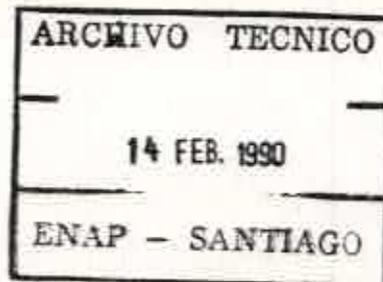


GRAVIMETRIA  
PROSPECTO ALTIPLANO DE ARICA  
INFORME DE INTERPRETACION

Aldo Giavelli I.  
RECURSOS EXPLORATORIOS  
SANTIAGO



Noviembre, 1989

622.1523/106-C

I N D I C E   D E   F I G U R A S

- Fig. 1 : Trazado de líneas gravimétricas
- Fig. 2 : Marco Geológico y Límites del Prospecto.
- Fig. 2a : Esquema geomorfológico y toponimia de referencia.
- Fig. 3 : Anomalía de Bouguer
- Fig. 4 : Anomalía de Regional
- Fig. 5 : Anomalía Residual
- Fig. 6 : Anomalía de Bouguer Perfil 3
- Fig. 7 : Anomalía de Bouguer Perfil 4
- Fig. 8 : Anomalía de Bouguer Integración Perfiles 5, 6 y 7
- Fig. 9 : Anomalía de Bouguer Perfil 9
- Fig. 10 : Anomalía de Bouguer Perfil 10
- Fig. 11 : Anomalía de Bouguer Perfil 2
- Fig. 12 : Anomalía de Bouguer Integración Perfiles 5, 6 y 9
- Fig. 13 : Modelación Perfil A-A
- Fig. 14 : Modelación Perfil B-B

Cuadro N° 1: Medidas de Densidad

Apéndice 1: Datos.

I\_N\_D\_I\_C\_E

Capítulo 1: INTRODUCCION . . . . .	1
Capítulo 2: CARACTERISTICAS DE LA INFORMACION . . . . .	2
Parámetros. . . . .	2
Correcciones. . . . .	2
Capítulo 3: FISIOGRAFIA Y MARCO GEOLOGICO . . . . .	5
Capítulo 4: INTERPRETACION . . . . .	6
Anomalía de Bouguer: . . . . .	6
Anomalía Regional: . . . . .	6
Anomalía Residual: . . . . .	7
Modelación 2-D . . . . .	9
Capítulo 5: CONCLUSIONES . . . . .	10
Capítulo 6: REFERENCIAS . . . . .	11

Capítulo 1

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por objetivo la interpretación de la información gravimétrica correspondiente al Altiplano de Arica, adquirida por la empresa Geodatos Ltda., en el marco del trabajo exploratorio preliminar que el Consorcio HUNT-ENAP se encuentra realizando en dicha área.

Esta interpretación comprende el cálculo de las correcciones de aire libre, bouguer y latitud, revisión de la corrección topográfica, análisis de anomalía regional, obtención de anomalía residual y modelación 2-D.

Como resultado de este trabajo, se interpretan los límites aproximados de la cuenca, se reconocen las estructuras principales y se da una primera estimación del posible espesor de rocas estratificadas.

## Capítulo 2

### CARACTERISTICAS DE LA INFORMACION

#### 2.1 Parámetros.

Los parámetros característicos del levantamiento gravimétrico, llevado a cabo por la empresa Geodatos Ltda. para el Consorcio HUNT-ENAP, son los siguientes:

- Gravímetro LACOSTE & ROMBERG sensibilidad de lectura 0.001 miligales.
- Espaciamiento entre estaciones: 500 m.
- Control topográfico sobre los perfiles, con precisión en la determinación de costas inferior a 1 m.
- Base para gravedad absoluta, Aeródromo El Buitre (antiguo aeropuerto de Arica, hoy restringido a uso militar), 978.510 miligales.

En estas condiciones se levantaron 828 estaciones gravimétricas agrupadas en 10 perfiles cuya disposición sobre el terreno se muestra en la Figura 1.

#### 2.2 Correcciones.

En el apéndice I se adjunta un listado completo de la información entregada a ENAP, por parte de Geodatos. Este incluye, para cada una de las estaciones, el número de la estación, la posición tanto en U.T.M. como en coordenadas geográficas, la cota sobre el nivel del mar, la gravedad absoluta, y la corrección topográfica.

Con respecto a la corrección topográfica, conviene señalar que los valores entregados en el listado adjunto fueron obtenidos

evaluando el efecto topográfico hasta una distancia de 1.530 m. en torno a la estación (zona G Hammer, 1939). En este trabajo, dicha corrección fue evaluada en una decena de puntos a modo de verificación, considerando el efecto topográfico hasta una distancia de 21.950 m de la estación (zona M Hammer, 1939), detectándose un valor de corrección hasta 3 veces mayor que aquellos incluidos en el listado del Apéndice I.

Por otra parte, a la escala en que se trabajó (1:50.000), es imposible estimar el efecto topográfico de aquellos accidentes ubicados a menos de 200 m. de la estación (a menos que se efectúe un levantamiento topográfico alrededor de ella), lo que podría significar una corrección adicional de algunos miligales.

Todo esto permite afirmar que la precisión de este levantamiento no puede ser inferior a 3 miligales, independientemente de la calidad del proceso de adquisición que es excelente.

En lo que respecta al resto de las correcciones, éstas fueron hechas de la siguiente forma:

i) Latitud:

Se usó la expresión obtenida para "THE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984" (WGS-84), como un elipsoide geocéntrico de revolución

$$G = GE \left( \frac{1 + K \operatorname{sen}^2 \phi}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \phi)^{1/2}} \right)$$

donde:

GE = gravedad normal en el Ecuador  
= 978032.67714 miligales

K = constante =  $1.93185138639 \times 10^{-3}$

$e^2$  = Exentricidad cuadrática =  $(a^2 - b^2) / a^2$   
a, b semiejes mayor y menor respectivamente  
=  $6.6943799013 \times 10^{-3}$

$\phi$  = latitud

ii) Aire Libre:

De la clásica expresión para el potencial newtoniano  $u = -GM/r$  y considerando el efecto gravitatorio que ejerce la tierra a una distancia  $R$  y  $R+h$  de su centro ( $R$ =radio de la tierra,  $h$ =altura sobre un nivel de referencia arbitrario, con  $h \ll R$ ), se obtiene trivialmente el valor usado para esta corrección:

$$C.A.L. = 0.3086 \cdot h \text{ miligales (h en metros)}$$

iii) Bouguer:

Se utiliza la expresión obtenida para calcular el efecto gravimétrico de una "placa infinita"

$$\begin{aligned} C.B. &= 2\pi G \rho h \text{ miligales} \\ &= 0.0419 \rho h \text{ miligales} \end{aligned}$$

$\rho$  = densidad en grs/cc

$h$  = altura c/r a un datum arbitrario, en metros.

En este trabajo se utilizó  $\rho = 2.0$  grs/cc como densidad de corrección, valor que fue determinado utilizando el criterio de Nettleton (NETTLETON, 1939).

### Capítulo 3

#### EISIOGRAEIA\_Y\_MARCO\_GEOLOGICO

En la primera región de Chile, se reconocen tres unidades fisiográficas principales que la caracterizan, las cuales presentan una dirección aproximada N-S. Estas son de oeste a este, Cordillera de la Costa, Pampa y Cordillera de Los Andes.

En la Cordillera de los Andes, o más bien, maciso andino, se pueden distinguir a su vez tres sectores bien determinados, los cuales definen el prospecto.

- i) La Precordillera, donde se exponen rocas de diversa edad y litología, destacando por su importancia desde el punto de vista gravimétrico las unidades de basamento que afloran en la faja Putre-Tignamar, representadas principalmente por rocas metamórficas de edad Precámbrico (Formación Esquistos de Belén).
- ii) Un sector Altiplánico, donde se exponen las unidades de cobertura representadas principalmente por rocas volcánicas de edad Terciario Superior-Cuaternario, provenientes de los numerosos centros de emisión activos durante ese período. Cabe señalar que es en este sector donde se ubica el prospecto propiamente tal.
- iii) El arco volcánico actual, que constituye un rasgo aproximadamente lineal, y que interrumpe la zona de cuenca representada por el Altiplano; la cual sin duda continúa hacia el territorio boliviano.

La Figura 2 muestra el marco geológico y los límites aproximados del prospecto; mientras la Figura 2a (tomada de Muñoz, 1989), resumen la toponimia y los rasgos fisiográficos principales del área.

El breve resumen que aquí se expone, es extractado principalmente de Muñoz, 1989.

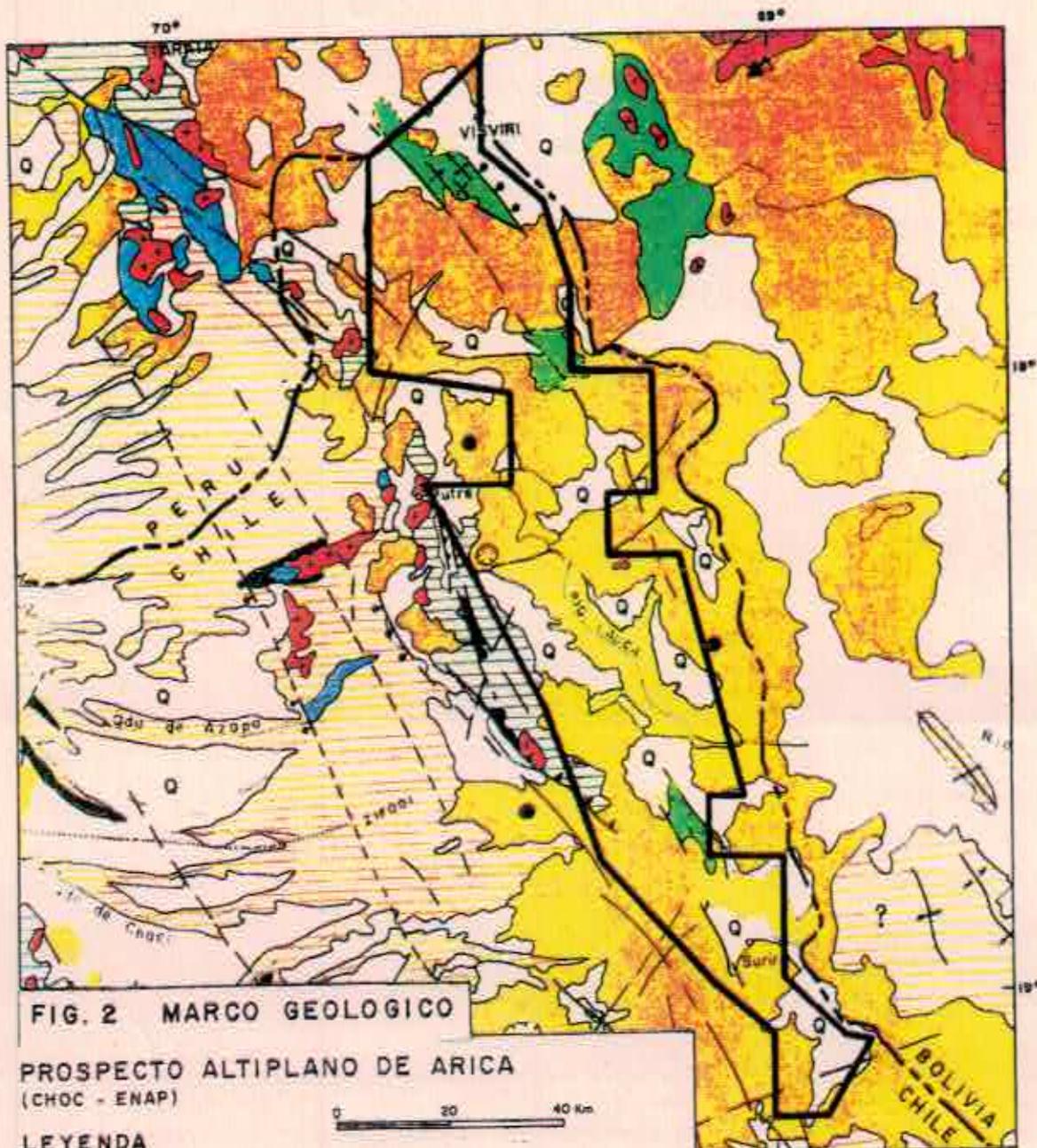


FIG. 2 MARCO GEOLOGICO

PROSPECTO ALTIPLANO DE ARICA  
(CHOC - ENAP)

LEYENDA

Ciclo Cenozoico

- Rocas principalmente Sedimentarias
- " " Volcánicas

Ciclo Mesozoico

- Rocas Sedimentarias
- Rocas Intrusivos
- Rocas Volcánicas

Ciclo Paleozoico

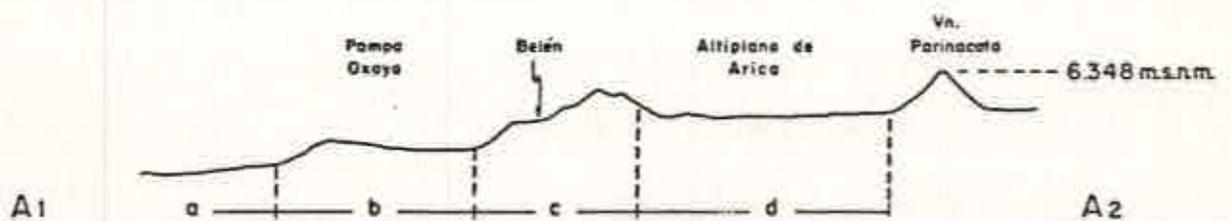
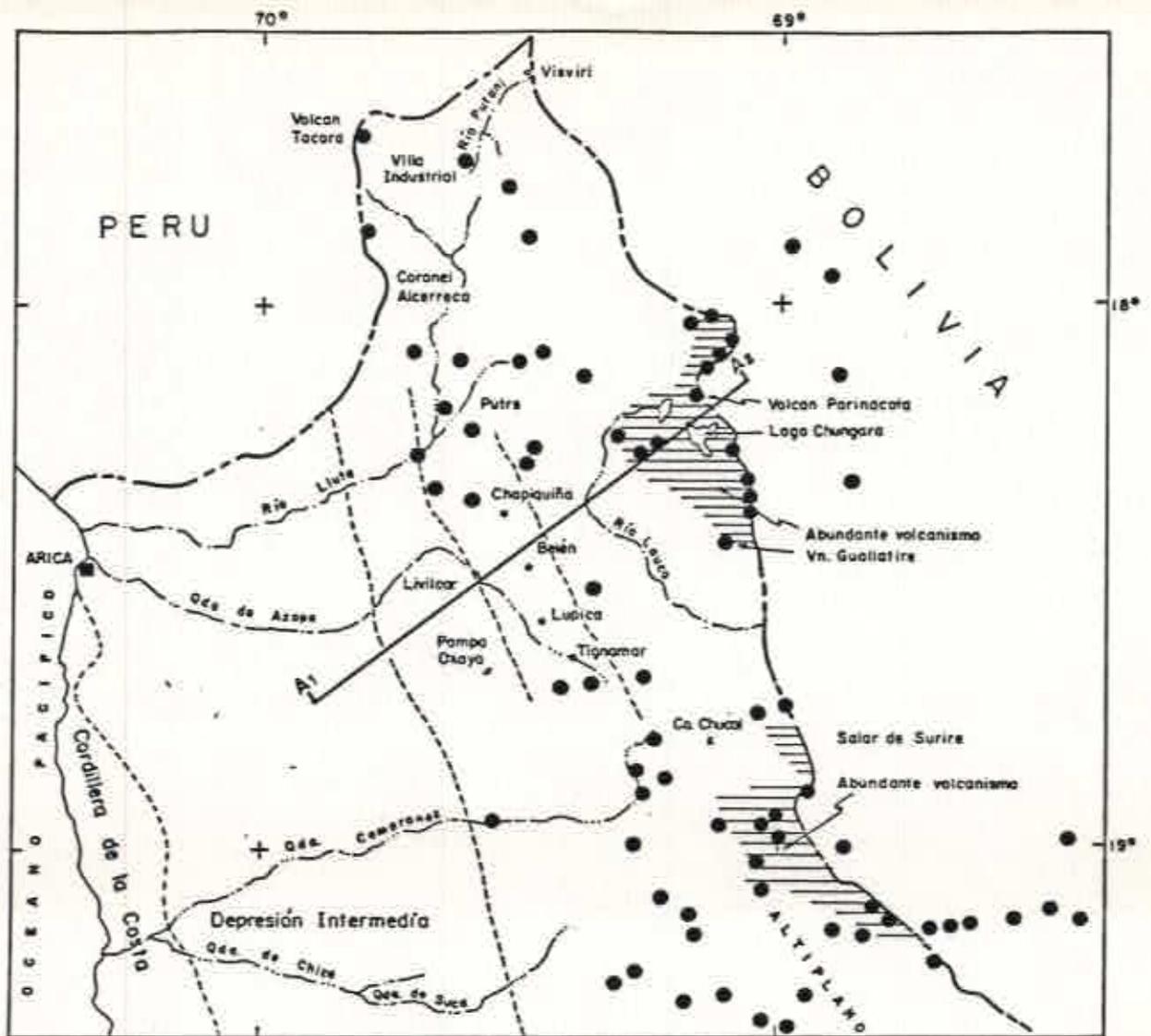
- Basamento Metamorfico

SIMBOLOGIA ESTRUCTURAL HABITUAL

- Area del Prospecto
- Límite Internacional

NOTA EL TRAZADO DEL LIMITE INTERNACIONAL ES APROXIMADO Y NO OFICIAL.

Clas. GFG-205-2 Arch. 64-L-2



### LEYENDA

- |   |  |
|---|--|
| a - Depresión Intermedia                | d - Altiplano de Arica                   |
| b - Pampa Oxaya                         | • Probable centros volcánicos Terciarios |
| c - Preatiplano (Faja Putre - Tiquimar) |  |

FIG. 2 a ESQUEMA GEOMORFOLOGICO Y TOPONIMIA DE REFERENCIA

## Capítulo 4

### INTERPRETACION

#### 4.1 Anomalía de Bouguer:

Después de aplicar sobre los datos todas las correcciones descritas en el Capítulo II, se procedió a dibujar en forma manual un mapa de contornos de la Anomalía de Bouguer. El mapa obtenido (ver Figura 3), muestra una clara tendencia estructural de dirección NO-SE, y una disminución de la gravedad a razón de 1,3 mgal/km en la dirección perpendicular, y con sentido hacia el este.

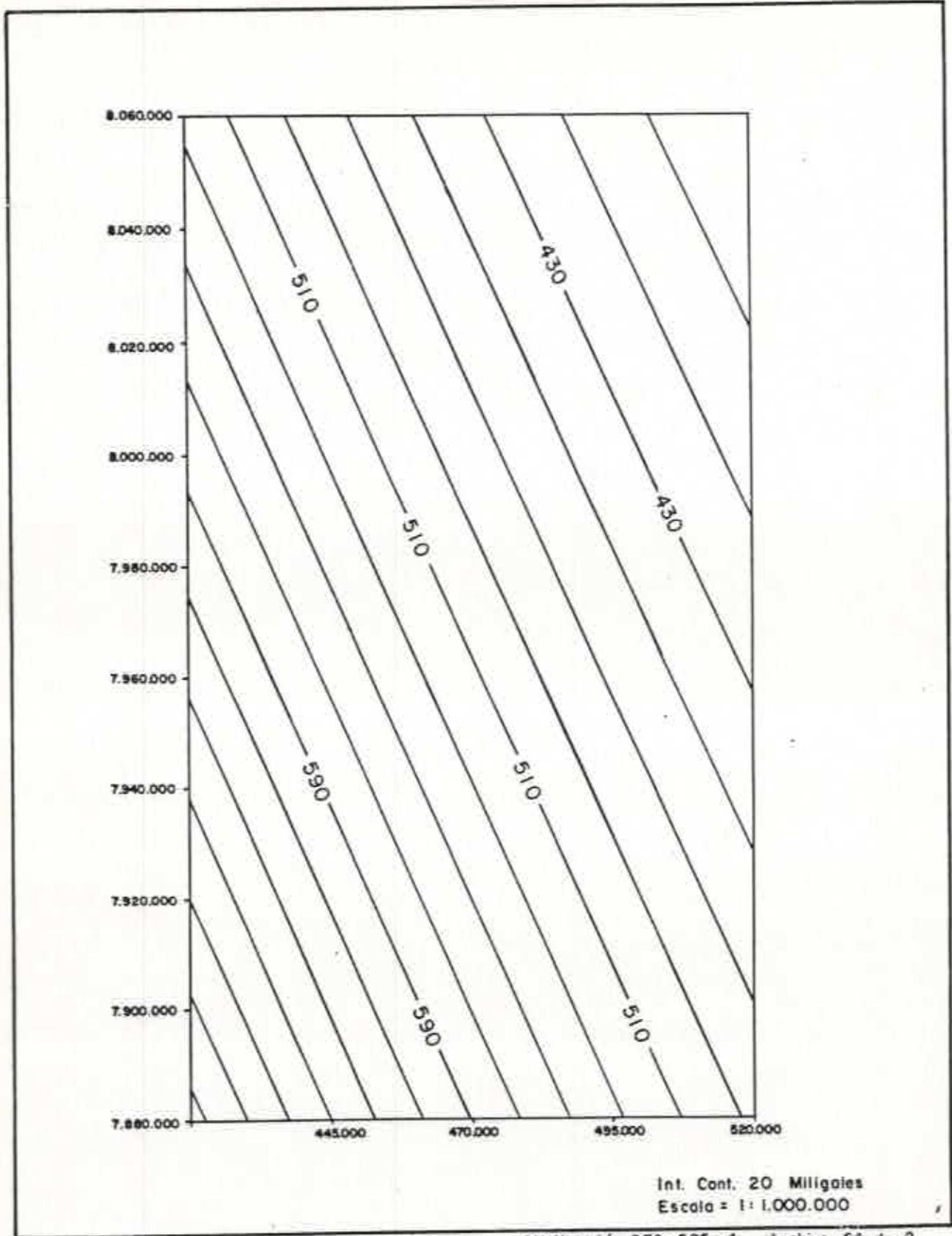
Esta dirección preferencial mostrada por la anomalía de Bouguer coincide con el estilo estructural regional caracterizado por la flexura del cordón Andino, y conocido como el "Codo Arica-Santa Cruz" (LYON-CAEN et al., 1985).

#### 4.2 Anomalía Regional:

A partir de la anomalía de Bouguer, y con la ayuda de técnicas espectrales clásicas, como continuaciones analíticas hacia arriba y filtros pasa bajo, se logró determinar una tendencia regional definida por un plano con una muy pequeña componente cuadrática.

El ajuste vertical de este plano regional, se consiguió con los afloramientos del basamento metamórfico por el oeste, y los afloramientos de algunos porfidos y cuerpos sub-volcánicos más densos (ver cuadro 1) por el este; en ambos casos, y como una interpretación conservadora, se consideró un residual igual a cero.

FIG. 4 ANOMALIA REGIONAL



La figura 4 muestra la Anomalía Regional, cuya expresión analítica es de la forma:

$$AX^2 + BY^2 + CXY + DX + EY + F = Z$$

con:

$$A = 0.000742$$

$$B = 0.005069$$

$$C = 0.004333$$

$$D = -1.176707$$

$$E = -2.742596$$

$$F = 693.477051$$

y siendo X = NORTE

Y = ESTE

ORIGEN = 7.900.000 U.T.M.N

420.000 U.T.M.E

XeY en Km.

### 4.3 Anomalía Residual:

Restando la Anomalía Regional de la Anomalía de Bouguer, se obtiene la anomalía residual cuyo mapa de contornos, también dibujado en forma manual, se muestra en la Figura 5.

En dicha figura, es posible apreciar una importante anomalía negativa entre las latitudes 7.930.000 U.T.M.N. Y 7.990.000 U.T.M.N., con una caída de potencial máxima de 40 miligales.

El eje de esta anomalía presenta una dirección aproximada NO-SE, y el fuerte gradiente que se observa en su flanco oeste, sin duda está relacionado con el fallamiento que alza el basamento metamórfico.

Hacia el este, la anomalía se cierra por un alto gravimétrico que estaría relacionado con las raíces de un volcanismo Terciario Superior-Cuaternario.

Los perfiles A-A y B-B, se trazan en una dirección aproximadamente perpendicular a la estructura, y sobre ellos se hará una modelación 2-D que permitirá estimar el espesor de lo que podría constituir el principal depocentro del área.

Hacia el norte, se observa también un importante defecto de masa, con un posible depocentro abierto hacia territorio peruano. Los datos no acusan la presencia del basamento

precámbrico hacia este sector, y si muestran una pequeña anomalía positiva hacia el este, que podría indicar una mayor densidad del arco volcánico en este sector.

Hacia el sur, en la vecindad del Salar de Surire, los datos muestran una fuerte caída de potencial con un gradiente bastante alto, lo que define una anomalía negativa cerrada con una intensidad máxima de 40 miligales. Esta anomalía se muestra en la Figura 5 con un signo de interrogación, ya que el mapa geológico indica una importante componente intrusiva en esta área.

El hecho de que la información gravimétrica no sea concordante con los antecedentes geológicos en este sector, puede ser explicado de tres formas distintas:

- 1) Que la presencia de intrusivos no sea tan importante como lo muestra el mapa geológico, y que exista realmente un depocentro.
- 2) Que las dos líneas que definen esta anomalía negativa (Hunt-9 y Hunt-10), no pasan sobre los cuerpos que muestra el mapa geológico.
- 3) Que el contraste de densidad entre los intrusivos y las rocas de sus entornos, no sea lo suficientemente fuerte.

Las figuras 6 a la 12, muestran la anomalía de Bouguer y regional observada sobre los perfiles, proyectadas en la dirección E-O o N-S, dependiendo de cuál sea su orientación principal. En ellas se pueden apreciar con mayor detalle los rasgos antes expuestos.

#### 4.4 Modelación 2-D

Las figuras 13 y 14 muestran los modelos obtenidos a partir de los perfiles A-A y B-B respectivamente (ver Figura 5), realizados con un algoritmo estilo Talwani (Talwani, 1959).

Los valores de densidad utilizados, corresponden a los valores medios observados (ver cuadro 1) para los niveles Terciario (2,45 grs/cc), Jurásico (2,60 grs/cc) y basamento metamórfico e intrusivos (2,75 grs/cc).

Ambos modelos ajustan la gravedad observada, permitiendo la hipotética existencia de un Terciario de hasta 3.500 m de espesor, más un nivel Jurásico de 1.500 a 2.000 m de espesor, sobre un basamento que en el sector oeste estaría representado por rocas metamórficas de edad Precámbrico, y por el este correspondería a las raíces del volcanismo Terciario superior-Cuaternario.

Con respecto al estilo estructural, o al carácter de las fallas que controlan el depocentro modelado, no es posible hacer una afirmación tajante, ya que este no es evidente a partir de los modelos.

Estos modelos, sólo pretenden demostrar la posibilidad física de que exista una determinada situación geológica, pero no constituyen una solución única.

FIGURA 13 : MODELADO PERFIL A-A

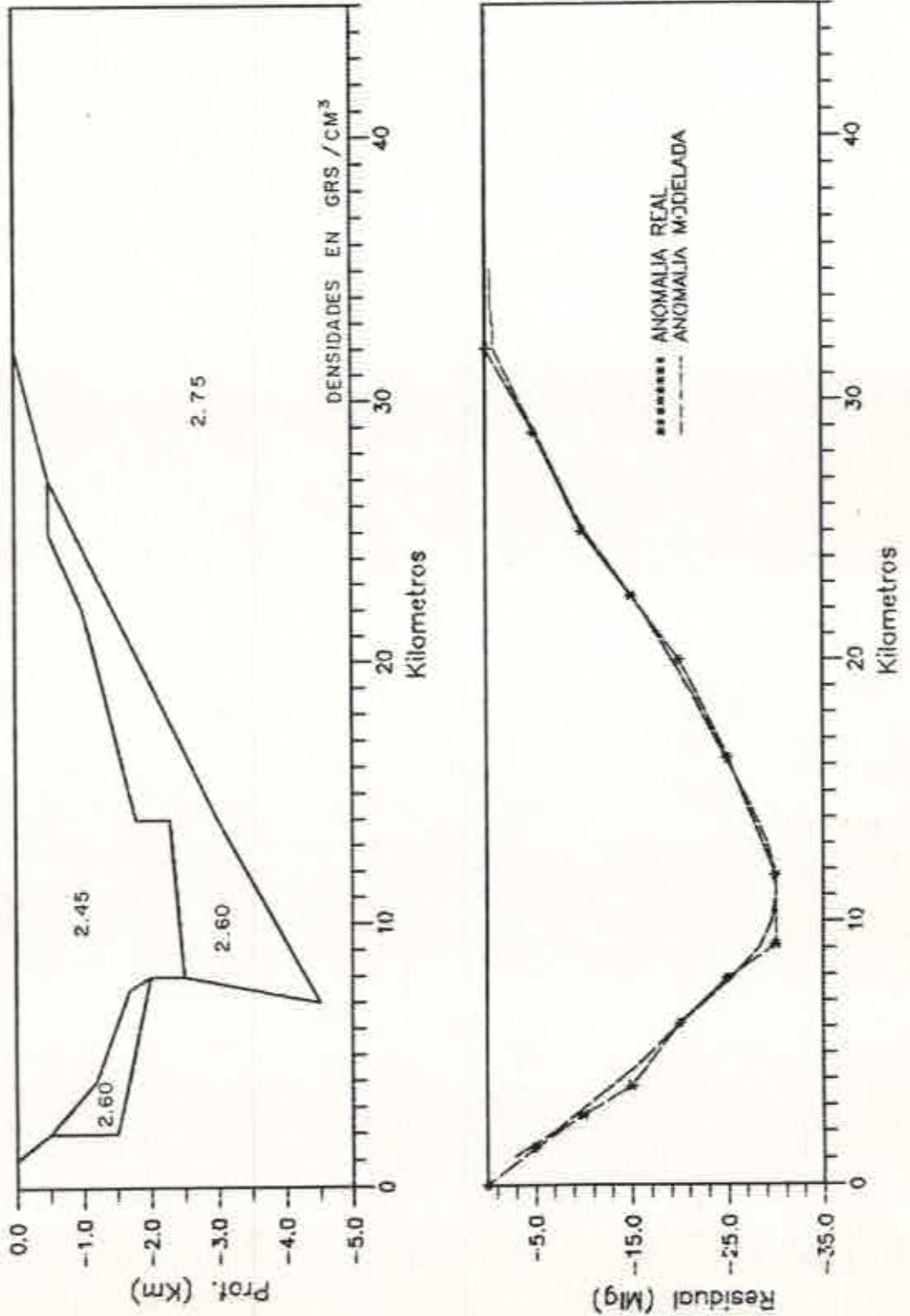
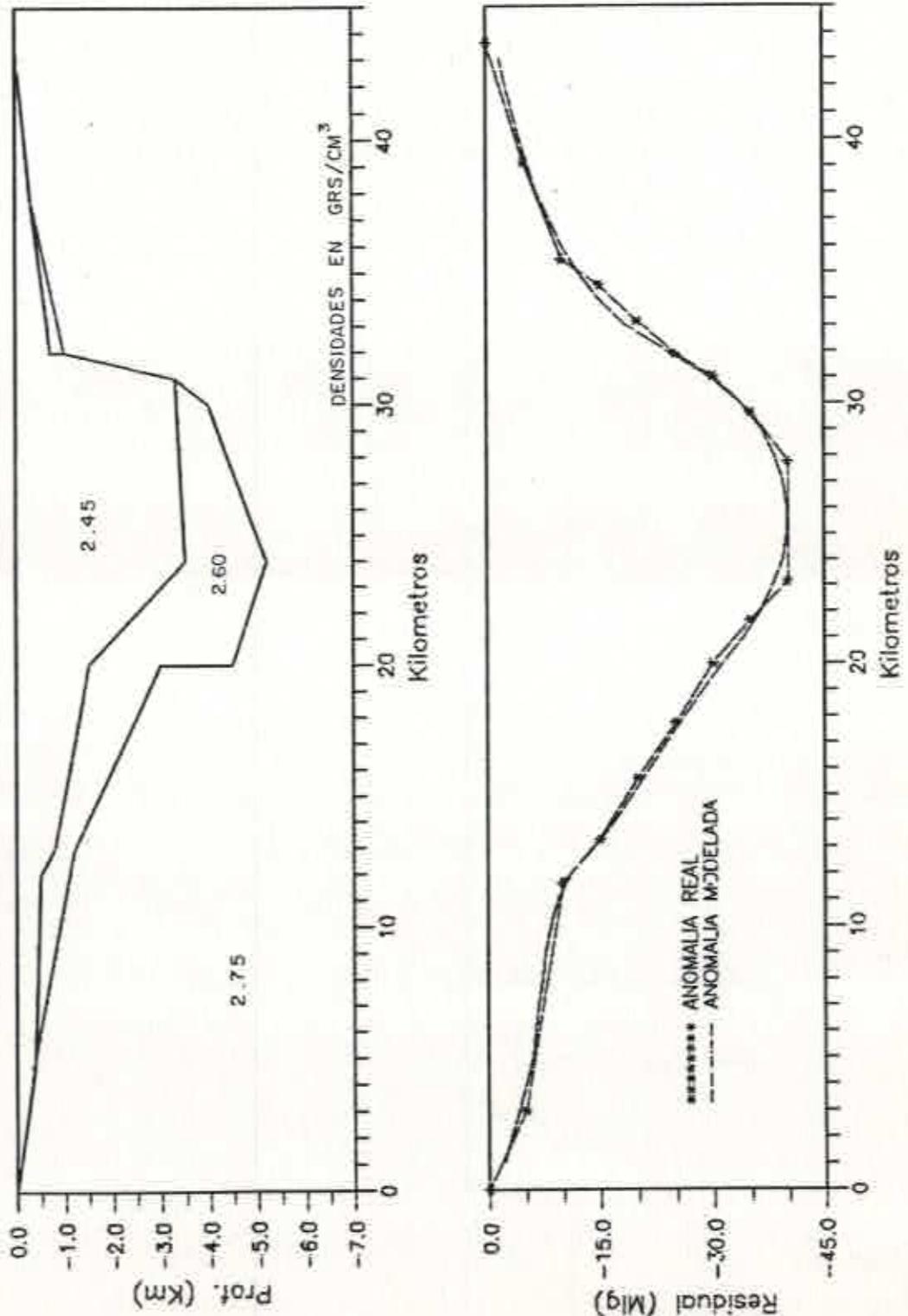


FIGURA 14 : MODELADO PERFIL B--B



Capítulo 5

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

El análisis de la información gravimétrica adquirida por el consorcio HUNT-ENAP, en el marco del prospecto "Altiplano de Arica", arroja los siguientes resultados:

- Se define claramente una caída del potencial gravitatorio, con intensidades máximas de hasta 40 miligales, que podrían representar una potencia estimada de 5.000 m de rocas estratificadas, asumiendo un contraste de densidad entre 0,2 y 0,3 grs/cc.
- El flanco oeste estaría controlado por el alzamiento del basamento metamórfico y el emplazamiento de cuerpos intrusivos de edad Paleógeno.
- Por el este, la cuenca estaría localmente interrumpida por el volcanismo reciente, y las evidencias geológicas estarían indicando que esta continúa hacia territorio boliviano.
- La información gravimétrica no permite definir el límite norte de la cuenca, y por el sur, después de un pequeño "alto", queda abierta la interrogante sobre el significado de una gran anomalía negativa en el sector del Salar de Surire.

Si bien la existencia de una caída del potencial gravitatorio, no constituye una condición necesaria y suficiente para la existencia de una cuenca sedimentaria, al menos representa un antecedente positivo cuyo real significado podrá ser dilucidado mediante la aplicación de métodos geofísicos más avanzados.



ALDO GIAVELLI

AGI/ach  
Santiago, Noviembre 22, 1989

Capítulo 6

B. E. E. R. E. N. C. I. A. S

- HAMMER, S., 1939. Terrain corrections for gravimeter stations. Geophysics V4.
- LYON-CAEN, H., MOLNAR, P. AND SUAREZ, G., 1985. Gravity anomalies and flexure of the brazilian shield beneath the Bolivian Andes. Earth and Planetary Science Letters, 75, p.84-92.
- NUÑOZ, N., 1989. Geología Altiplano de Arica. CHOC-ENAP.
- NETTLETON, L, 1939. Determination of density for reduction of gravimeter observation. Geophysics, V4.
- TALWANI, M., WORZEL, J. AND LANDISMAN, M., 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the mendocino submarine fracture zone. Journal Geophysical Research, V.64 N1.

CUADRO Nº 1 : Medidas de densidad en distintas facies Prospectorio Altiplano de Arica.

Nº de Muestra	Densidad gr/cc	Litología	Unidad	Edad	Simbología en Mapa Geológico
NMG-348	2,58	Riolita fluidal	Riolitas del Santuario	Trias.-Sup.-Lías	JIV
NMG-352	2,64	Tonalita	Intrusivo	Paleógeno	-
NMG-382	2,66	Toba cuarcifera	-	Eoceno-Oligoceno	Tiv
NMG-365-3	2,63	Calclutita	Fm. Livillar	Jurásico	Jmm
NMG-367-1	2,15	Arenisca tobácea	Fm. Lupica	Paleógeno	Tivs
NMG-371-1	2,50	Gneis	Fm. Esquistos de Belén	Precámbrico	Pr
NMG-372	2,28	Toba de pomez	Fm. Lupica	Paleógeno	Tivs
NMG-373-1	2,59	Arenisca cuarcifera	Fm. Chucal	Paleógeno	Tis
NMG-374	2,66	Diorita	Intrusivo	Paleógeno	-
NMG-378	2,36	Ighimbrita	-	Paleógeno	Tiv
NMG-381-6	2,05	Toba cinerítica	Fm. Chucal	Paleógeno	Tis
NMG-391-5	2,18	Toba de pomez	Fm. Putani	Paleógeno	Tis
NMG-413	2,48	Brecha volcánica	-	Plioceno	Tsvc
NMG-416-2	2,59	Toba fluidal	-	Cuaternario	Qv
NMG-431-17	2,82	Metaarenisca	-	Cretácico Inferior	-
NMG-443-1	2,76	Pórfido diorítico	Intrusivo	Paleógeno	Tiv
NMG-412	2,37	Toba íftica	-	Eoceno-Oligoceno	-
NMG-411	2,67	Microdiorita	Intrusivo	Paleógeno	-
NMG-428-2	2,48	Toba riolítica	-	Cuaternario	Qv
NMG-425-2	2,63	Granito	Intrusivo	Cret. Sup.-Paleoceno	-
NMG-440-2	2,75	Esquisto micáceo	Fm. Esq. de Belén	Precámbrico	Pr
NMG-440-3	2,60	Esquisto basáltico	Fm. Esq. de Belén	Precámbrico	Pr
NMG-461	2,44	Ignimbrita	-	Mioceno Superior	Tsvc
NMG-358-1	2,79	Dique	-	Paleógeno	-
NMG-385-2	2,63	Caliza	Fm. Putani	Paleógeno	Tiv
NMG-392-2	1,91	Arenisca Tobácea	Fm. Putani	Paleógeno	Tivs
NMG-379-16	2,31	Caliza arenosa	Fm. Chucal	Paleógeno	Tis
NMG-360-2	2,60	Toba riolítica	-	Mioceno	Tsv
NMG-422	2,67	Diorita	Intrusivo	Cretácico-Terciario	-

