouguer a intervalos de 25 mgal de la zona comprendida entre los paralelos 32º y 39º S.

## PLANO Nº 2: Mapa de las Anomalías de Bouguer en la Zona Central.

Las isoanómalas de Bouguer se dibujaron a intervalos de 5 mgal en la Costa y en el Valle Central, y a intervalos de 25 mgal en la Cordillera de los Andes. Esto se debe a la menor densidad de estaciones gravimétricas y a la falta de corrección topográfica en esta zona. Resalta la gran regularidad con que las isoanómalas se extienden a lo largo del país, paralelas a los principales rasgos estructurales como lo son la Costa con su cordillera, el Valle Central y la Cordillera de los Andes. Se observa también una disminución general de la aceleración de gravedad de oeste a este. Mientras que en la Costa existen muchos lugares con anomalías de + 75 mgal, nos encontramos en la Alta Cordillera con anomalías de -275 mgal en la parte norte del plano y -175 mgal en la parte sur.

El plano indica además algunas anomalías grandes que se salen del aspecto general, como la que se encuentra en la costa al S. de Concepción; en los alrededores de Valparaíso, y otras anomalías en la Cordillera de la Costa y en el Valle Central. Las posiciones de las isoanómalas son más exactas en los lugares donde están controladas por estaciones gravimétricas; en las partes intermedias se produce naturalmente cierta falta de precisión y por eso las líneas parecen mostrar mayor regularidad.

### PERFIL Nº 1: Arica-Visviri.

Este perfil empieza en Arica al nivel del mar para elevarse rápidamente a 4.000 m la altura del altiplano. A este gran contraste de elevación corresponde una anomalía de Bouguer de -60 mgal en la costa y -400 mgal en el otro extremo, o sea una diferencia de 340 mgal. Es de notar que la anomalía de Bouguer tiene un valor negativo en la costa, cosa que no sucede en ninguno de los otros perfiles y que se debe seguramente a la estructura peculiar del altiplano.

### PERFIL Nº 2: Antofagasta-Oyahue.

La anomalía de Bouguer es la imagen espejo del espesor de la corteza terrestre e indica un aumento del espesor hacia la alta cordillera. Esta anomalía baja de un valor de 30 mgal en la costa a -400 mgal en Oyahue. El contraste de 430 mgal se produce en una distancia mucho más larga que en el perfil anterior, debido a la dirección que lleva este perfil que corta a la costa en un ángulo agudo. La anomalía de aire libre muestra una gran tendencia a mantenerse constante de un extremo al otro, lo que da una idea de la compensación isostática de esta región.

### PERFIL Nº 3: Valparaíso-Caracoles.

### PERFIL Nº 4: Constitución-Laguna del Maule.

Se observa que la pendiente general de la anomalía de Bouguer es mucho más suave que en los casos anteriores. En el extremo E. del perfil se presenta una anomalía de sólo -180 mgal. En la figura 3 se compara el perfil geológico con el gravimétrico.

Hay una relación entre el zócalo de rocas precámbricas y la gravedad, como lo manifiesta el aumento de la anomalía de Bouguer en la costa. También se observa una anomalía gravimétrica encima de los sedimentos del Cuaternario que rellenan el Valle Central. En la última parte del perfil correspondiente a las

lavas del Cuaternario la anomalía de Bouguer tiende a mantenerse constante, y seguramente más al este, al pasar el límite comienza a crecer otra vez el valor de la gravedad.

#### PERFIL N° 5: Puerto Saavedra-Curarrehue.

La pendiente regional de la anomalía de Bouguer es aún más suave que en el caso anterior. También se presenta en la costa el aumento de la anomalía gravimétrica debido a las rocas precámbricas. Este aumento es de 20 mgal e indicaría una profundidad considerable para el zócalo fundamental. Las anomalías en la vecindad de Temuco podrían relacionarse con la existencia de rocas volcánicas del Cuaternario.

### RESULTADOS

Los resultados del levantamiento efectuado por el I. G. S. en 1958 se publicaron en 1959 bajo el título de Investigaciones Gravimétricas en la Región de Chillán, por Cinna Lomnitz, en el Boletín N° 4 del Instituto de Investigaciones Geológicas (ver Referencias).

La figura 2 muestra la red de líneas gravimétricas del trabajo ejecutado por el I. G. S. en 1960. Su longitud total es de 1.100 km, a lo largo de los cuales se hicieron 368 lecturas.

La tabla I indica la distribución de las estaciones en los diferentes circuitos, la deriva instrumental total, como también la deriva por hora en un circuito cerrado. Se da además el error máximo de cierre en las medidas de altura que había que compensar linealmente y la velocidad con que este error se producía (Ver tabla I).

La deriva del instrumento fue en término medio 0,05 mgal/hora, tanto para los circuitos controlados por cierre, instrumental, como para las líneas abiertas. El valor de la deriva para estos últimos casos se obtuvo por diferencia con el error de cierre total en Santiago, que fue de 5,73 mgal. En las cotas se observa un error muy considerable en algunas líneas, principalmente en la 7 y 9.

La tabla II presenta la aceleración de gravedad teórica y observada, la anomalía de aire libre y la de Bouguer en las principales ciudades del país.

### REFERENCIAS

- HEISKANEN, W. A., VENING, F. A. 1958. *The Earth and its Gravity Field*. Mc Graw Hill Book Company, Inc; New York.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS. 1960. *Mapa Geológico de Chile*. Escala 1 : 1.000.000, Santiago de Chile.
- LOMNITZ, C. 1959. *Investigaciones Gravimétricas en la Región de Chillán*. Instituto de Investigaciones Geológicas; Boletín N° 4, Santiago de Chile.
- NETTLETON, L. I. 1940. *Geophysical Prospection for Oil*. Mc Graw Hill Book Company, Inc; New York.
- SWICK, C. H. 1942. *Pendulum Gravity Measurements and Isostatic Reductions*. U. S. Coast and Geodetic Survey; Washington.
- TSUBOI, C., JITSUKAWA, A., TAJIMA, H. Y OKADA, A. 1953. *Gravity Survey Along the Lines of Precise Levels Throughout Japan by Means of a Worden Gravimeter*. Earthquake Research Institute, Tokyo University, Tokyo.

## **ANEXO**

**Figuras, Planos, Perfiles, Tablas**

UBICACION DE LAS LINEAS GRAVIMETRICAS

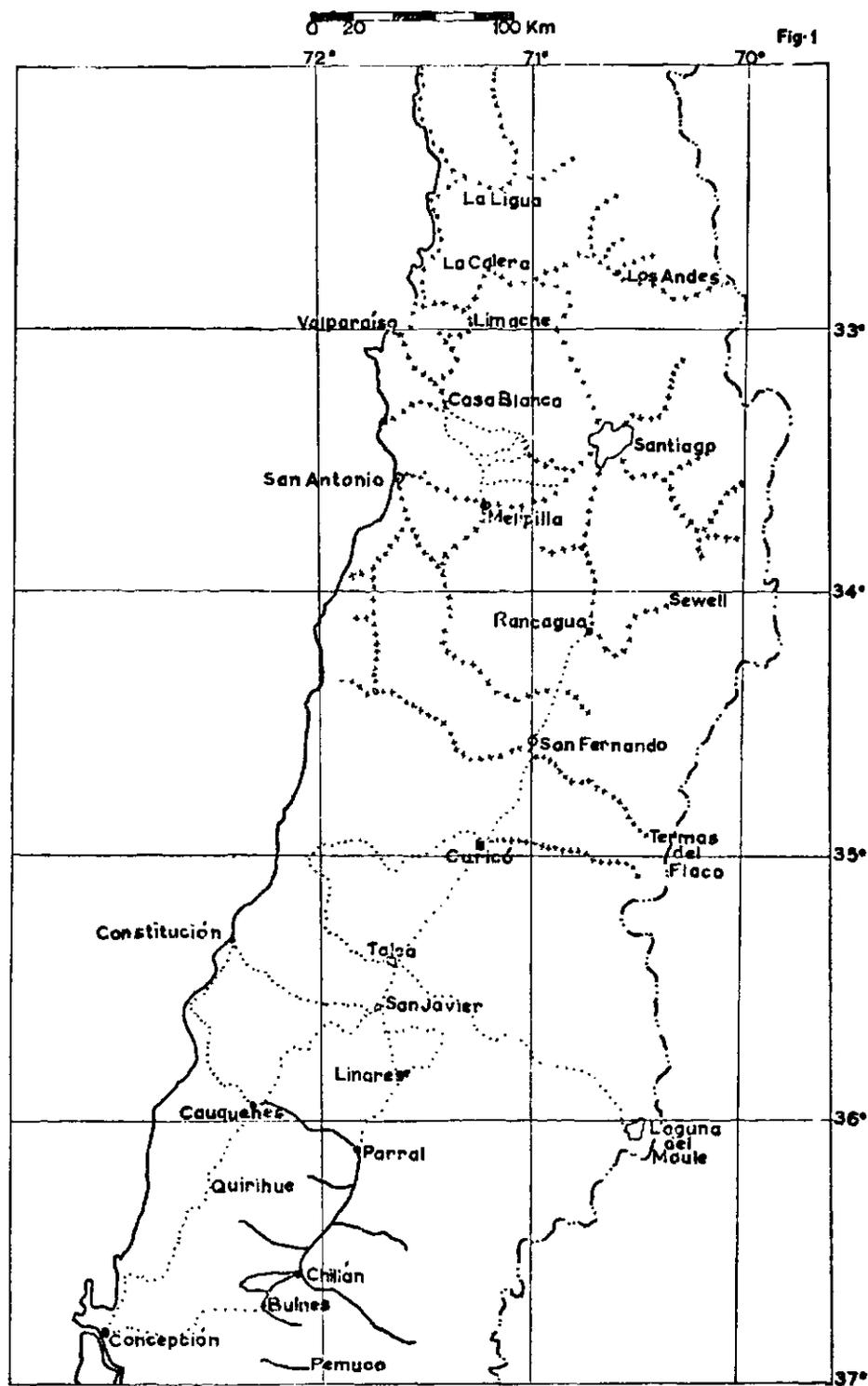


Fig-1

- ..... MEDIDAS DEL IGM
- MEDIDAS DEL IGS 1958
- · - · - · MEDIDAS DEL IGS 1960

UBICACION DE LAS LINEAS GRAVIMETRICAS

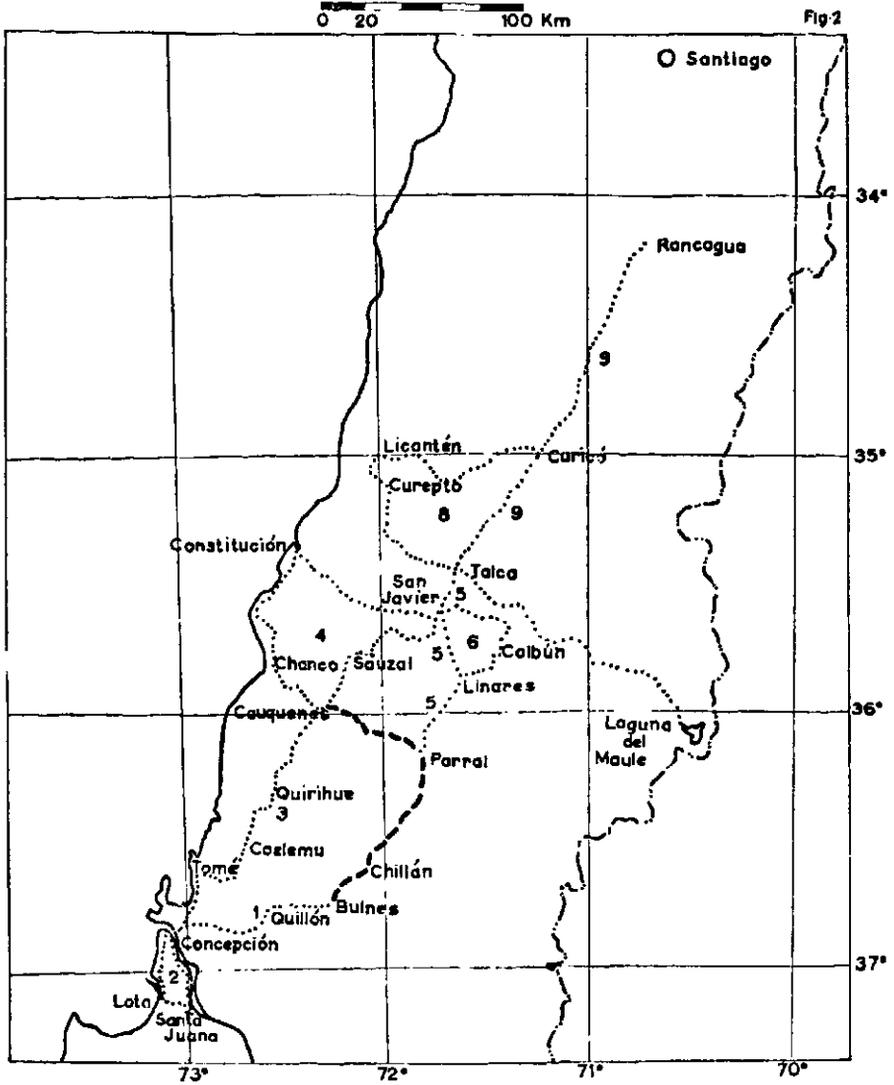
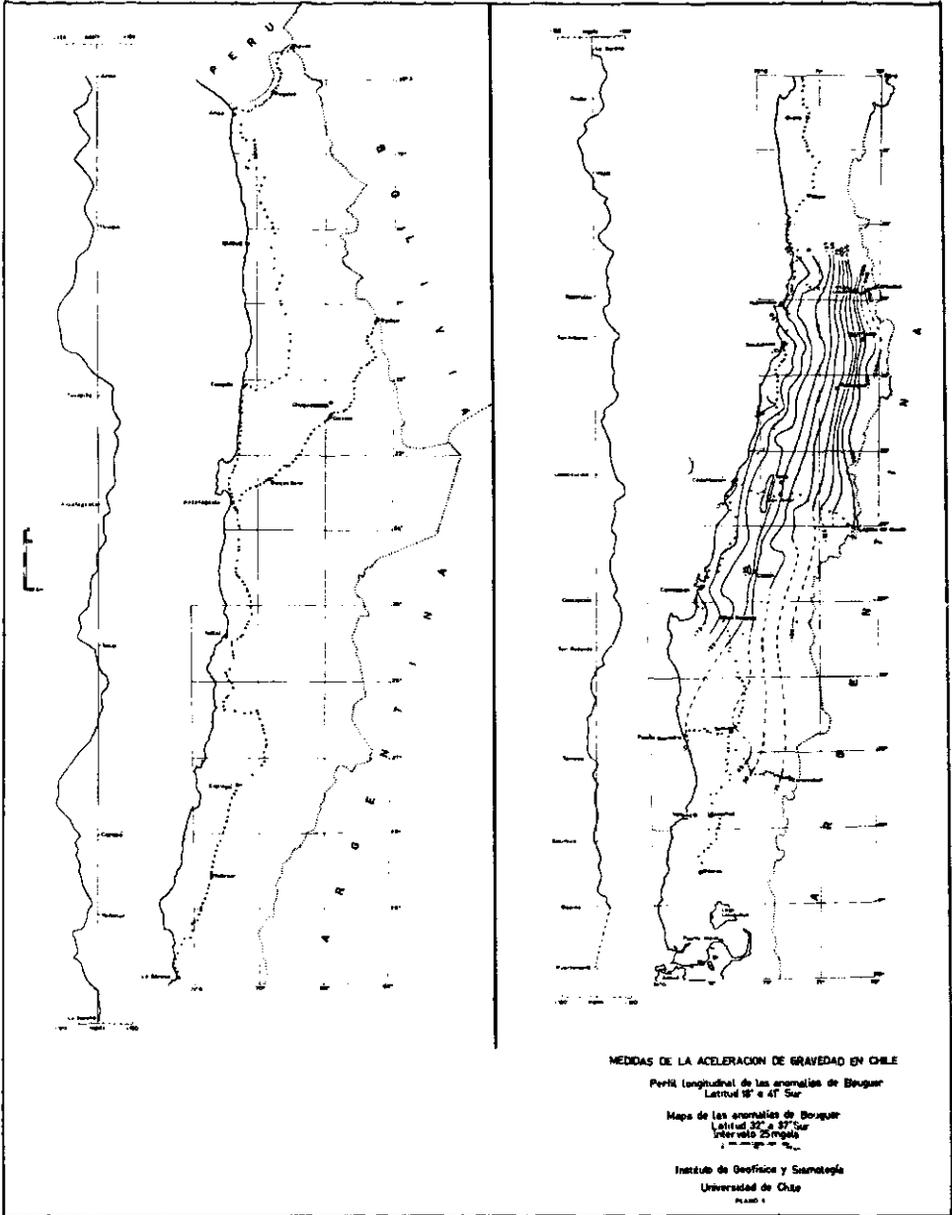


Fig.2

----- LINEAS GRAVIMETRICAS NUEVAS

----- LINEAS GRAVIMETRICAS ANTERIORES



**MEDIDAS DE LA ACELERACION DE GRAVEDAD EN CHILE**

Perfil longitudinal de las anomalías de Bouguer  
 Latitud 37° a 47° Sur

Mapa de las anomalías de Bouguer  
 Latitud 37° a 47° Sur  
 Intervalo 25 mgals

Instituto de Geofísica y Sismología  
 Universidad de Chile  
 PLANO 1

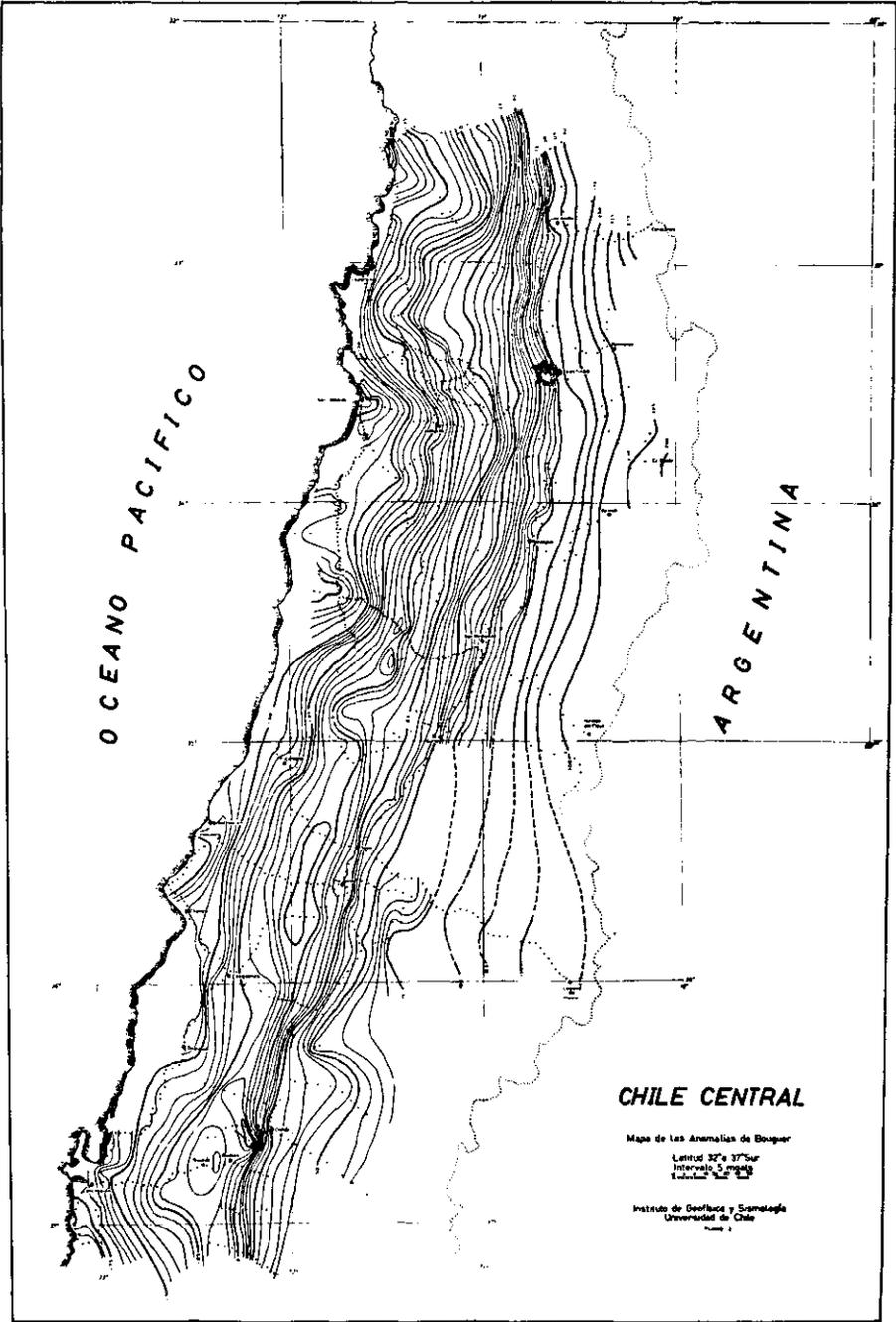
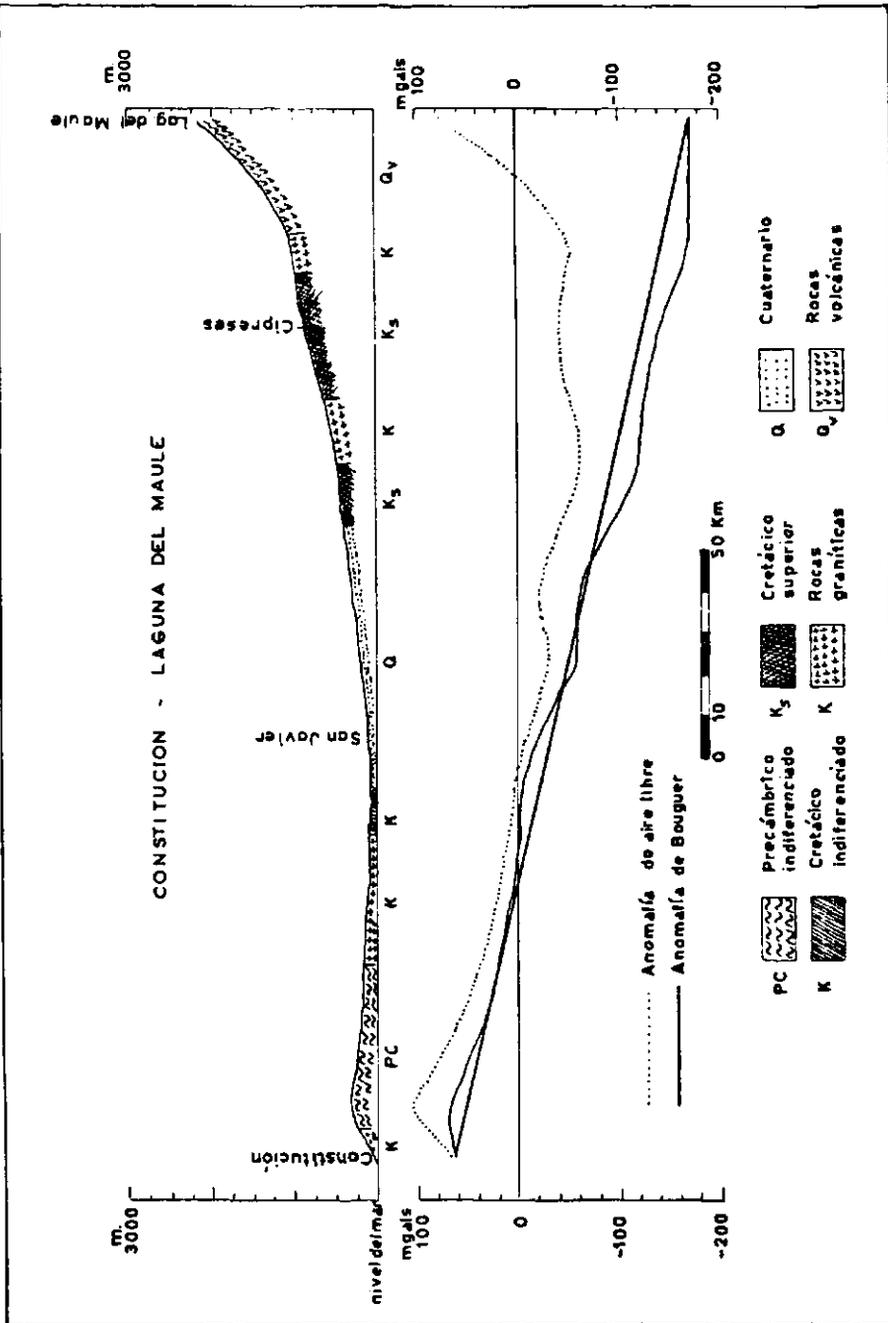
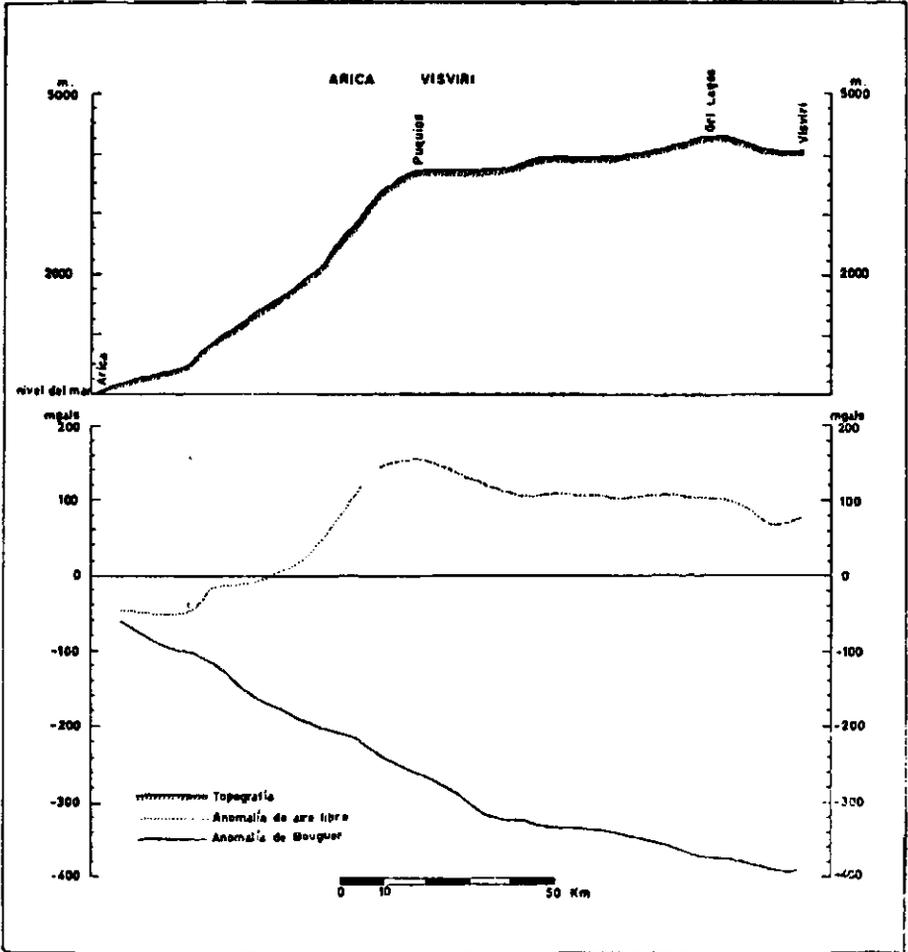
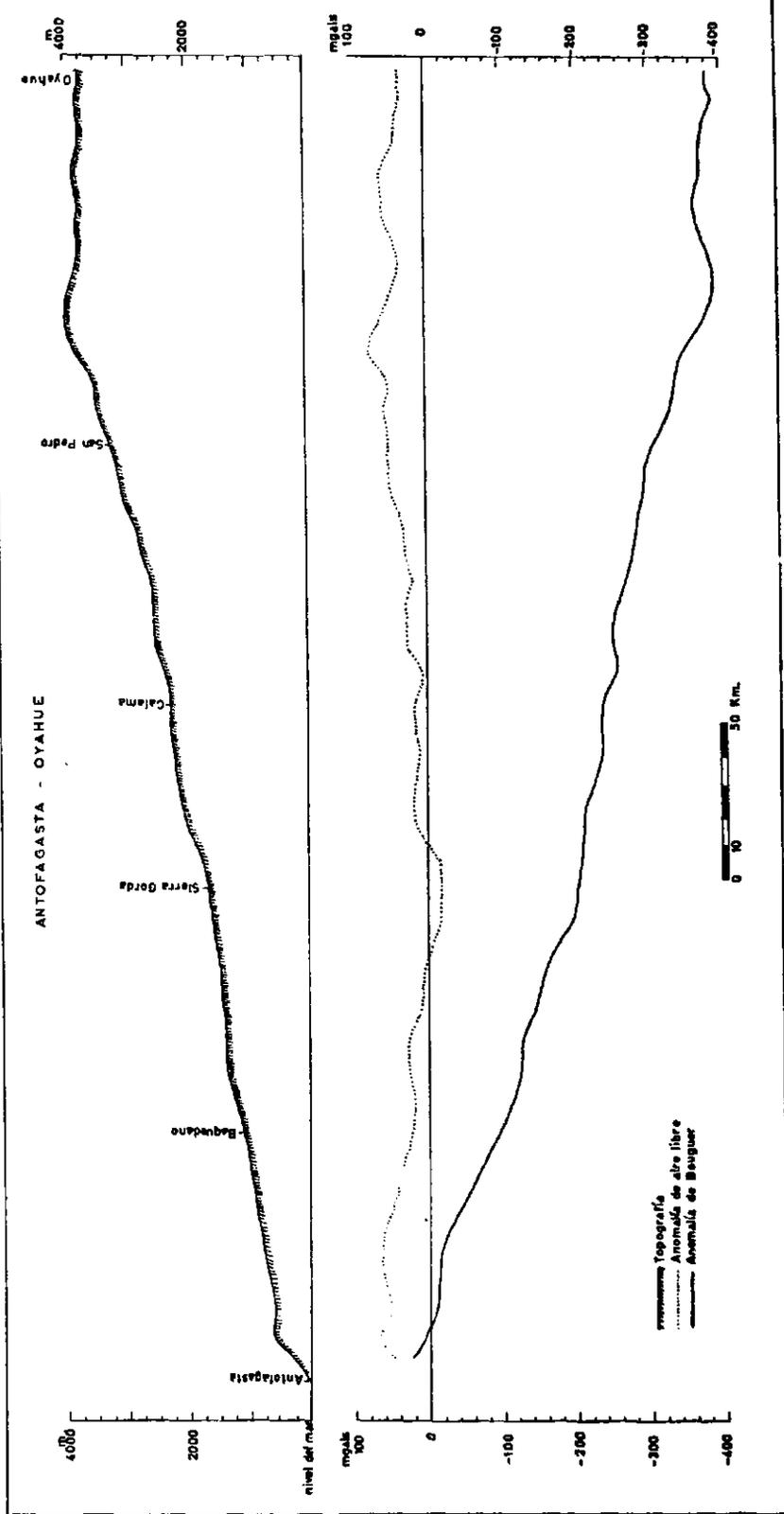


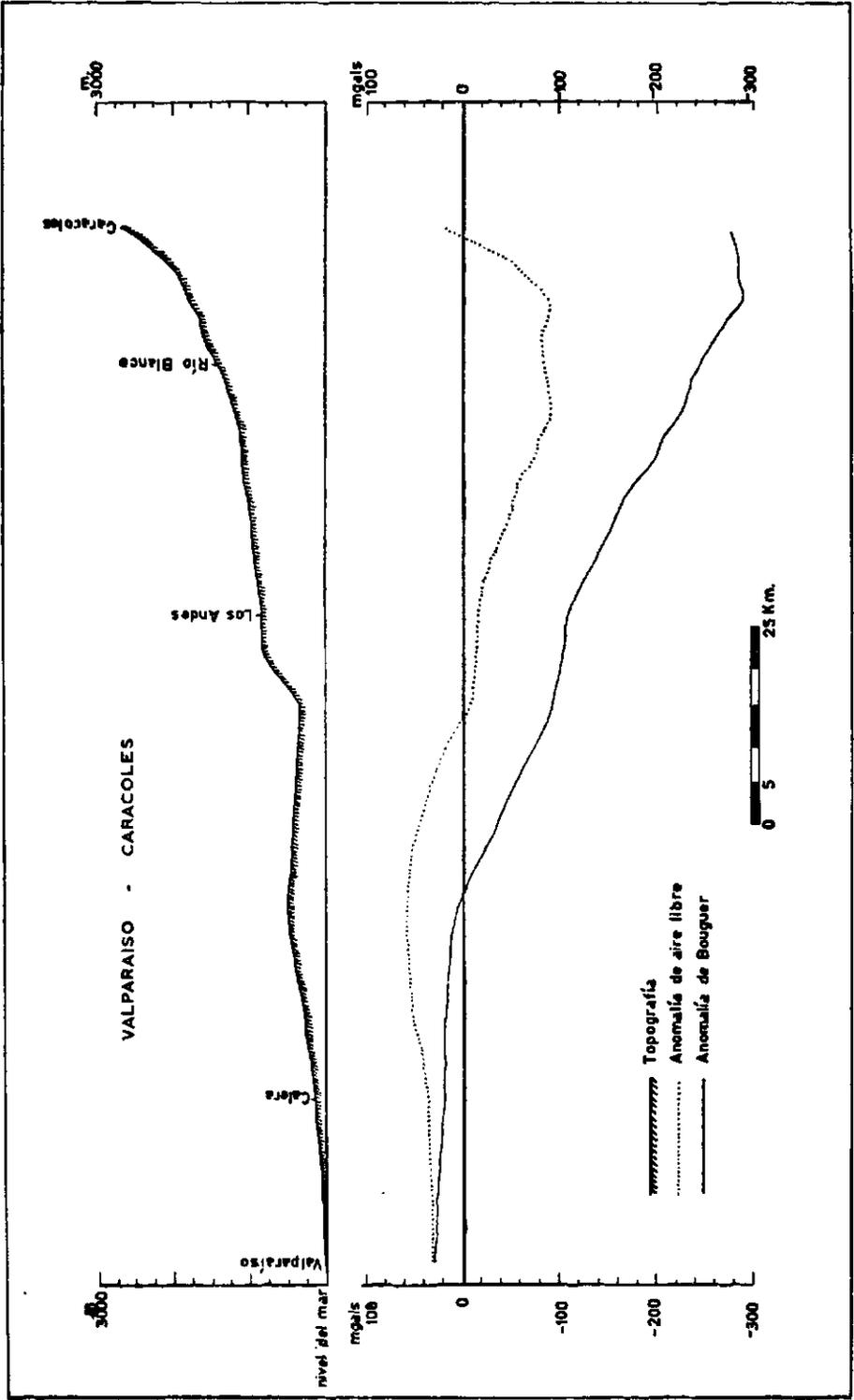
Fig. 3

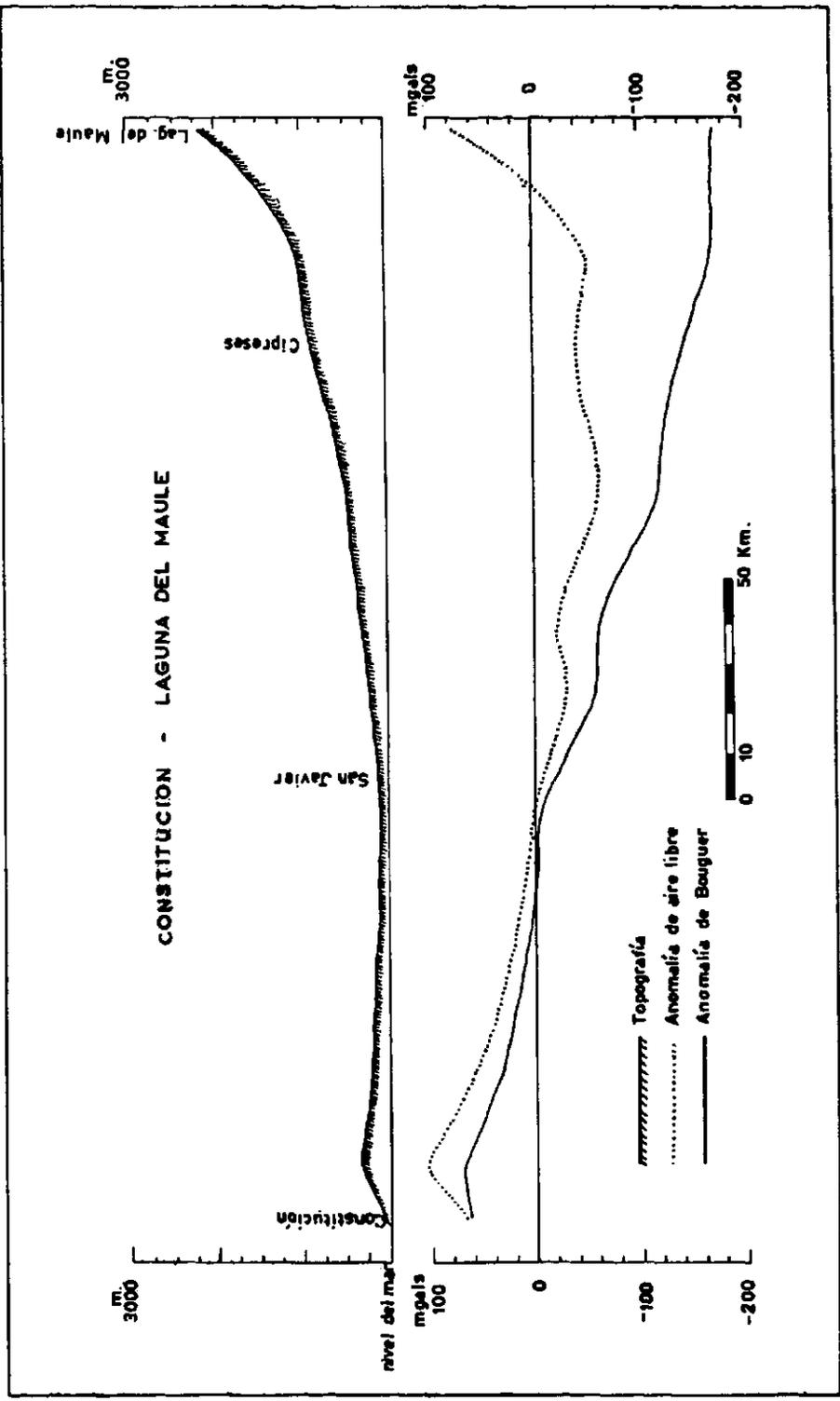


PERFIL . 1









PUERTO SAAVEDRA - CURARREHUE

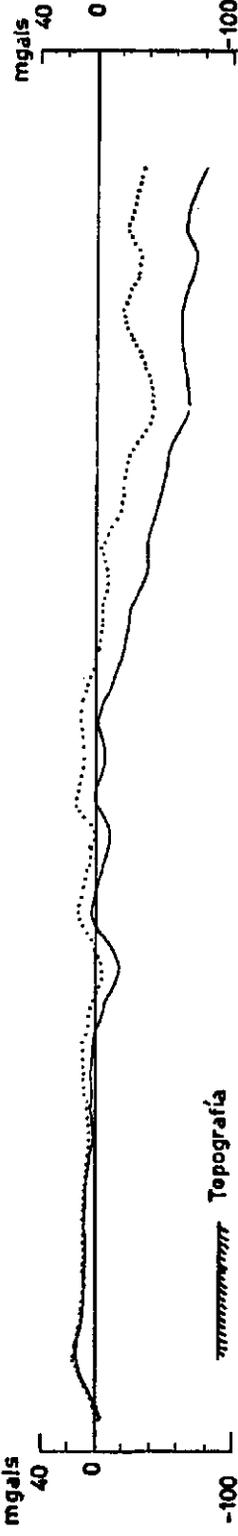
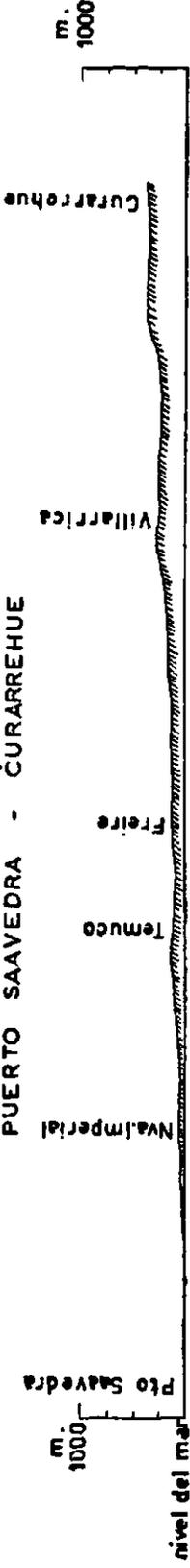


TABLA I

| Línea Gravimétrica  | Nº | Nº Est.    | Deriva total mgal    | Deriva por hora | Comp. máx. de alt. m. | Vel. m/h       |
|---|----|------------|----------------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| Bulnes<br>Quillón<br>Concepción                                   | 1  | 27         | no se cerró la línea |                 | 9                     | 3              |
| Concepción<br>Lota, Santa Juana<br>Concepción                     | 2  | 24         | 0,42                 | 0,07            | 7                     | 1              |
| Concepción<br>Tomé, Quirihue<br>Cauquenes                         | 3  | 45         | no se cerró la línea |                 | 4                     | 1              |
| Cauquenes<br>Constitución, San Javier<br>Cauquenes                | 4  | 86         | 0,83                 | 0,06            | 17                    | 6              |
| Parral<br>San Javier<br>Talca                                     | 5  | 27         | 0,37                 | 0,05            | 4                     | 5              |
| San Javier<br>Colbún, Linares<br>San Javier                       | 6  | 19         | 0,15                 | 0,04            | 8                     | 5              |
| Talca<br>Laguna del Maule<br>Talca                                | 7  | 43         | 0,42                 | 0,06            | 56                    | 12             |
| Talca<br>Curepto Licantén<br>Talca                                | 8  | 51         | 0,52                 | 0,04            | 48                    | 7              |
| Talca<br>Curicó<br>Rancagua                                       | 9  | 46         | no se cerró la línea |                 | 39                    | 13             |
| <b>TOTAL</b>  |    | <b>368</b> | <b>2,61</b>          |                 |                       |                |
| Deriva instrumental producida durante el trabajo del instrumento  |    |            |                      |                 |                       | 2,61 mg        |
| Deriva instrumental producida durante el descanso del instrumento |    |            |                      |                 |                       | 1,87 mg        |
| Deriva instrumental no controlada por cierre de líneas            |    |            |                      |                 |                       | 1,25 mg        |
| <b>Deriva total</b>   |    |            |                      |                 |                       | <b>5,73 mg</b> |

T A B L A I I

| Año            | Localidad         | Latitud  | Longitud | Elevación<br>m | Gravedad          |                 | Anomalías  |         |       |       |
|----------------|-------------------|----------|----------|----------------|-------------------|-----------------|------------|---------|-------|-------|
|                |                   |          |          |                | observada<br>mgal | teórica<br>mgal | Aire Libre | Bouguer |       |       |
| 1954           | Arica             | 18°28',5 | 70°20',1 | 3,89           | 978.530,0         | 978.566,4       | -          | 35,2    | -     | 39,5  |
|                | Puquitos          | 10',8    | 69°45',0 | 3.726,72       | 977.555,1         | 550,5           | +          | 154,7   | -     | 262,8 |
|                | General Lagos     | 17°39',0 | 38',0    | 4.252,29       | 311,3             | 522,6           | +          | 101,0   | -     | 374,6 |
|                | Visivi            | 35',3    | 29',7    | 4.065,48       | 333,4             | 519,4           | +          | 68,6    | -     | 386,3 |
|                | Chaca             | 18°49',2 | 70°08',7 | 346,98         | 978.472,8         | 585,1           | -          | 5,2     | -     | 44,4  |
|                | Cuya              | 19°48',9 | 10',2    | 91,34          | 567,0             | 603,3           | -          | 8,1     | -     | 18,4  |
|                | Negreiros         | 50',0    | 69°51',8 | 1.141,97       | 398,0             | 642,1           | +          | 108,3   | -     | 20,6  |
|                | Humberstone       | 20°13',9 | 47',7    | 1.034,35       | 450,7             | 665,1           | +          | 104,8   | -     | 12,0  |
|                | Oficina Victoria  | 44',8    | 40',0    | 956,12         | 433,9             | 693,5           | +          | 33,5    | -     | 74,7  |
|                | Quillagua         | 21°39',7 | 32',7    | 803,49         | 464,4             | 751,0           | -          | 38,6    | -     | 129,4 |
|                | Tocopilla         | 22°04',9 | 70°11',9 | 20,32          | 821,9             | 777,2           | +          | 50,4    | +     | 48,1  |
|                | Antofagasta       | 23°38',9 | 23',9    | 5,40           | 905,9             | 878,1           | +          | 29,5    | +     | 28,9  |
|                | Baquetano         | 19',2    | 69°48',1 | 1.067,72       | 522,0             | 856,5           | -          | 25,0    | -     | 95,7  |
|                | Sierra Gorda      | 22°51',0 | 18',0    | 1.647,36       | 300,3             | 826,0           | -          | 17,3    | -     | 203,0 |
|                | Calama            | 27',6    | 68°56',5 | 2.258,48       | 115,0             | 801,1           | +          | 10,9    | -     | 243,3 |
|                | San Pedro         | 21°56',8 | 33',5    | 3.233,67       | 977.821,5         | 768,7           | +          | 50,7    | -     | 312,1 |
|                | Ascotán           | 43',6    | 17',8    | 3.956,60       | 592,5             | 755,1           | +          | 58,4    | -     | 384,6 |
|                | Oyahue            | 13',8    | 16',8    | 3.697,56       | 620,5             | 724,6           | +          | 37,0    | -     | 377,3 |
|                | Varillas          | 24°00',8 | 70°16',4 | 819,61         | 978.754,6         | 902,4           | +          | 105,1   | +     | 12,5  |
|                | Ofic. Santa Luisa | 25°13',6 | 08',6    | 1.500,89       | 625,6             | 985,1           | +          | 103,7   | -     | 65,8  |
| Breas          | 29',3             | 23',0    | 709,25   | 842,0          | 979.003,4         | -               | 57,5       | -       | 22,6  |       |
| Pueblo Huidido | 26°35',5          | 69°03',0 | 788,94   | 845,4          | 067,3             | +               | 21,6       | -       | 67,6  |       |
| Inca de Oro    | 45',0             | 54',9    | 1.589,90 | 650,6          | 093,1             | +               | 48,1       | -       | 131,2 |       |
| Copiapó        | 27°22',4          | 70°20',3 | 382,99   | 999,6          | 138,6             | -               | 20,8       | -       | 64,2  |       |
| Caldera        | 06',4             | 50',2    | 36,52    | 979.172,5      | 119,1             | +               | 64,7       | +       | 60,6  |       |
| Vallenar       | 28°34',6          | 45',9    | 383,04   | 108,4          | 228,4             | -               | 7,8        | -       | 45,2  |       |
| La Serena      | 29°56',7          | 71°17',8 | 25,54    | 327,4          | 333,5             | -               | 1,8        | -       | 1,1   |       |
| Ovalle         | 30°36',1          | 12',8    | 213,91   | 377,2          | 384,9             | +               | 58,3       | +       | 34,1  |       |
| Punitaqui      | 49',8             | 16',3    | 213,52   | 378,9          | 403,0             | +               | 41,8       | +       | 17,6  |       |

CONTINUACION TABLA II

| Año  | Localidad              | Latitud  | Longitud | Elevación<br>m | Gravedad<br>observada<br>mgal | Gravedad<br>teórica<br>mgal | Anomalías  |         |
|------|------------------------|----------|----------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|---------|
|      |                        |          |          |                |                               |                             | Aire Libre | Bouguer |
| 1954 | Combarbalá             | 31°01',5 | 71°01',0 | 875,12         | 979,201,2                     | 979,430,5                   | + 40,8     | - 58,1  |
|      | Los Vilos              | 55',1    | 30',5    | 11,69          | 532,1                         | 490,2                       | + 45,5     | + 44,2  |
|      | Zapallar               | 32°33',3 | 28',2    | 329,8          | 592,4                         | 539,4                       | + 63,2     | + 59,5  |
|      | Hilapel                | 38',0    | 10',4    | 313,04         | 389,6                         | 467,2                       | + 19,0     | + 16,4  |
|      | Calera                 | 47',7    | 13',4    | 207,05         | 542,1                         | 561,6                       | + 44,4     | + 21,0  |
| 1956 | Concón                 | 56',1    | 33',7    | 9,63           | 617,5                         | 573,1                       | + 47,4     | + 46,4  |
|      | San Felipe             | 45',5    | 70°44',3 | 638,23         | 374,1                         | 558,6                       | - 12,5     | - 59,7  |
|      | Los Andes              | 50',0    | 36',8    | 822,78         | 294,1                         | 564,8                       | - 16,8     | - 109,8 |
|      | Río Blanco             | 54',1    | 17',4    | 1.407,8        | 040,6                         | 570,4                       | - 95,4     | - 254,2 |
|      | Caracoles              | 49',6    | 5',9     | 3.265,3        | 978,658,4                     | 564,2                       | + 83,0     | - 276,7 |
| 1955 | Valparaiso             | 33°02',0 | 71°36',9 | 8,6            | 979,627,5                     | 581,2                       | + 49,0     | + 48,0  |
| 1954 | Caablanca              | 19',0    | 24',5    | 258,98         | 569,5                         | 604,6                       | + 44,8     | + 15,4  |
| 1949 | Santiago IGM           | 27',1    | 27',8    | 538            | 429,8                         | 615,8                       | - 20,0     | - 80,1  |
| 1956 | La Obra                | 35',1    | 27',8    | 792            | 348,1                         | 626,7                       | - 34,2     | - 123,7 |
|      | El Volcán              | 49',6    | 03',1    | 1.880          | 028,3                         | 646,9                       | - 38,5     | - 250,4 |
| 1955 | Algarrobo              | 21',5    | 71°40',8 | 52             | 652,9                         | 608,0                       | + 60,9     | + 55,0  |
|      | San Antonio            | 34',5    | 37',9    | 8,6            | 704,2                         | 626,2                       | + 80,7     | + 81,7  |
|      | Melipilla              | 41',1    | 13',5    | 164            | 625,3                         | 635,2                       | + 40,7     | + 22,1  |
|      | Rapel                  | 57',0    | 46',3    | 19,2           | 709,4                         | 657,2                       | + 57,8     | + 55,7  |
|      | Rancagua               | 34°09',9 | 70°44',5 | 500,4          | 484,0                         | 675,2                       | - 36,9     | + 93,4  |
| 1956 | Sewell                 | 04',5    | 21',3    | 2.105,6        | 058,0                         | 667,7                       | + 40,1     | - 195,3 |
| 1960 | Tango                  | 24',9    | 53',4    | 297            | 551,7                         | 696,2                       | - 52,8     | - 86,4  |
|      | San Fernando           | 35',8    | 59',5    | 354            | 567,6                         | 711,5                       | - 34,7     | - 74,8  |
| 1955 | Alcones                | 23',9    | 41',9    | 164,1          | 737,3                         | 694,9                       | + 93,0     | + 74,4  |
| 1956 | Termas Vegas del Flaco | 58',0    | 25',3    | 1.741,5        | 187,5                         | 742,7                       | - 17,8     | - 212,5 |
| 1960 | Curicó                 | 59',1    | 14',6    | 220            | 658,1                         | 744,2                       | - 18,2     | - 43,1  |
| 1956 | Lagunas de Teno        | 12',0    | 30',2    | 2.540          | 084,5                         | 762,5                       | - 105,6    | - 180,1 |
|      | Curepto                | 05',2    | 72°01',5 | 19             | 786,1                         | 752,9                       | + 39,1     | + 37,0  |
|      | Taita                  | 25',1    | 71°39',5 | 107            | 782,6                         | 781,0                       | - 15,4     | - 27,6  |
|      | Constitución           | 20',1    | 72°24',8 | 1              | 834,5                         | 773,9                       | + 60,9     | + 60,9  |

CONTINUACION TABLA II

| Año                  | Localidad        | Latitud  | Longitud | Elevación<br>m | Gravedad<br>observada<br>mgal | Gravedad<br>teórica<br>mgal | Anomalías  |         |      |       |
|----------------------|------------------|----------|----------|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------|---------|------|-------|
|                      |                  |          |          |                |                               |                             | Aire Libre | Bouguer |      |       |
| 1960                 | San Javier       | 34°36',2 | 71°42',4 | 108            | 979,756,4                     | 979,796,9                   | -          | 7,2     | -    | 19,5  |
|                      | Cipreses         | 47',8    | 70°48',9 | 946            | 476,7                         | 813,3                       | -          | 44,7    | -    | 151,6 |
| 1958                 | Laguna del Maule | 36°01',5 | 33',0    | 2,208          | 227,0                         | 832,9                       | +          | 75,5    | +    | 173,1 |
|                      | Cauquenes        | 35°59',0 | 72°19',0 | 144            | 834,9                         | 829,4                       | +          | 49,9    | +    | 35,3  |
|                      | Linares          | 50',8    | 71°55',8 | 157            | 729,4                         | 817,6                       | -          | 89,7    | -    | 57,6  |
|                      | Parral           | 36°08',6 | 50',0    | 170            | 766,2                         | 843,1                       | -          | 24,4    | -    | 42,1  |
|                      | Quirihue         | 17',0    | 72°32',6 | 236            | 864,7                         | 855,1                       | +          | 82,4    | +    | 55,7  |
|                      | San Carlos       | 25',7    | 71°58',0 | 172            | 796,1                         | 867,6                       | -          | 18,1    | -    | 34,0  |
| 1960                 | Chillán          | 36',1    | 72°06',3 | 114            | 833,7                         | 882,5                       | -          | 13,6    | -    | 26,0  |
|                      | Bulnes           | 43',9    | 17',8    | 77             | 897,3                         | 893,8                       | +          | 27,3    | +    | 17,7  |
|                      | Concepción       | 50',0    | 73°02',0 | 9              | 967,9                         | 902,6                       | +          | 68,1    | +    | 67,1  |
|                      | Lota             | 37°05',4 | 69',1    | 11             | 980,004,2                     | 924,8                       | +          | 82,8    | +    | 81,6  |
| 1958                 | Yumbel           | 08',1    | 72°31',9 | 90             | 979,941,9                     | 928,7                       | +          | 41,0    | +    | 30,9  |
| 1959                 | Los Angeles      | 28',0    | 21',0    | 129            | 923,5                         | 957,5                       | +          | 5,8     | +    | 8,8   |
|                      | Lago Leja        | 20',0    | 71°23',5 | 1,454          | 552,9                         | 945,9                       | +          | 55,7    | -    | 108,4 |
| 1958                 | Renaico          | 40',0    | 72°35',0 | 60             | 950,0                         | 975,0                       | -          | 6,5     | -    | 13,2  |
|                      | Victoria         | 38°13',5 | 20',1    | 351            | 930,7                         | 980,023,8                   | +          | 5,2     | -    | 34,0  |
|                      | Lautaro          | 31',4    | 26',4    | 214            | 973,3                         | 050,0                       | -          | 10,6    | -    | 34,5  |
|                      | Temuco           | 43',8    | 35',5    | 113            | 027,2                         | 068,2                       | -          | 6,1     | -    | 18,7  |
| Puerto Saavedra      | 46',1            | 73°23',9 | 2        | 066,0          | 071,6                         | -                           | 5,0        | -       | 5,2  |       |
|                      | Nueva Imperial   | 44',4    | 72°57',2 | 26             | 065,2                         | 069,1                       | +          | 4,1     | +    | 1,2   |
| Freire               | 56',6            | 38',0    | 103      | 055,4          | 086,9                         | -                           | 0,3        | -       | 11,2 |       |
|                      | Villarrica       | 39°16',6 | 19',8    | 250            | 023,5                         | 116,4                       | -          | 15,7    | -    | 43,7  |
| Curarrehue           | 21',3            | 71°35',5 | 382      | 974,9          | 123,3                         | -                           | 30,4       | -       | 73,1 |       |
|                      | Loncoche         | 21',5    | 72°38',1 | 112            | 095,0                         | 123,5                       | +          | 6,0     | -    | 6,5   |
| Los Lagos            | 51',2            | 49',2    | 32       | 163,4          | 167,5                         | +                           | 5,5        | +       | 1,9  |       |
|                      | Paillaco         | 40°03',3 | 53',2    | 88             | 174,0                         | 185,4                       | +          | 15,7    | +    | 5,9   |
| La Unión             | 17',0            | 73°04',8 | 29       | 205,0          | 205,7                         | +                           | 8,2        | +       | 5,0  |       |
|                      | Osorno           | 34',0    | 68',9    | 25             | 272,6                         | 290,9                       | +          | 49,4    | +    | 46,6  |
| Pto. Montt (Chamiza) | 41°29',2         | 72°50',7 | 10       | 303,9          | 314,0                         | -                           | 7,0        | -       | 8,1  |       |