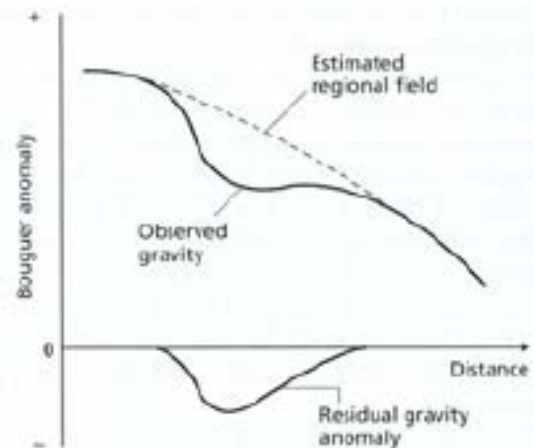


GRAVIMETRIA

ANOMALÍAS REGIONALES Y RESIDUALES

Anomalías regionales y residuales

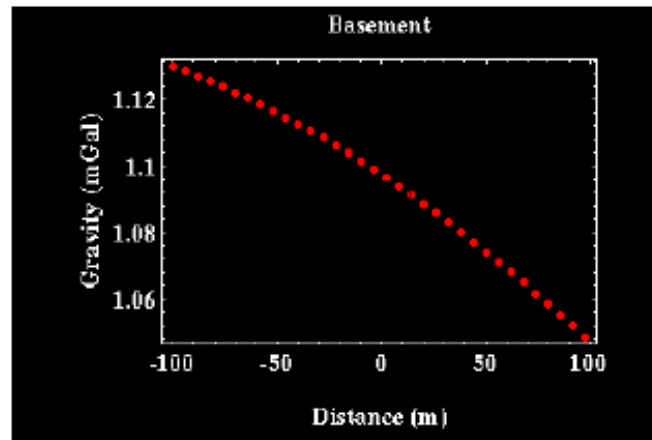
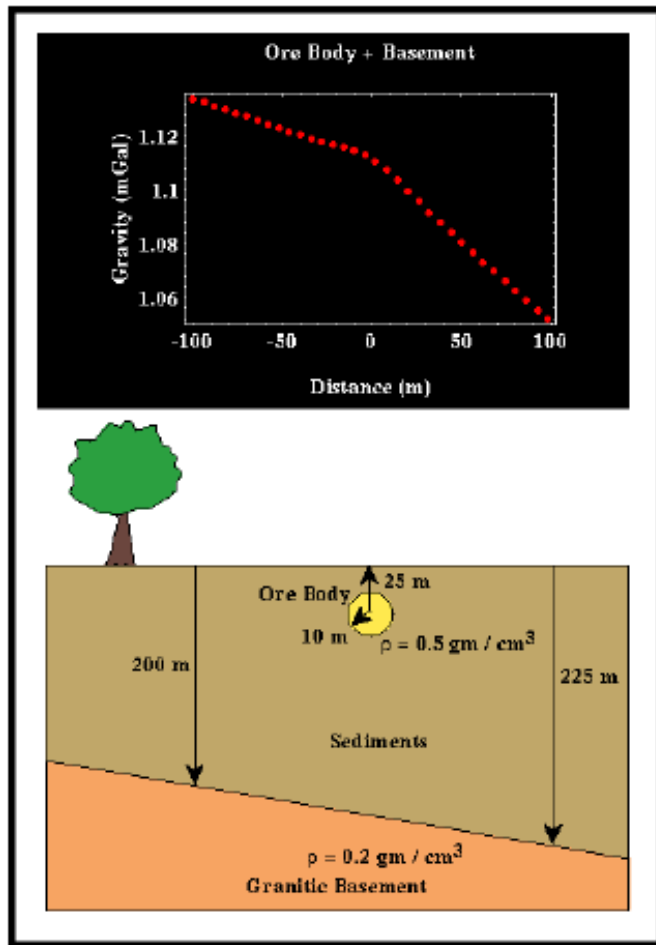
La anomalía gravimétrica de interés puede estar superpuesta a otra de extensión regional



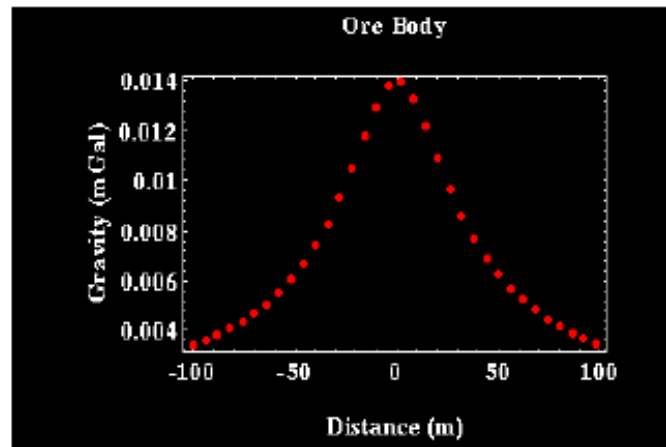
From Kearey et al., 2002

Fig. 6.17 The separation of regional and residual gravity anomalies from the observed Bouguer anomaly.

Gravedad Regional y local

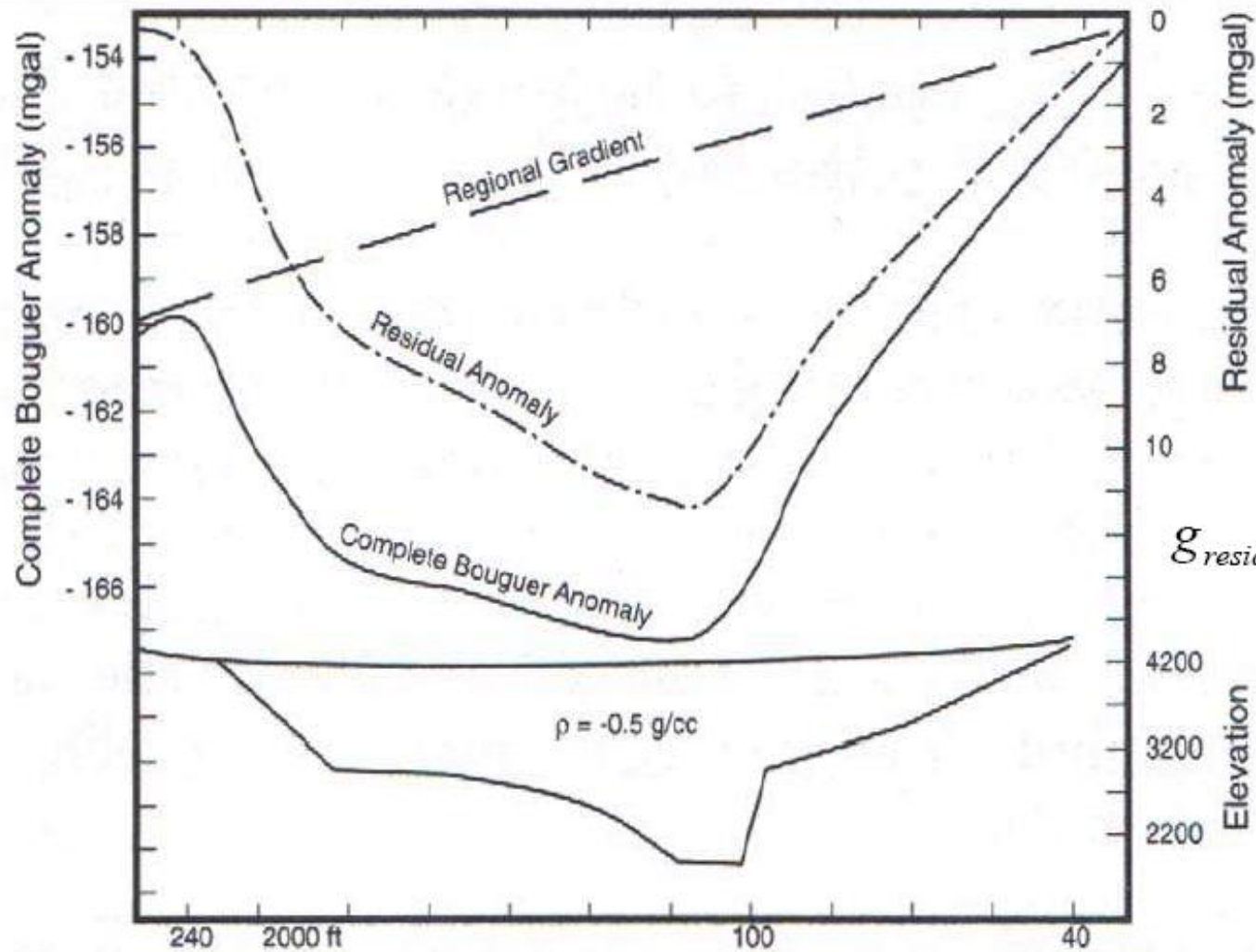


Regional



Residual
(Anomalía Local)

Regional y residual



$$g_{\text{residual}} = g_{\text{estación}} - g_{\text{regional}}$$

Regional y residual

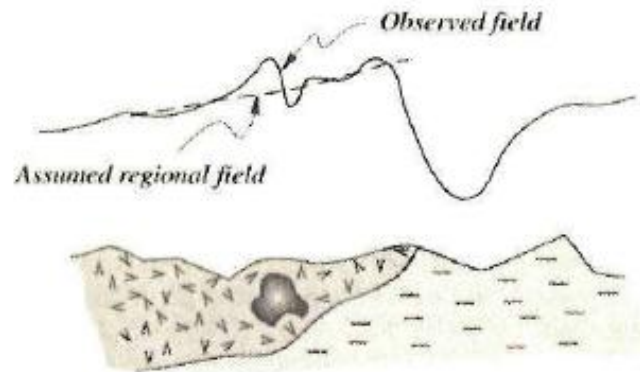
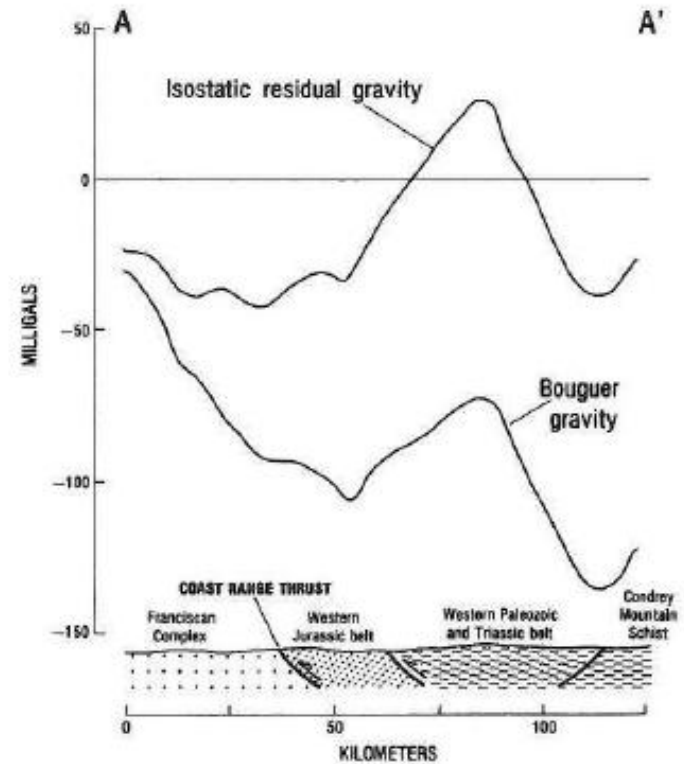
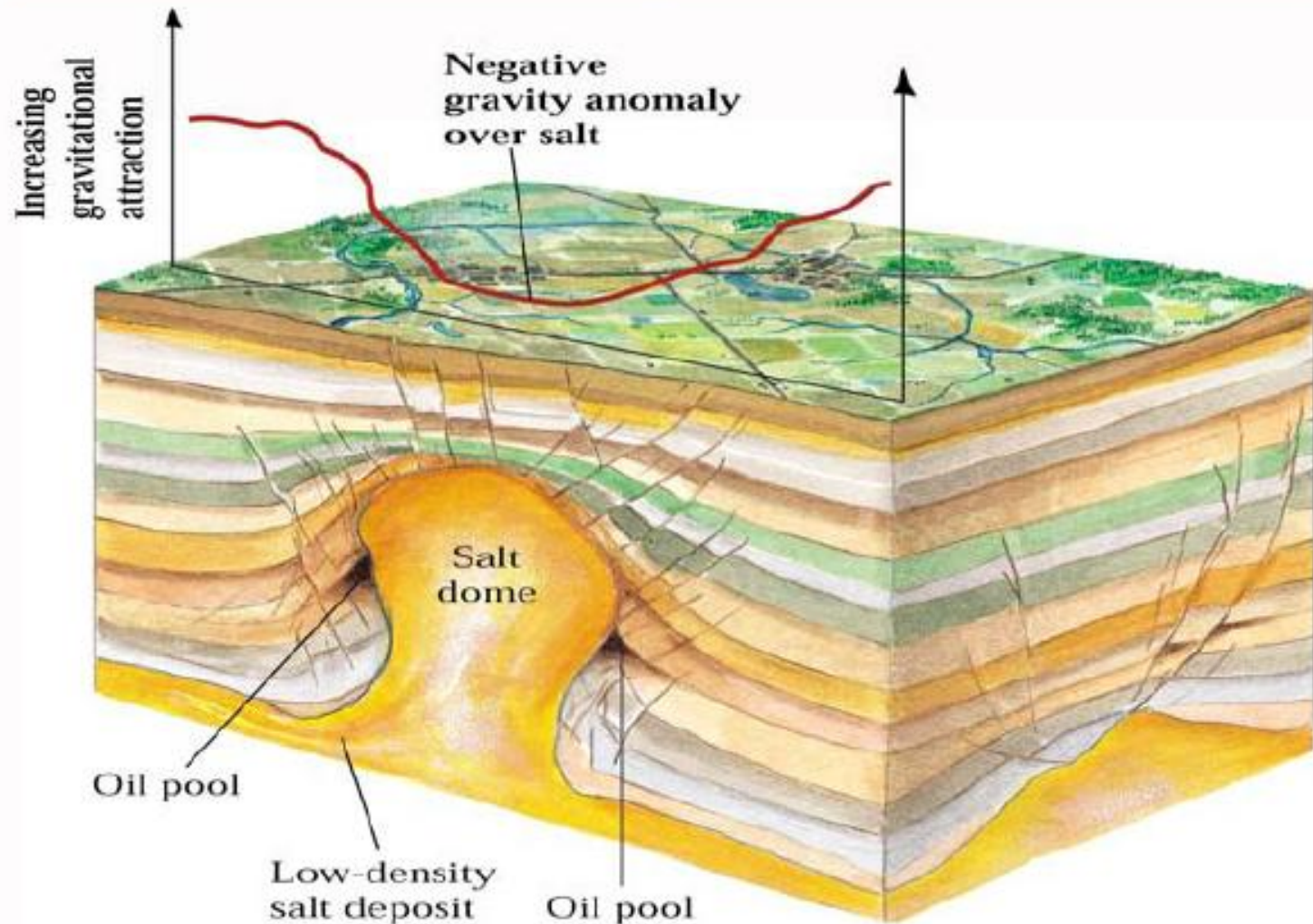


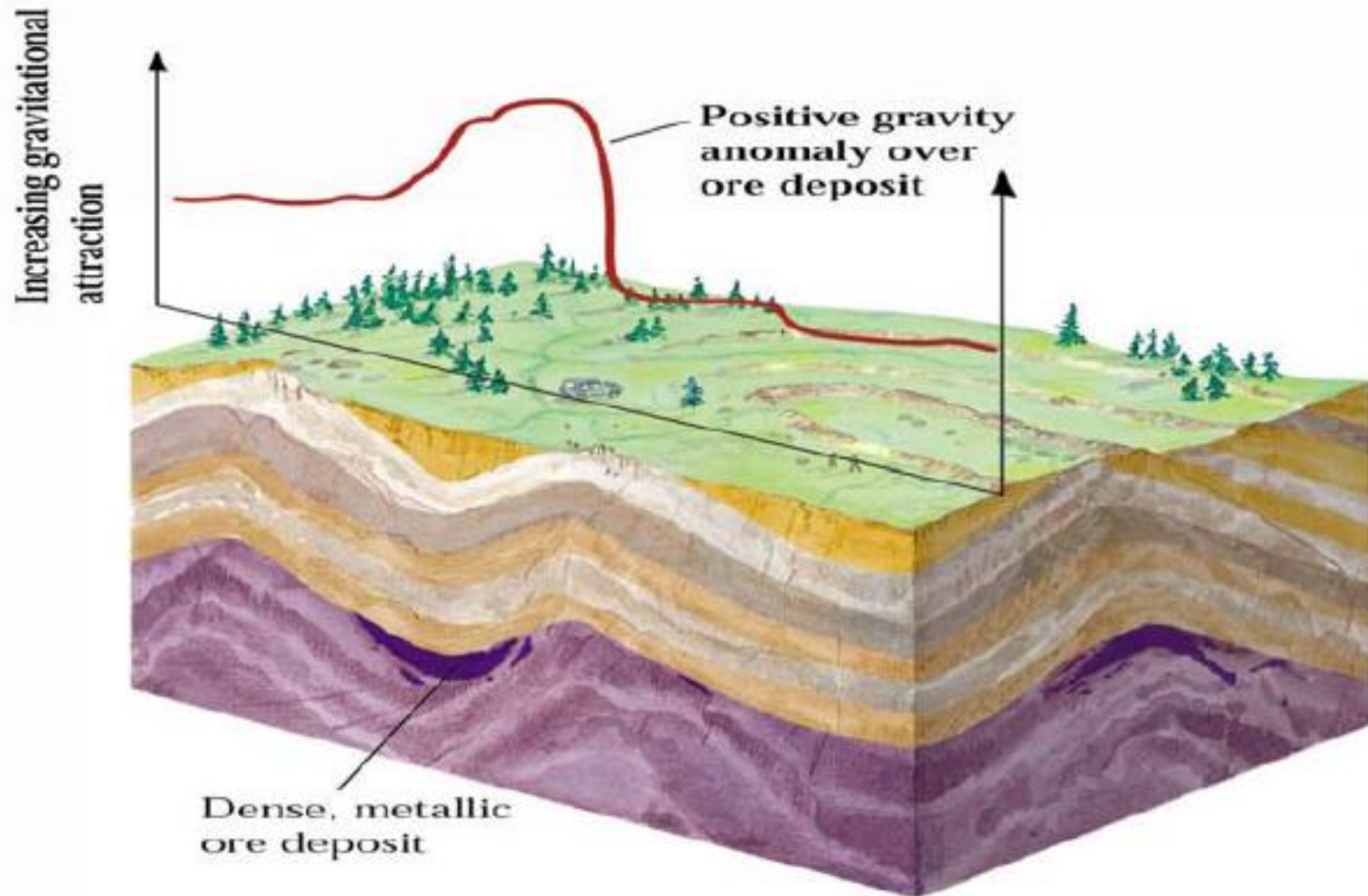
Fig. 7.1. The definition of regional field depends on the scale of the problem.



Residuales gravimétricos



Residuales gravimétricos



Residuales gravimétricos para estudios de cuencas

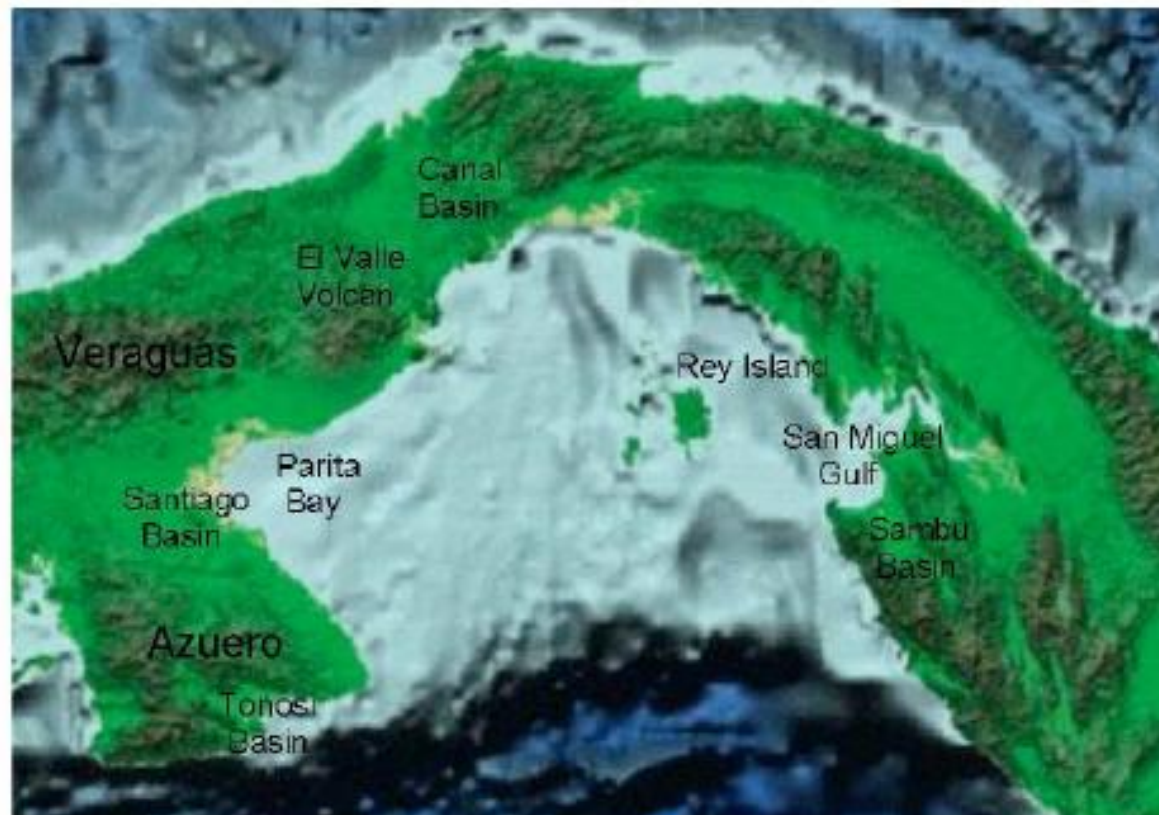


Fig. 3. Topography and bathymetry of Panama and the surrounding sea.

Residuales gravimétricos para estudios de cuencas

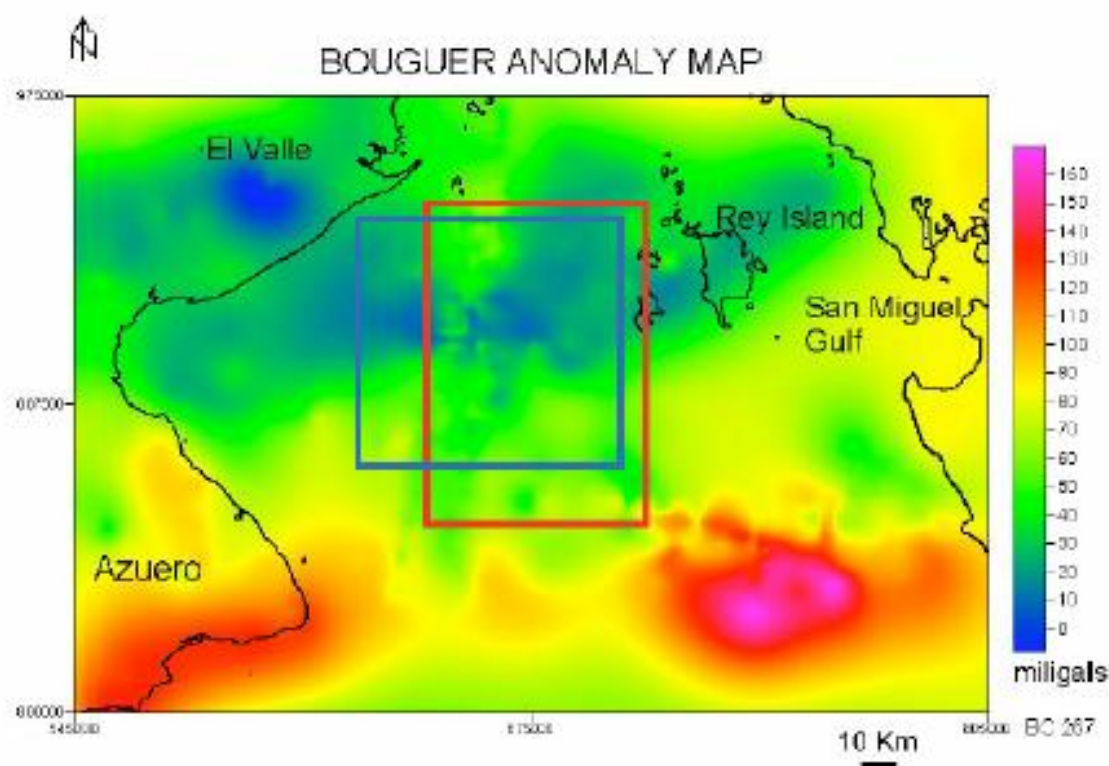


Fig. 29. Bouguer anomaly map based on a Bouguer density of 2670 kg/m^3 . Note the gravity high anomalies elongated in east-west direction, reflecting the shelf contact. The red (blue) colored frame denotes the area of residual map (interpreted residual anomaly) presented in figure 31 (Fig. 33).

Residuales gravimétricos para estudios de cuencas

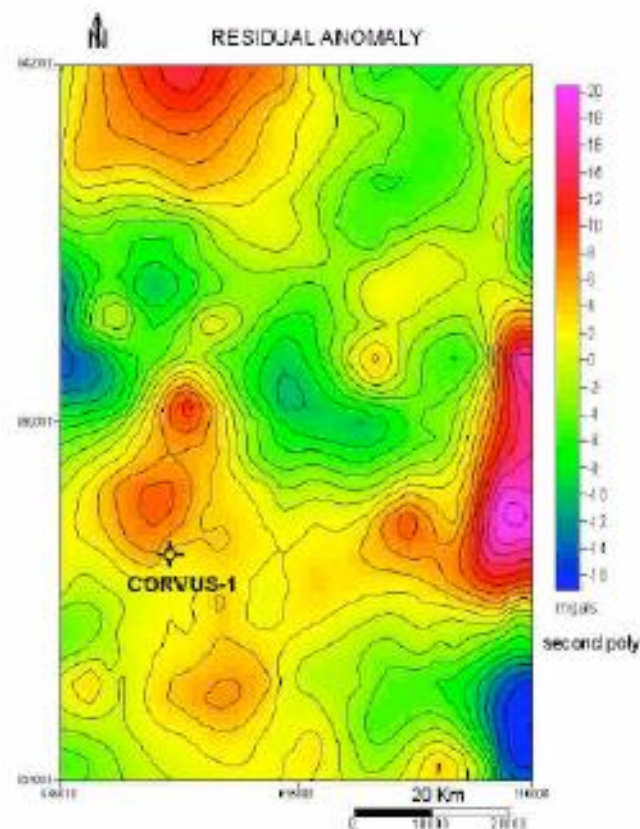


Fig. 31. Residual gravity map from the central northern part of the Gulf of Panama.

Regional y residual

- **Estimaciones directas**
- **Estimación gráfica**
- **Estimaciones matemáticas**
 - **Promedios móviles**
 - **Ajuste por funciones**
 - **Filtrado y Continuación Analítica**
 - **Modelos isostáticos y de densidades**
 - **Gravedad de Satélites**

Tipos de residuales

Métodos subjetivos

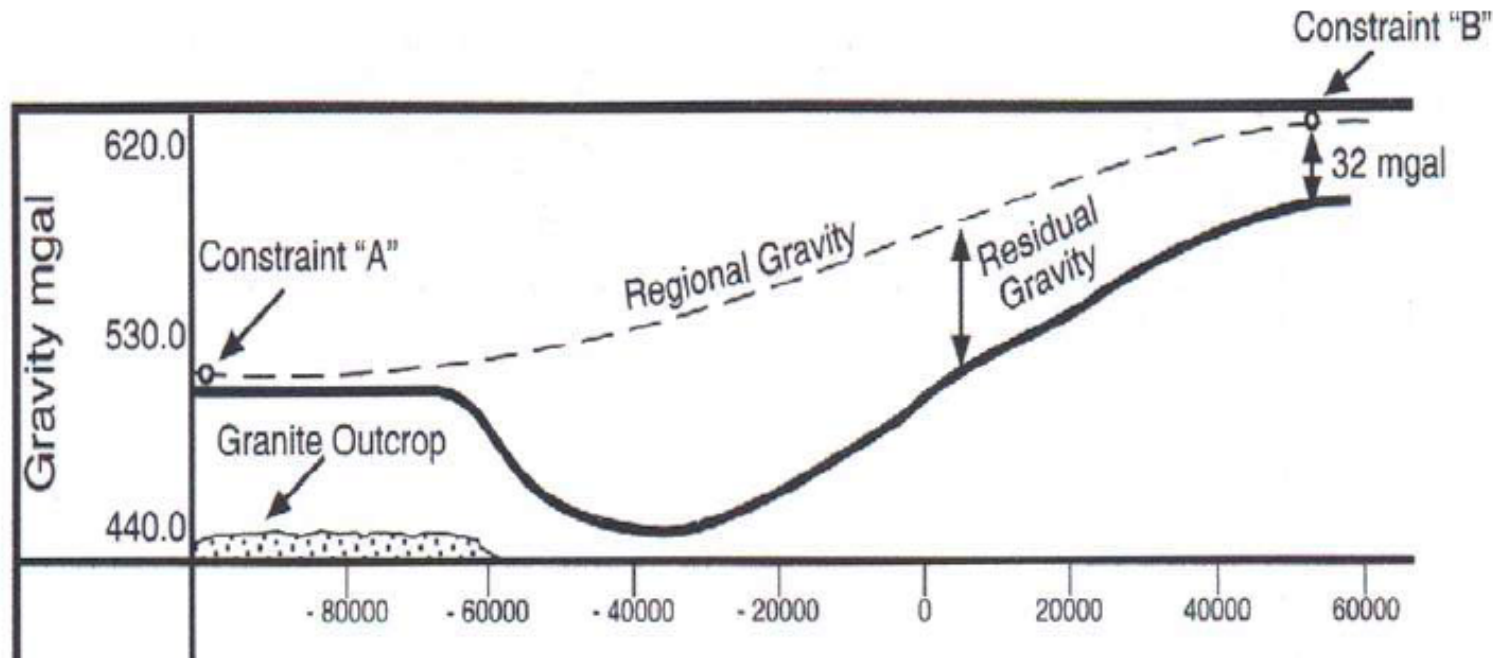
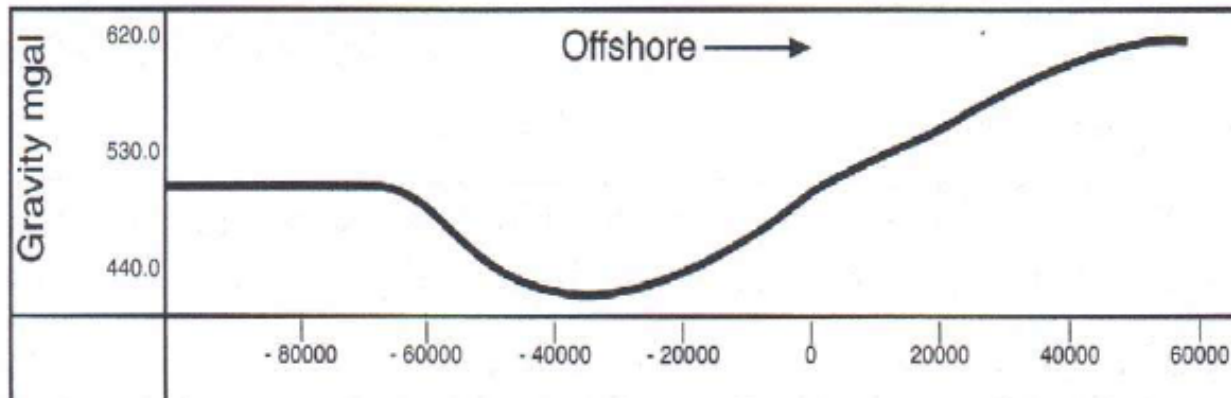
- Residuales con respecto a un modelo isostático
- Residuales con respecto a un modelo de densidades

Métodos más objetivos

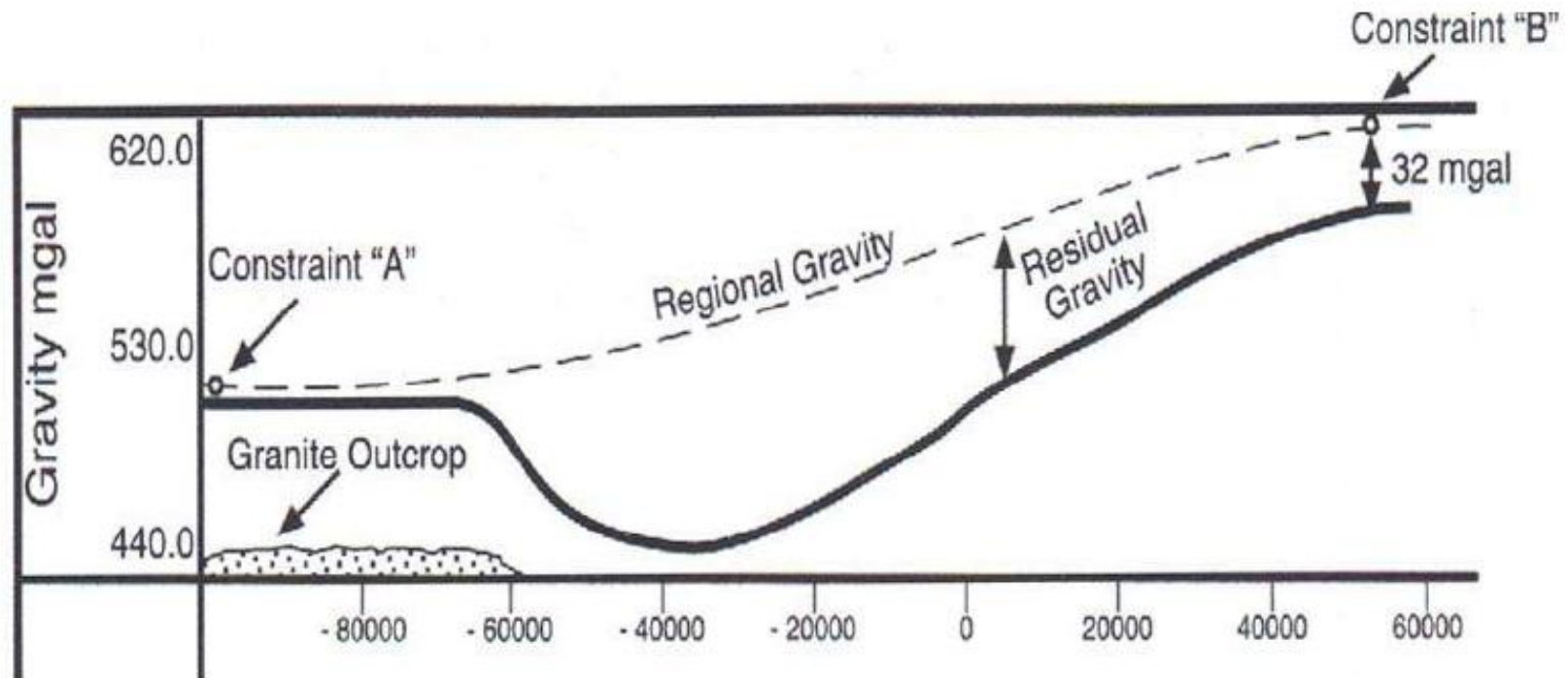
- Residuales por medio de filtros: pasa alto, aproximación por polinomios, prolongación ascendente
- Residuales con respecto al geoide (satelitarios)

ESTIMACIÓN DIRECTA

Regional y residual: Regional controlado



Regional y residual: Regional controlado



Constraints "A" y "B": Profundidades conocidas al basamento; Z_A y Z_B

En B, aplicando la expresión de la losa de Bouguer:

$$0.04193 \cdot \Delta\rho \cdot Z_B = -32 \text{ mgal} = \text{residual}$$

($\Delta\rho$: contraste de densidad columna sedimentaria – basamento)

Entonces, en B:

$$g_{\text{regional}} = g_{\text{Bouguer}} + 32 \text{ mgal} (g_{\text{residual}})$$

En A

$$g_{\text{regional}} = g_{\text{Bouguer}} + 0 \text{ mgal}$$

Regional Gravity se obtiene matemáticamente honrando los valores de g_{regional} calculados

Finalmente, para todos los puntos de la curva:

$$\text{Residual Gravity} = \text{Bouguer} - \text{Regional Gravity}$$

Esta curva residual se puede invertir

ESTIMACIÓN GRÁFICA

Remoción de la tendencia regional

Rasgos geológicos pequeños y superficiales causan anomalías de menor longitud de onda

Estructuras de gran escala y más profundas causan anomalías de mayor longitud de onda

La tendencia regional se puede remover usando métodos gráficos

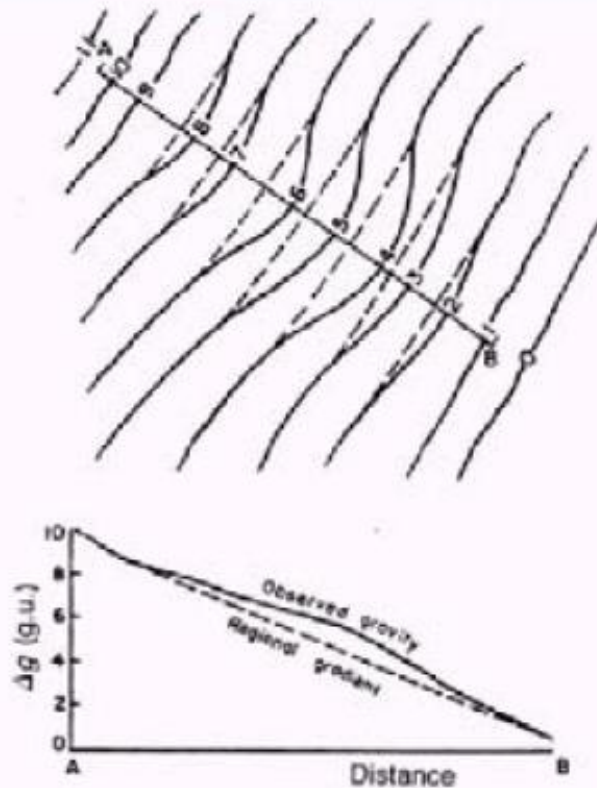
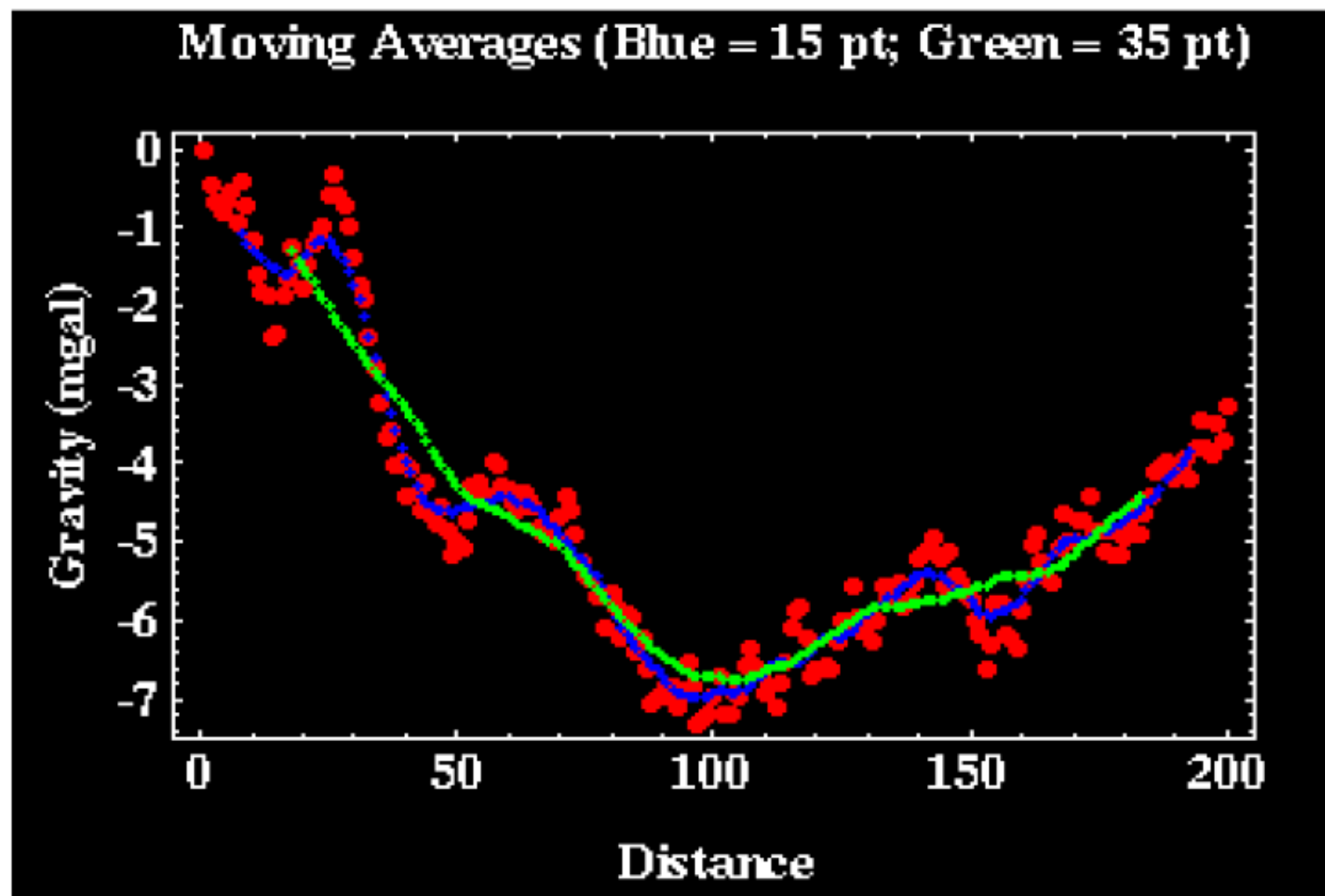


Fig. 2.10 Graphical method of separation of the regional and local anomalies. The regional effect has been sketched by free-hand (dashed lines) and on subtracting it from the observed anomaly, either on the contour map (upper) or on the profile (lower), the local anomaly (the so-called residual) can be obtained.

ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

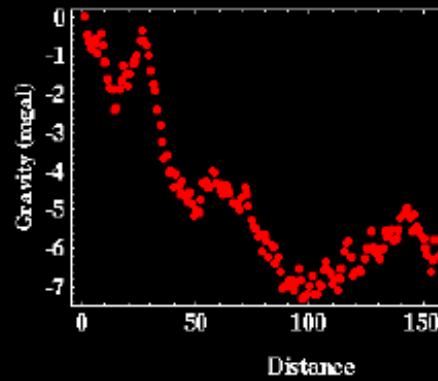
Promedios móviles

Regional y residual: Promedios móviles

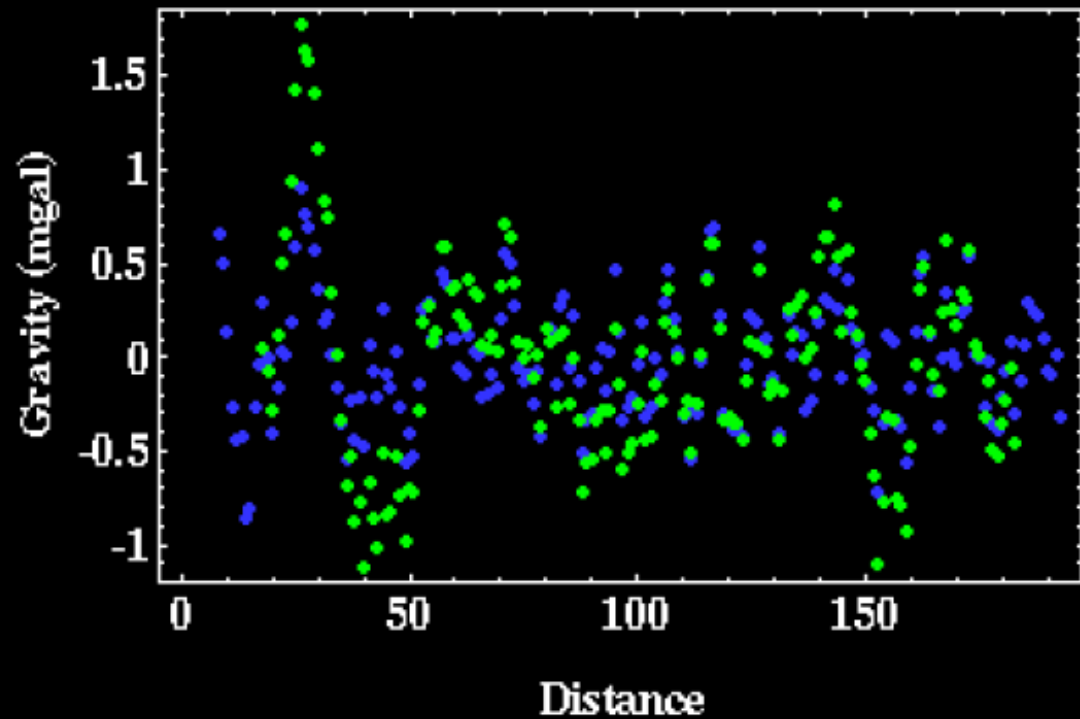


Regional y residual: Promedios móviles

Terrain Corrected Bouguer Anomaly



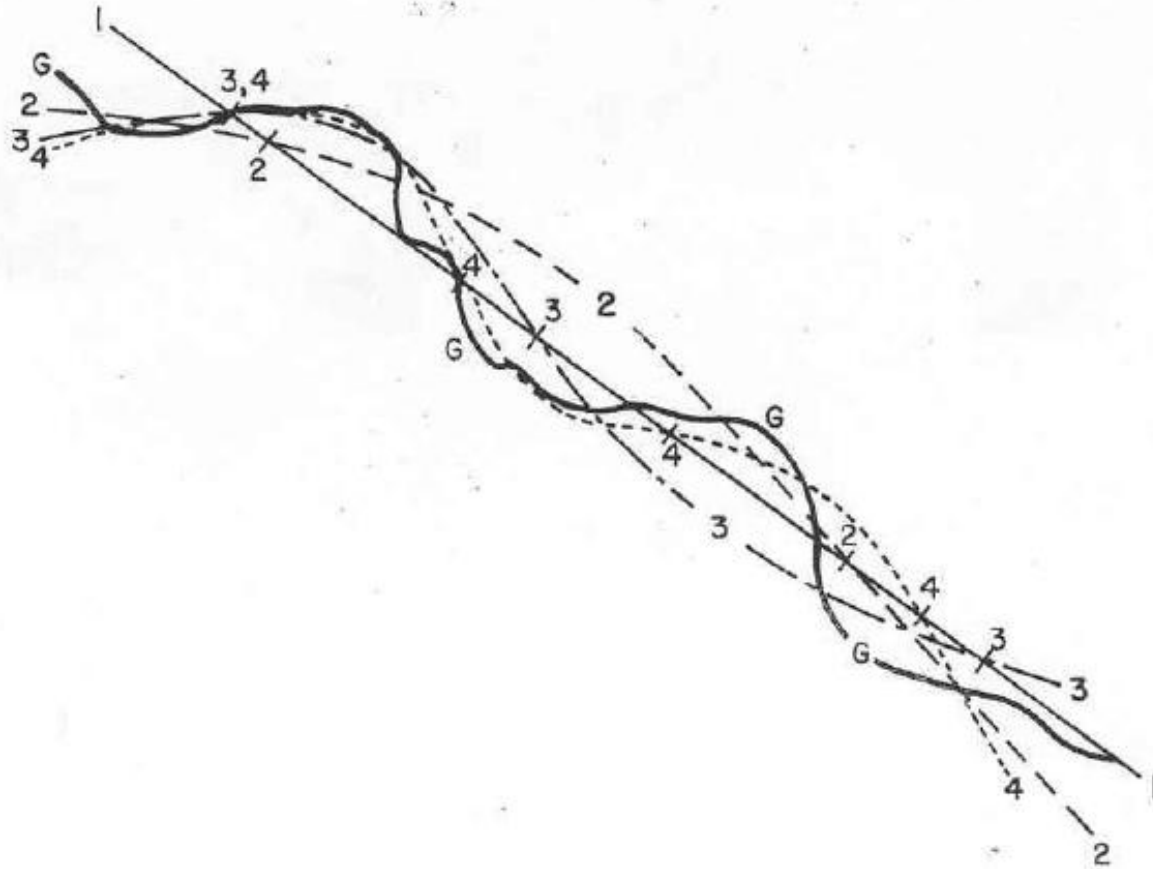
Local Gravity Anomaly Estimates (Blue = 15 pt; Green = 35 pt)



ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

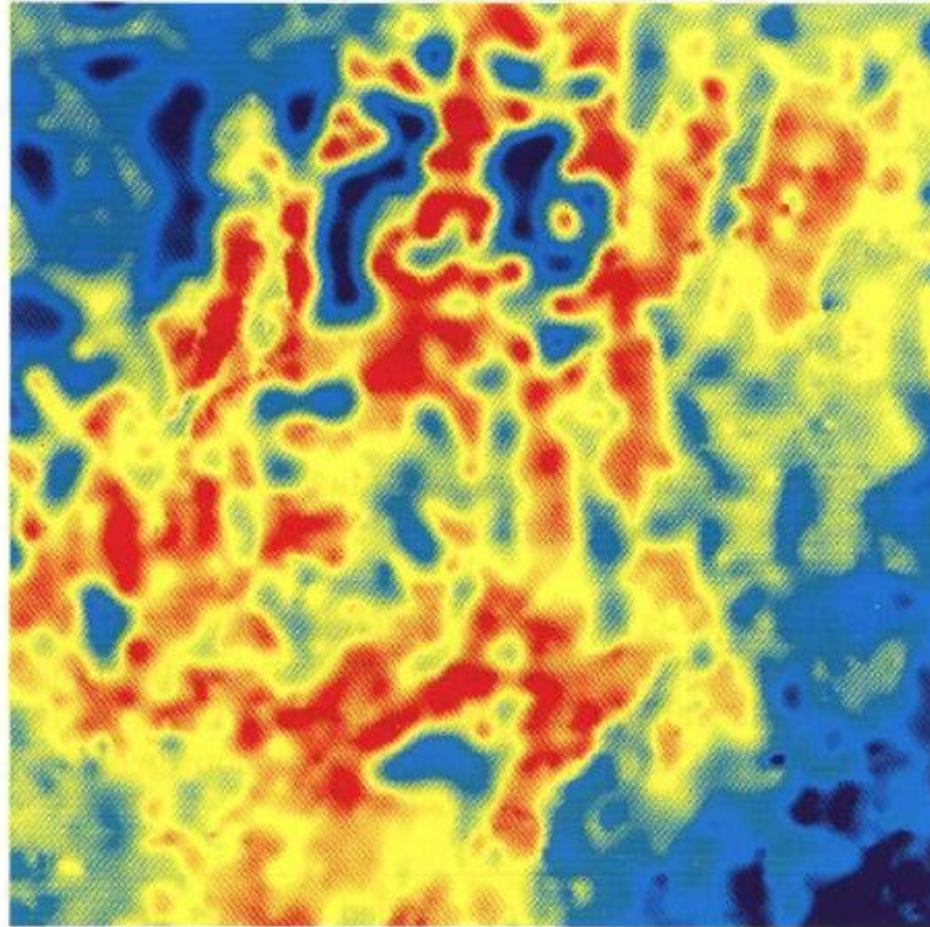
**Ajuste por funciones / Aproximación por Polinomios /
Superficies de Tendencia**

Superficies de tendencia



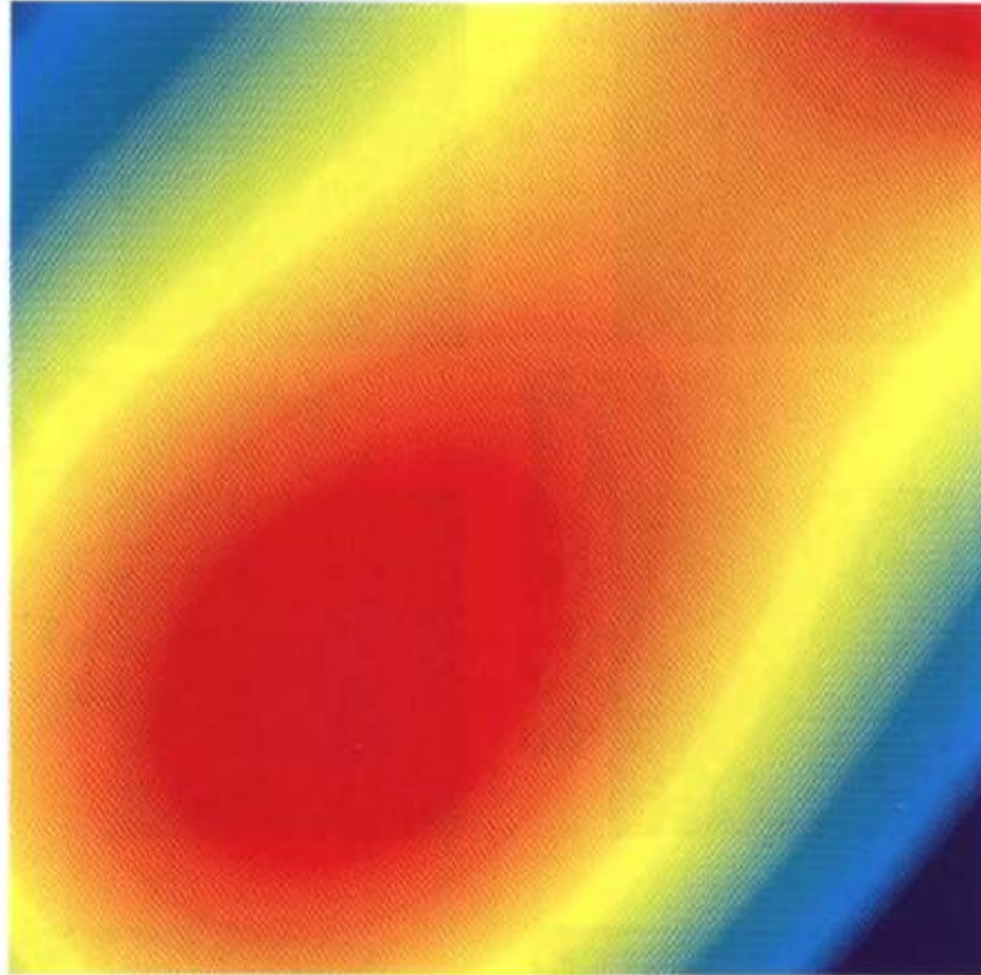
Curvas esquemáticas ilustrando la técnica del ajuste de superficies por mínimos cuadrados. La curva G representa un perfil de gravedad observada. Las curvas 1, 2, 3 y 4 representan ajustes de ordenes sucesivamente mayores. El residual de un determinado orden es la diferencia entre los valores observados y la correspondiente curva de ajuste.

Gravedad – Superficies de tendencia



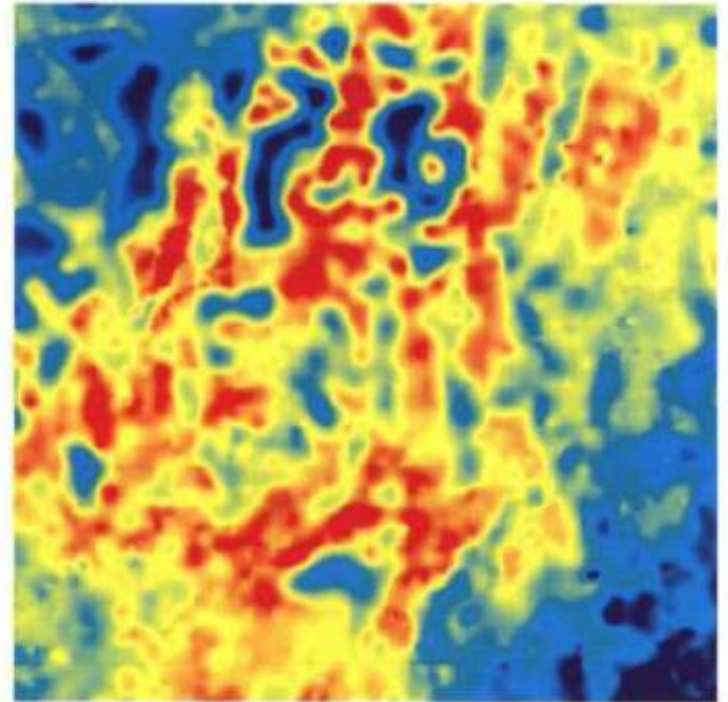
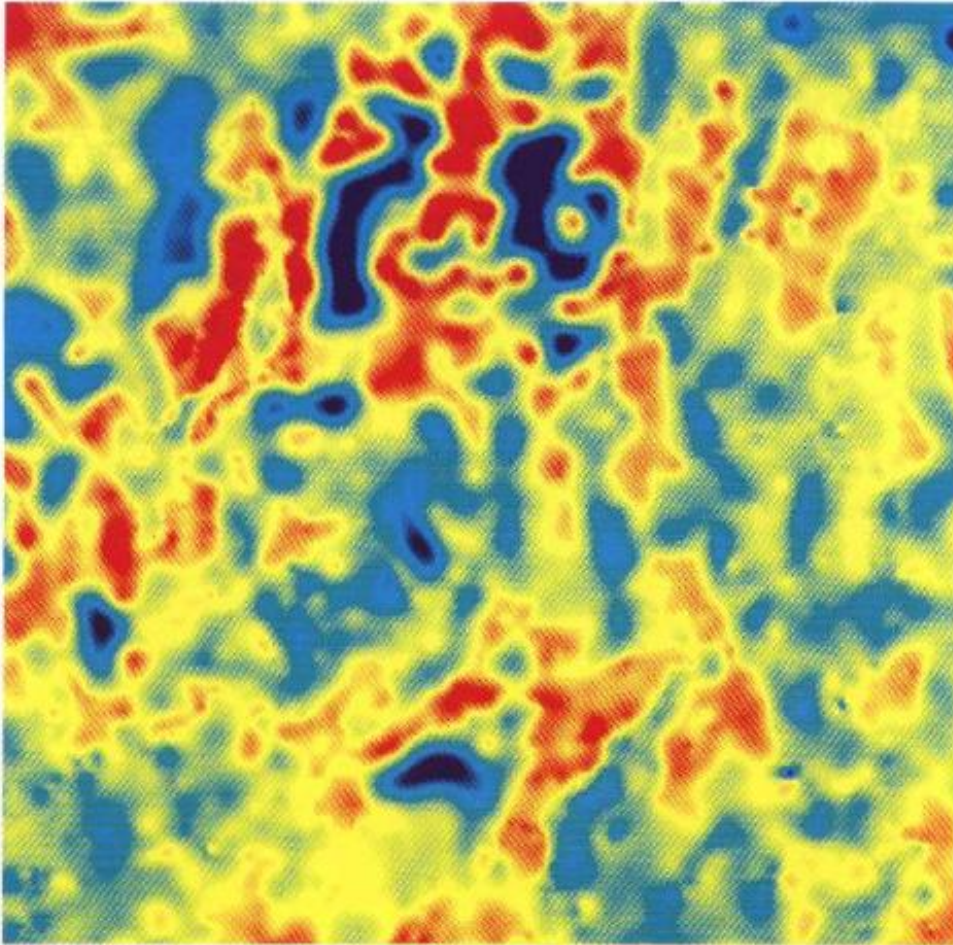
Gravedad Bouguer (Nevada)

Gravedad – Superficies de tendencia



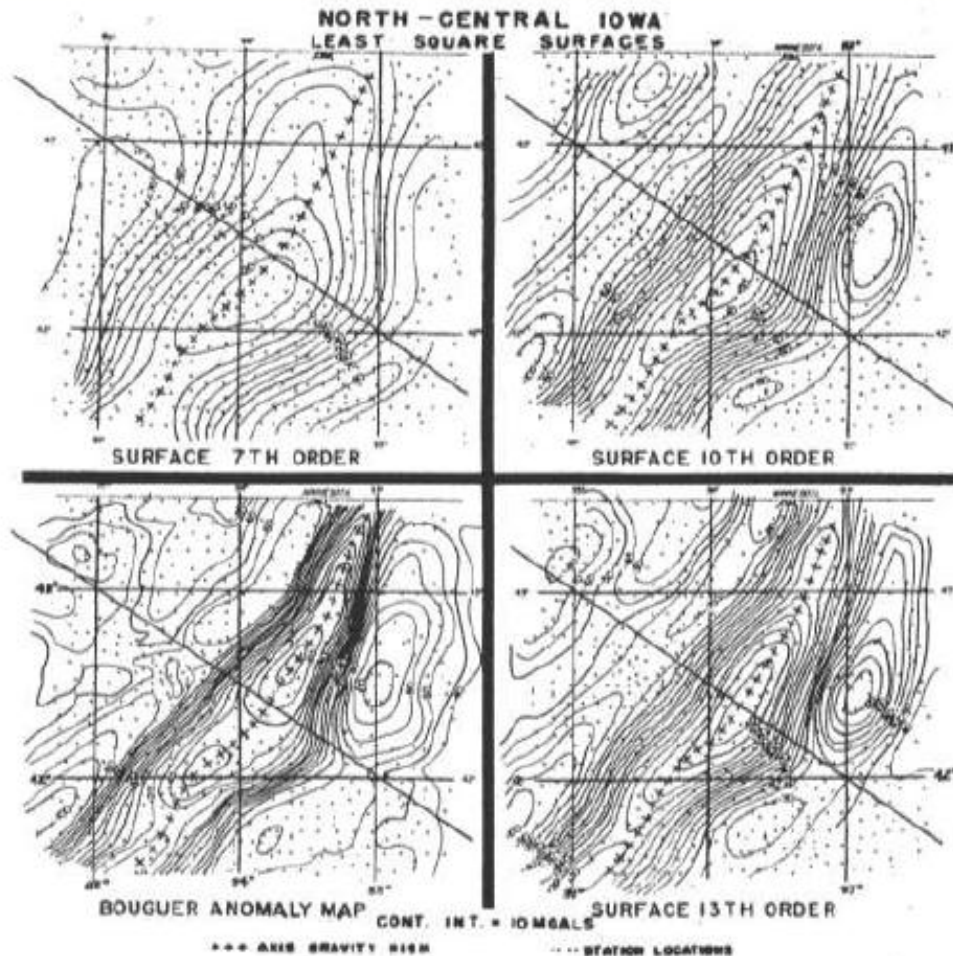
Superficie de tendencia de segundo grado (gravedad Bouguer)

Gravedad – Superficies de tendencia



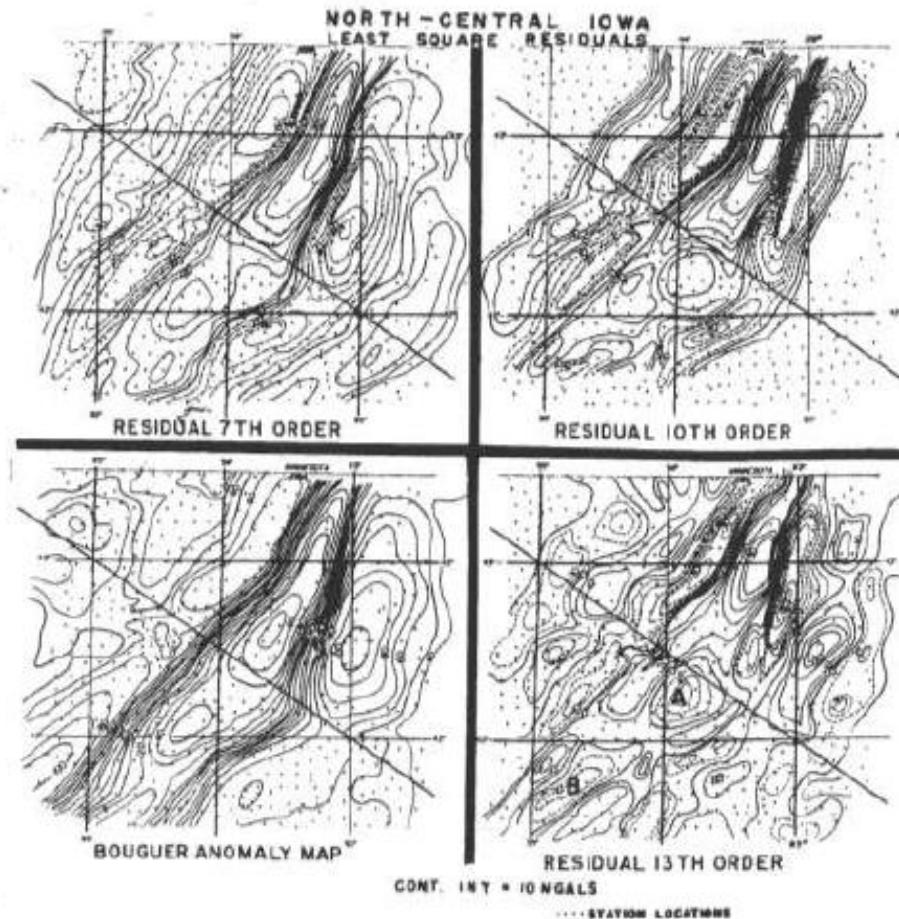
Plano de gravedad Bouguer residual de segundo grado

Gravedad – Superficies de tendencia



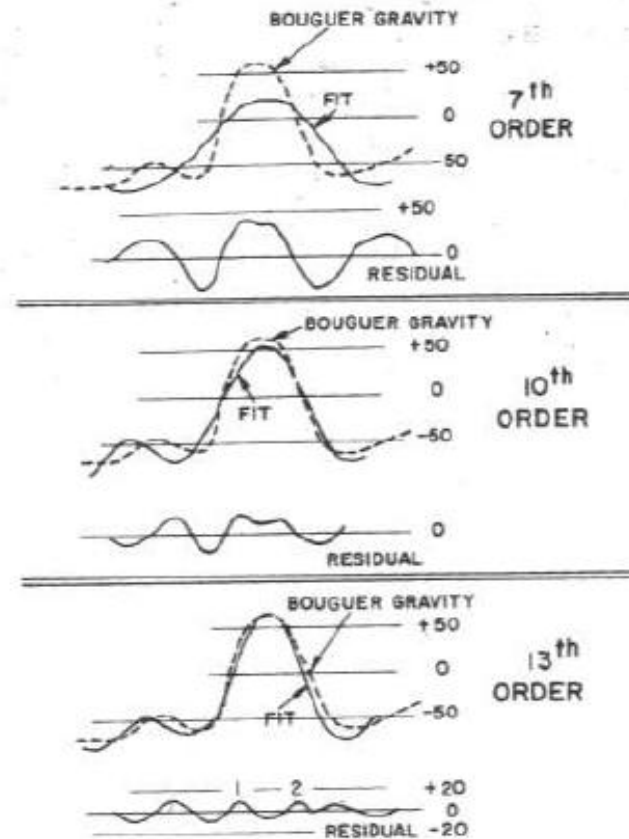
Ejemplo de ajuste de superficies por mínimos cuadrados, el plano de la esquina inferior izquierda es el de gravedad Bouguer. Los otros mapas son mapas de gravedades calculadas con ordenes de ajuste crecientes

Gravedad – Superficies de tendencia



Ejemplo de ajuste de superficies por mínimos cuadrados, el plano de la esquina inferior izquierda es el de gravedad Bouguer. Los otros mapas son residuales calculados substrayendo los mapas con ordenes de ajuste crecientes

Regional - Residual



Perfiles mostrando que a medida que crece el orden de la superficie de ajuste, éstas se aproximan más a la curva medida y los residuales son menores

ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

Filtrado

FILTROS DE LONGITUD DE ONDA

El espectro de longitudes de ondas que nos vamos a encontrar será **función del tamaño de las fuentes** que provocan el campo. **Los objetos poco profundos y de menor entidad presentaran longitudes de onda menores** que los objetos o estructuras regionales localizadas a grandes profundidades. **Los filtros de longitudes de onda pueden ser utilizados en aras de enfatizar las anomalías provenientes de fuentes locales** a expensas de la regional o viceversa. Hay que tener en cuenta que los errores inherentes a los datos, tales como los provenientes de las correcciones de terreno, pueden provocar un aumento del ruido en las longitudes de onda corta. La eliminación de este ruido se lleva acabo mediante un filtrado de las longitudes de onda corta.

FILTROS DE LONGITUD DE ONDA

La selección de filtro se realizará en función de la longitud de onda (o el número de onda) que se quiere que permanezca enfatizada.

P.e.: si las longitudes de onda λ_x , menores que un valor específico, λ_s , se consideran irrelevantes en nuestro campo f_1 , se puede diseñar un filtro F_2 de tal forma que todas las longitudes de onda λ_x (o los números de onda mayores a $2\pi/\lambda_s$) mayores que λ_s son pasadas sin modificación.

FILTROS DE LONGITUD DE ONDA

$$F_2(k_x, k_y) = \begin{cases} 0 & \text{si } k > (2\pi / \lambda_s) \\ 1 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Si $\lambda_x > \lambda_s$ pasa. **Filtros de paso bajo.**
Atenúa las altas frecuencias

$$F_2(k_x, k_y) = \begin{cases} 0 & \text{si } k < (2\pi / \lambda_s) \\ 1 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Si $\lambda_x < \lambda_s$ pasa. **Filtros de paso alto.**
Elimina las bajas frecuencias

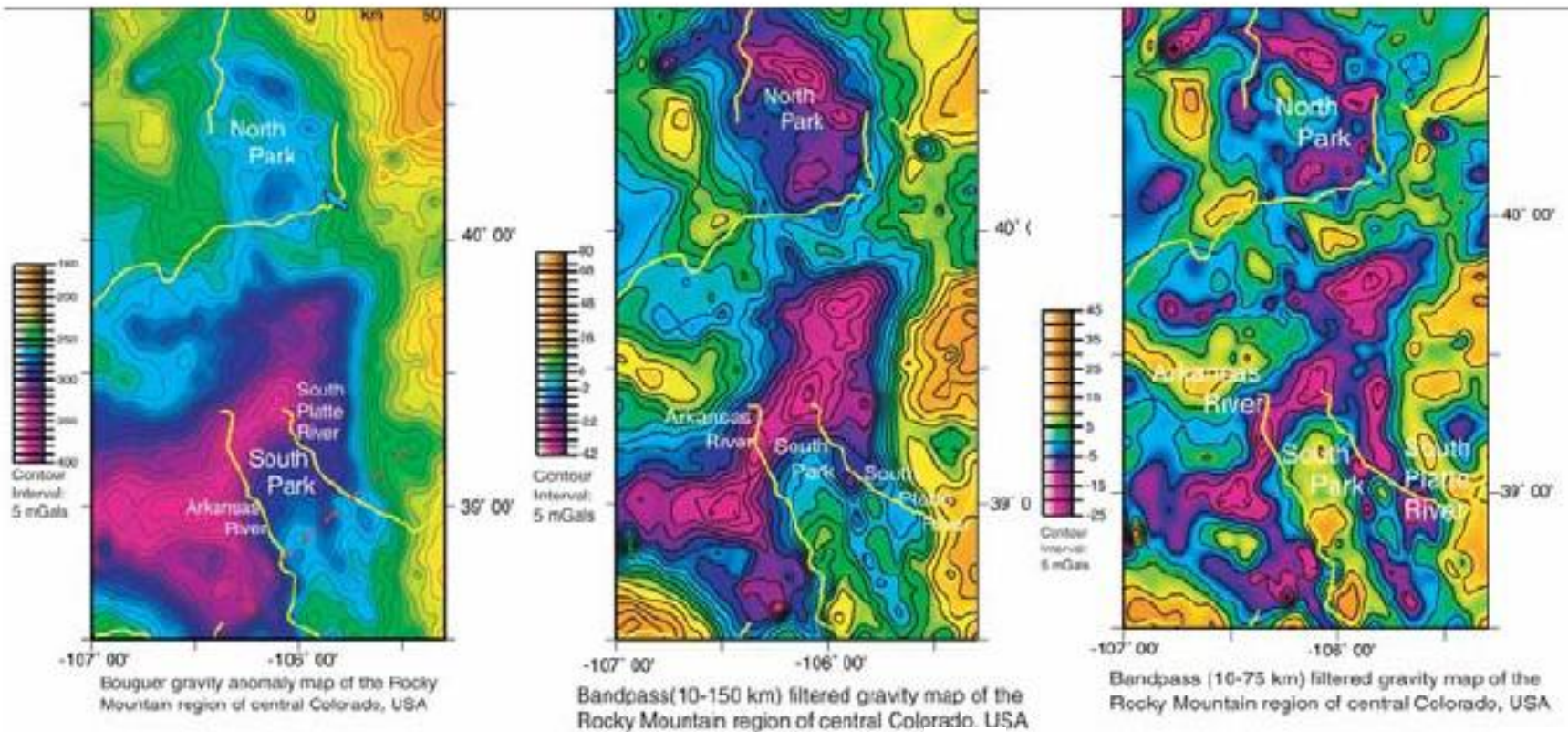
$$F_2(k_x, k_y) = \begin{cases} 0 & \text{si } (2\pi / \lambda_1) < k < (2\pi / \lambda_2) \\ 1 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

Si $\lambda_1 < \lambda_x < \lambda_2$ pasa.
Filtros de paso de banda

Una adecuada selección de los filtros puede ser muy efectiva para el realce de las anomalías de interés.

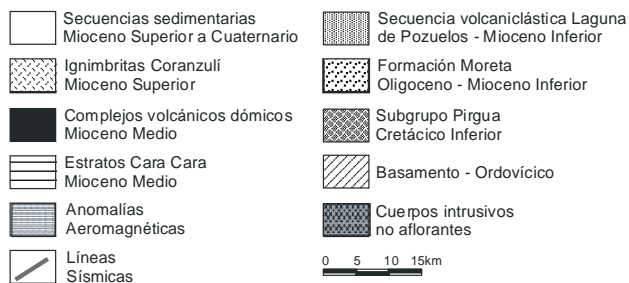
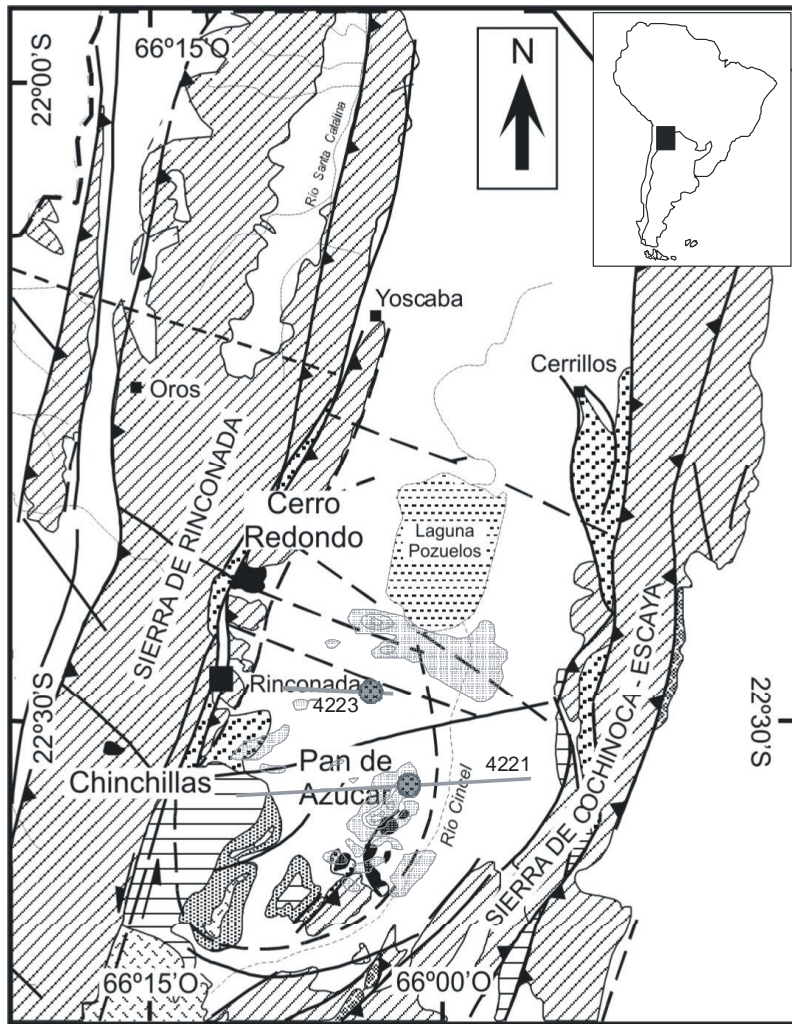
Filtrados

A través del filtrado de anomalías de gran longitud de onda asociadas a rasgos profundos aislamos anomalías referentes a la corteza superior



Anomalía de Bouguer anomalía filtrada por pasabajo anomalía filtrada por pasa alto

http://paces.geo.utep.edu/grav_database/grav_db_getstart.shtml



La interpretación previa de líneas sísmicas de reflexión ubicadas al norte de Pan de Azúcar permitió inferir la existencia de cuerpos intrusivos soterrados.

La existencia de uno de dichos cuerpos fue confirmada a partir de un relevamiento magnetométrico terrestre y el correspondiente modelado en 3D.

Prezzi et al. 2010

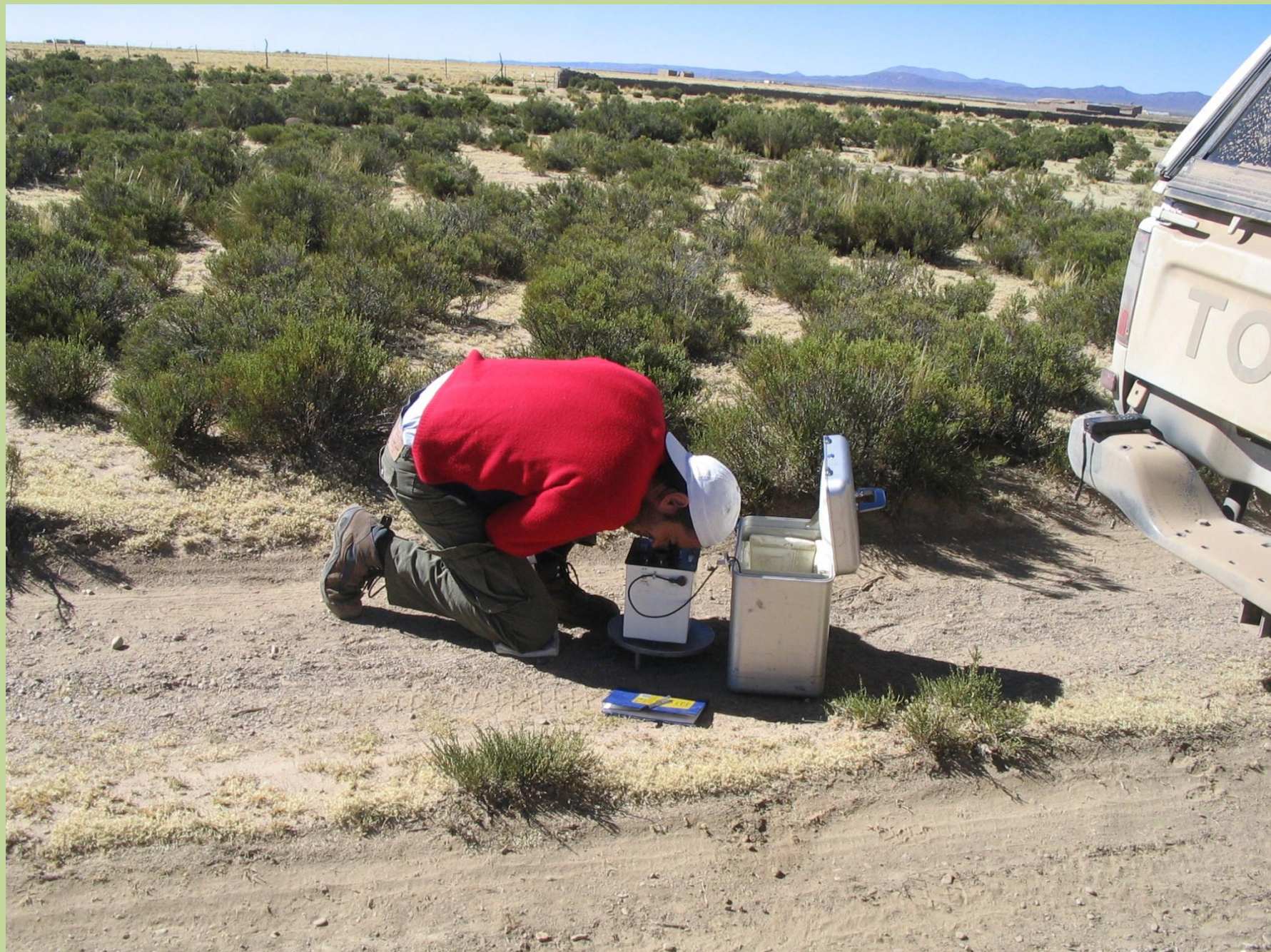


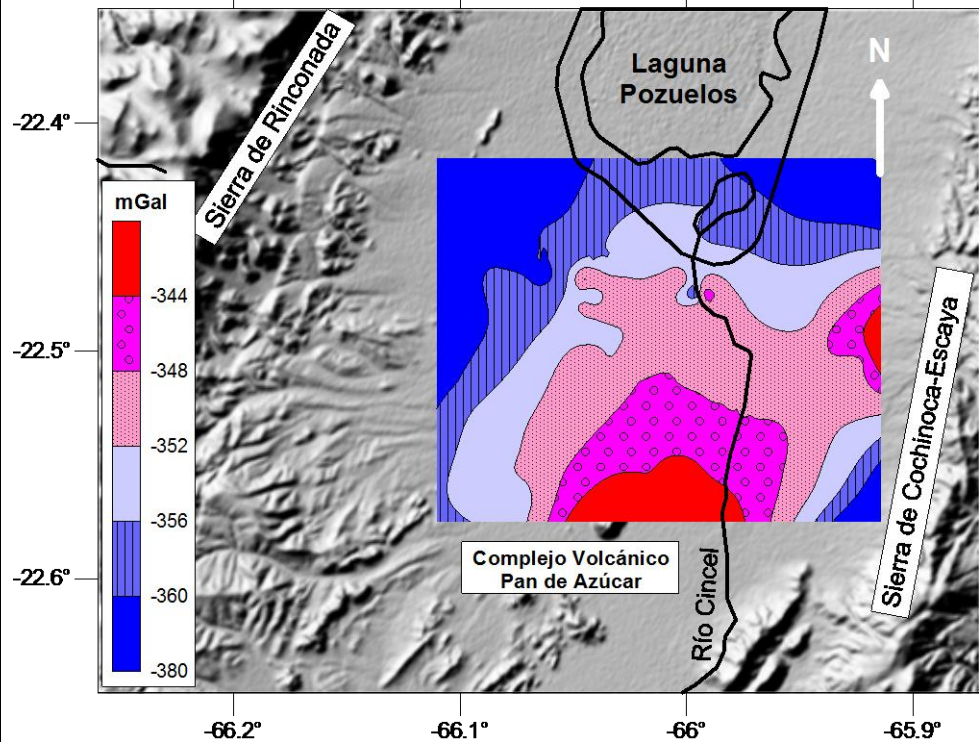
Río Cincel – Sierra de Rinconada



Laguna Pozuelos 3700 m



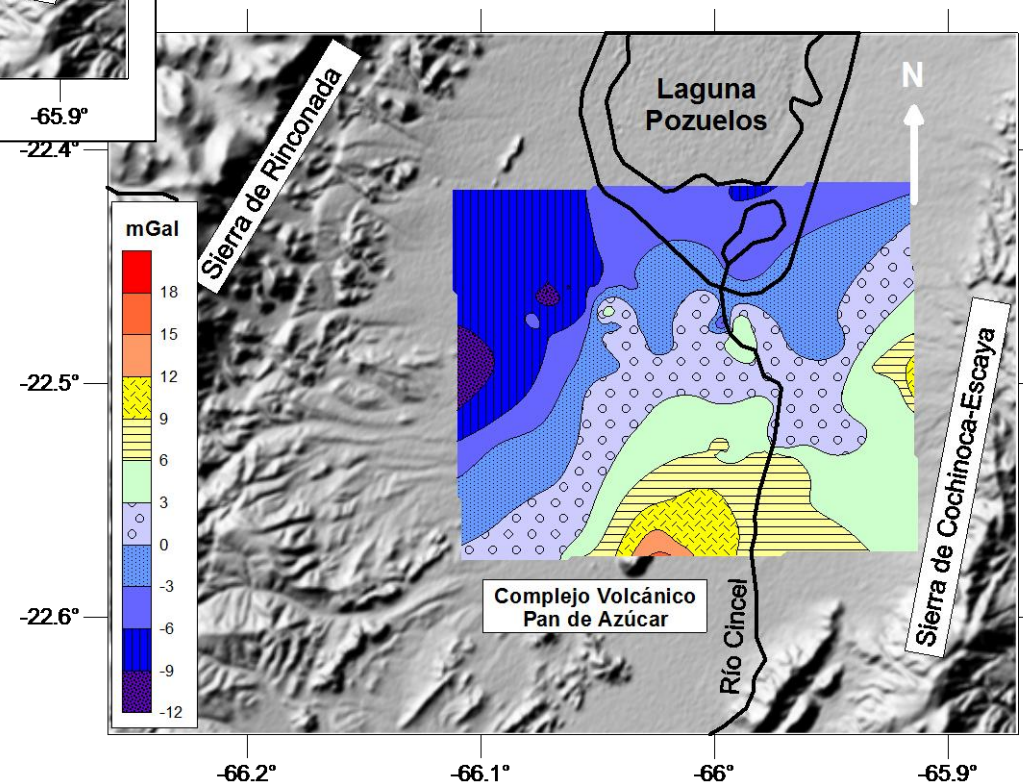




Anomalía de Bouguer completa

**Anomalía residual de Bouguer
(filtro pasa altos)**

Prezzi et al. 2010



ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

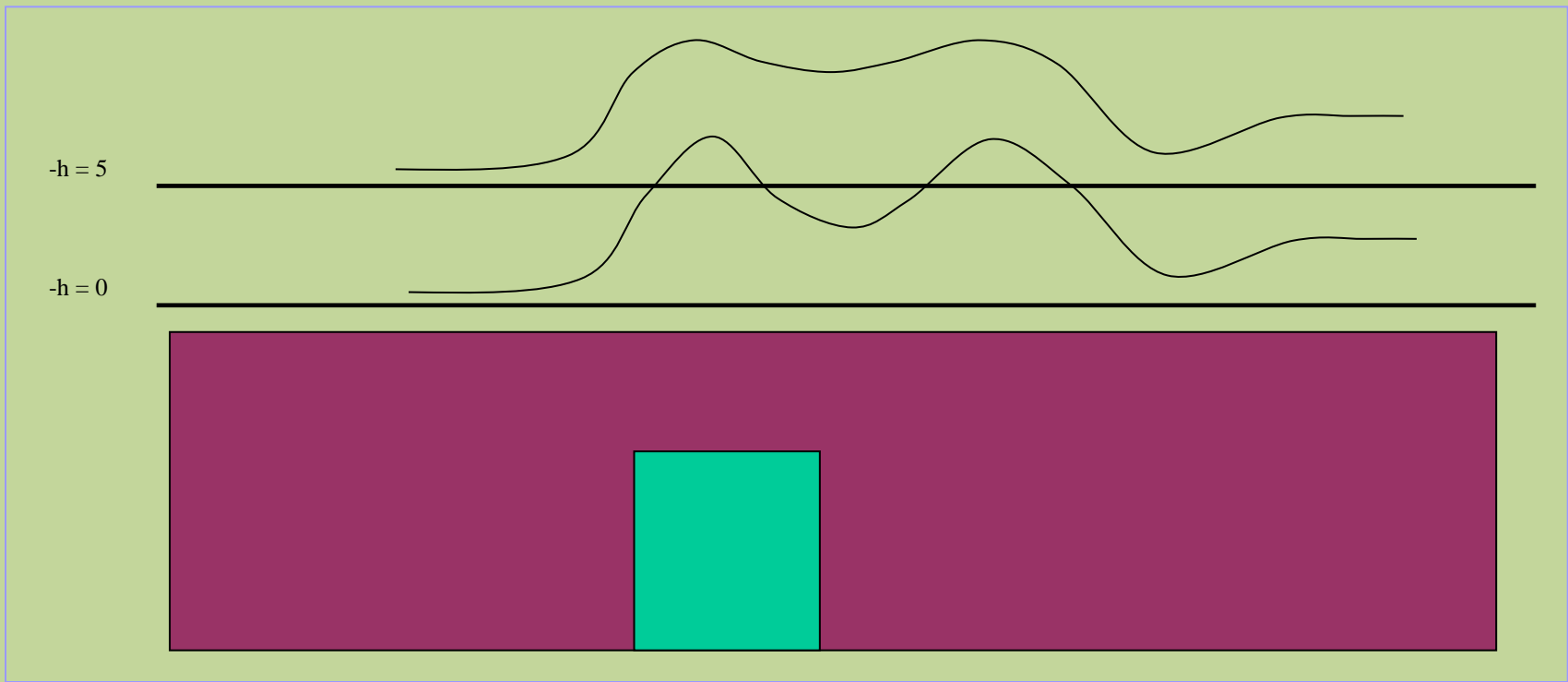
Continuación Analítica

- Continuación analítica ascendente

Funciona como un *low pass filter*. Se simula un mapa como si el relevamiento de datos se hubiera hecho a más altura por encima del terreno. De esta manera se minimizan los efectos de las fuentes superficiales

FILTROS DE CONTINUACIÓN

Mediante una integral de superficie se puede extrapolar el valor que tendría un campo potencial a un determinado nivel diferente al observado o considerado.



FILTROS DE CONTINUACIÓN

El caso más simple que se puede plantear es aquel donde nos encontramos una fuente con una sección regular que provoca una anomalía de forma sinusoidal. Esta anomalía puede ser extrapolada a cualquier nivel mediante la ecuación

$$A(x, -h) = (A_0 \operatorname{sen} kx) e^{-kh}$$

Siendo: A_0 la amplitud de la anomalía medida en la superficie ($h=0$) y $k=(2\pi/\lambda)$ el número de onda de la anomalía con una longitud de onda λ , siendo x la distancia en la dirección del perfil.

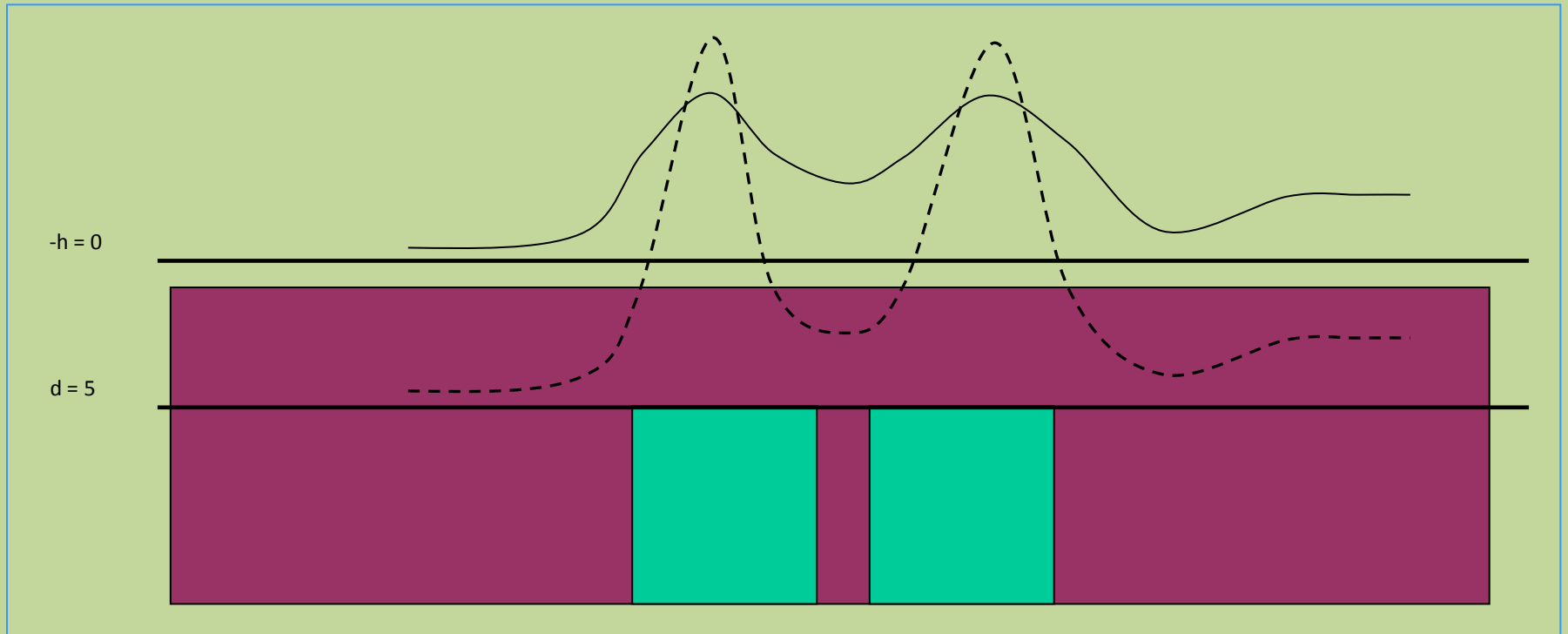
FILTROS DE CONTINUACIÓN

Proyectando las anomalías observadas a un nivel inferior o superior logramos obtener el mismo efecto que un filtro. La **continuación a un nivel superior minimiza los efectos de las longitudes de onda más cortas** (los números de onda más altos), que son aquellas asociadas a fuentes locales poco profundas. Esto la habilita como una técnica de suavizado, lo cual facilita la obtención de las anomalías provocadas por fuentes profundas.

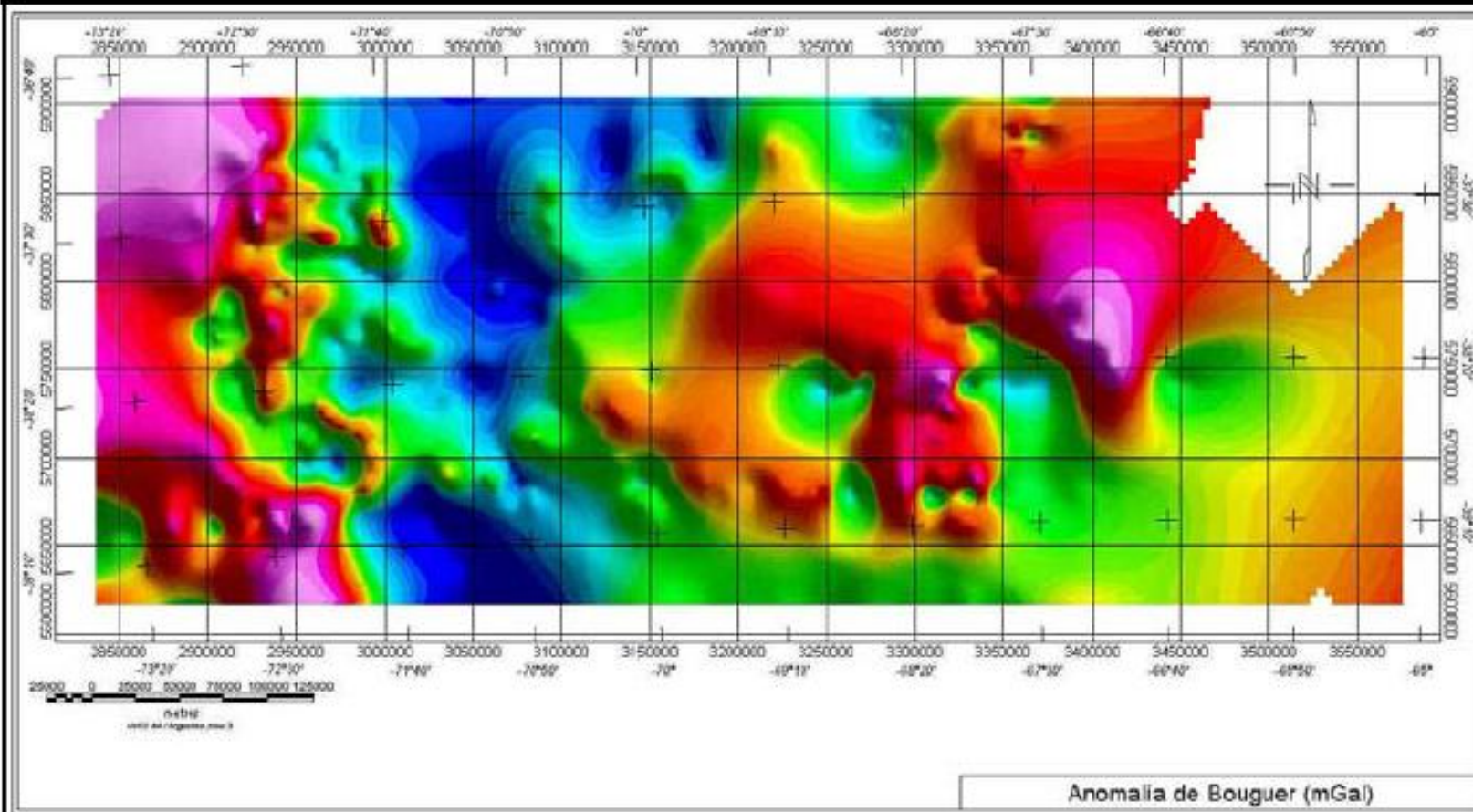
FILTROS DE CONTINUACIÓN

La proyección de las anomalías observadas a un nivel inferior tiene una aplicación particular y es la de resolver o discriminar el número de fuentes que provocan la anomalía y de esta forma desdoblar solapamientos. En el caso que el nivel de proyección sea mayor al de profundidad del objeto de más entidad nos encontraremos con un campo con fluctuaciones extremas. El nivel en el cual se empiezan a dar las fluctuaciones, podría en algunos casos indicarnos el nivel superior de la fuente; sin embargo esta práctica hay que llevarla a cabo con extrema precaución, ya que las frecuencias altas (ruido y errores) son amplificadas de forma exponencial.

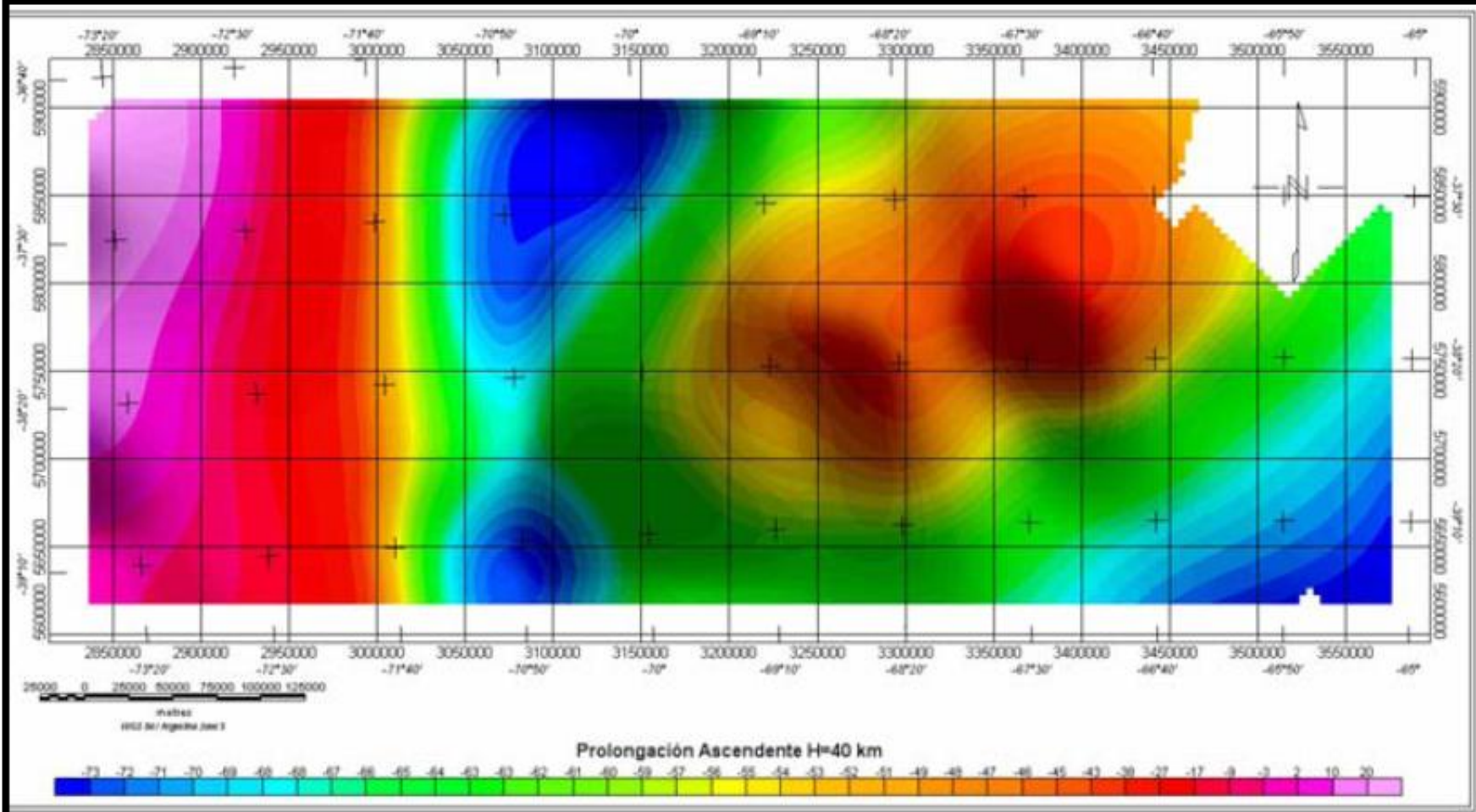
FILTROS DE CONTINUACIÓN

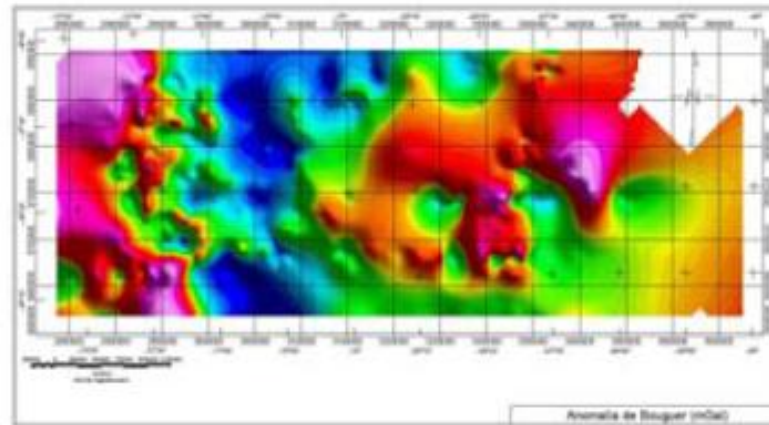


Anomalia de Bouguer de los Andes Neuquinos

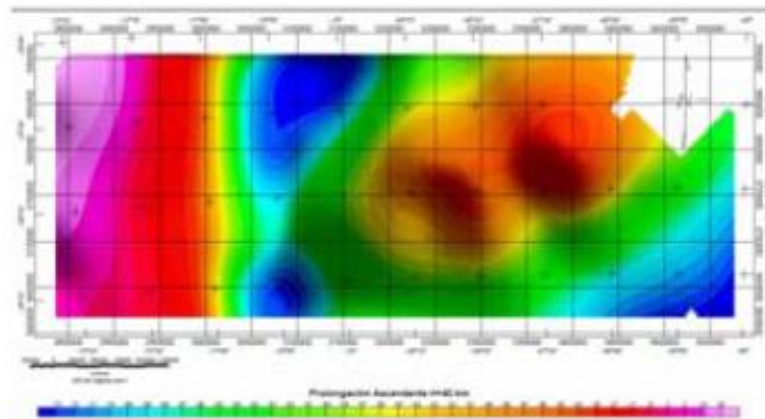


Separación de efectos gravimétricos. Continuación Analítica Ascendente (prolongación ascendente)

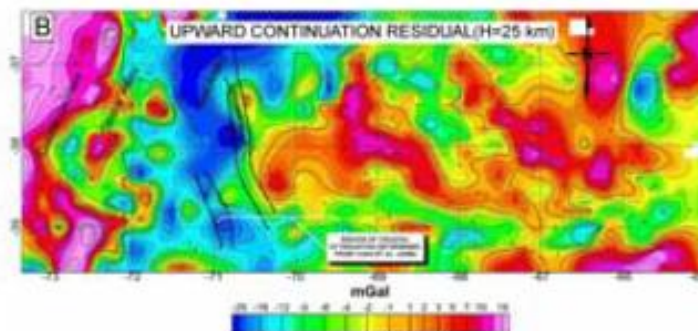




Anomalía de Bouguer

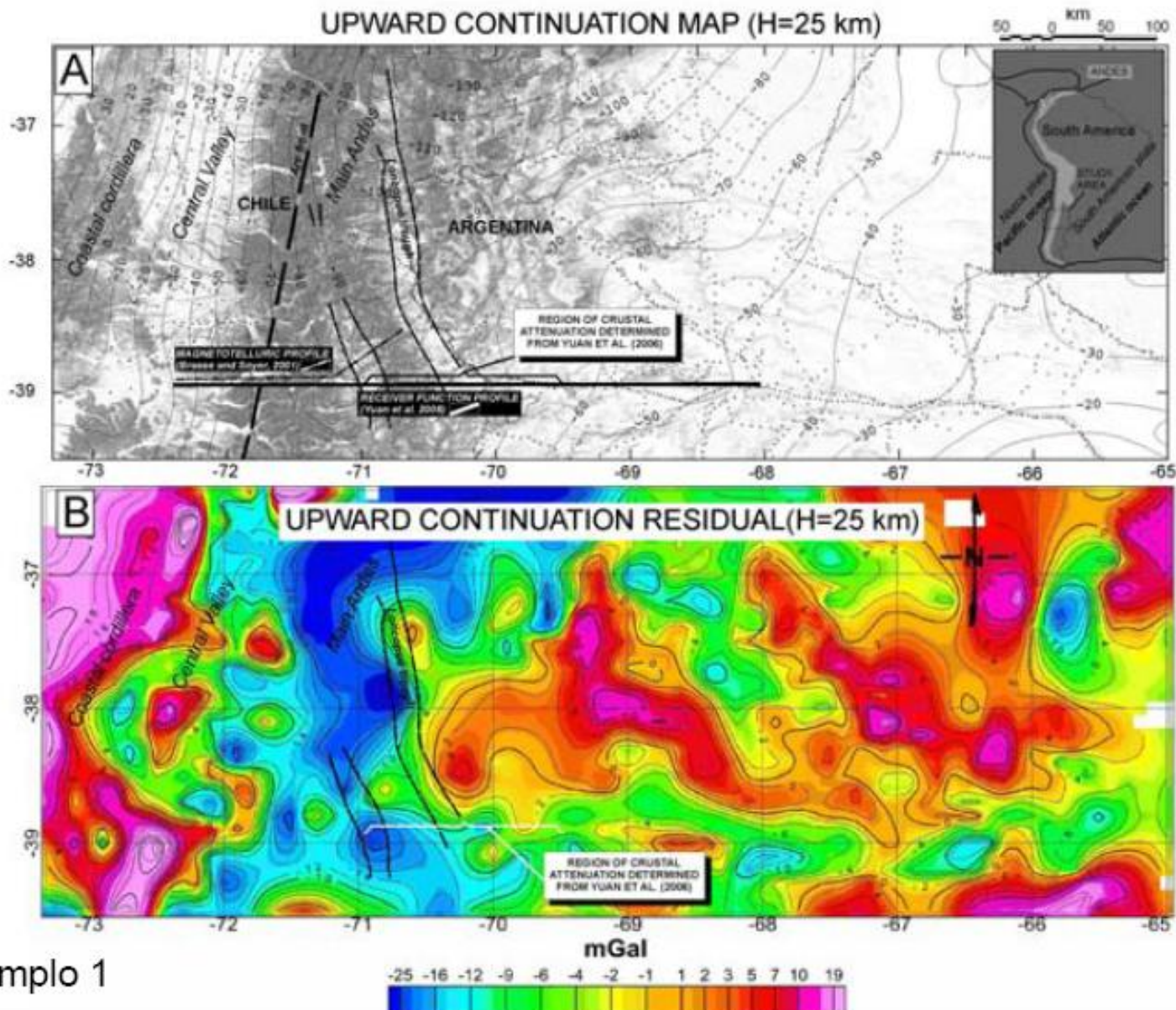


Continuación analítica
ascendente



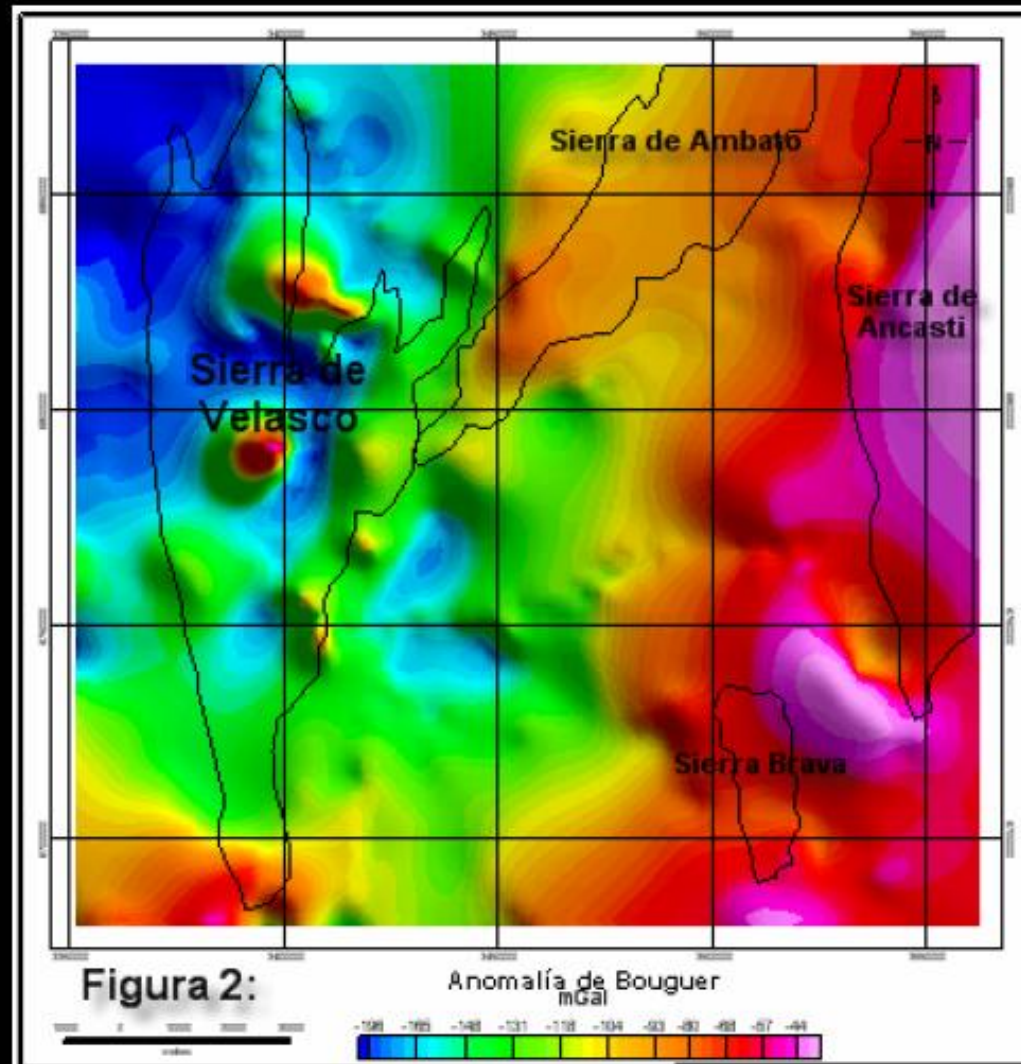
Residual gravimétrico

residual = anomalía de Bouguer – continuación analítica ascendente



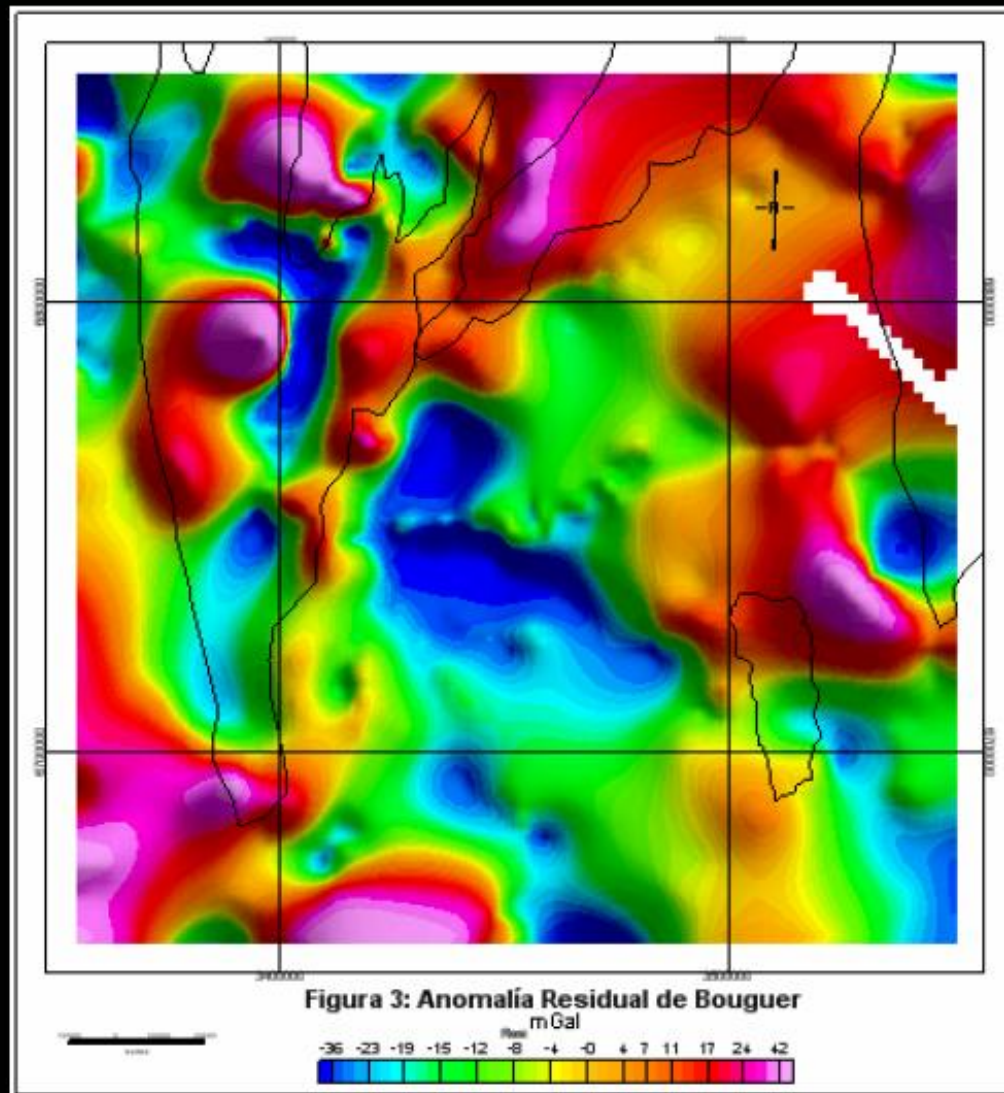
Ejemplo 1

La anomalía de Bouguer resulta de la superposición de efectos profundos (profundidad del Moho, etc) y efectos superficiales (profundidad del basamento, etc)



Ejemplo 2

Separación de efectos gravimétricos. Continuación Analítica Ascendente

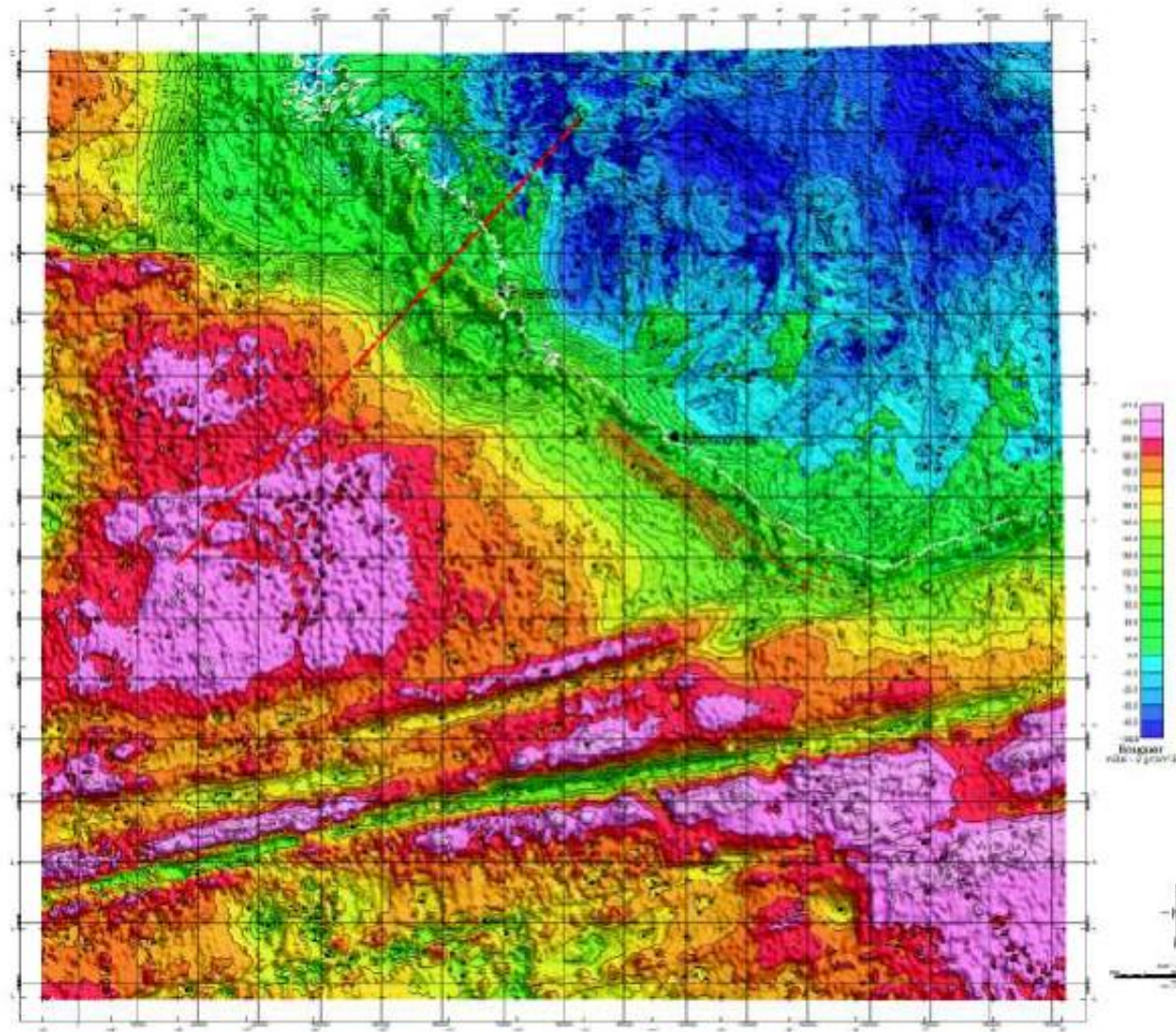


se puede apreciar la
carta de anomalía
Residual de Bouguer, la
cual fue calculada a
partir de descontar carta
prolongada a 30 km de
altura

Nos quedamos con
efectos superficiales

Ejemplo 2

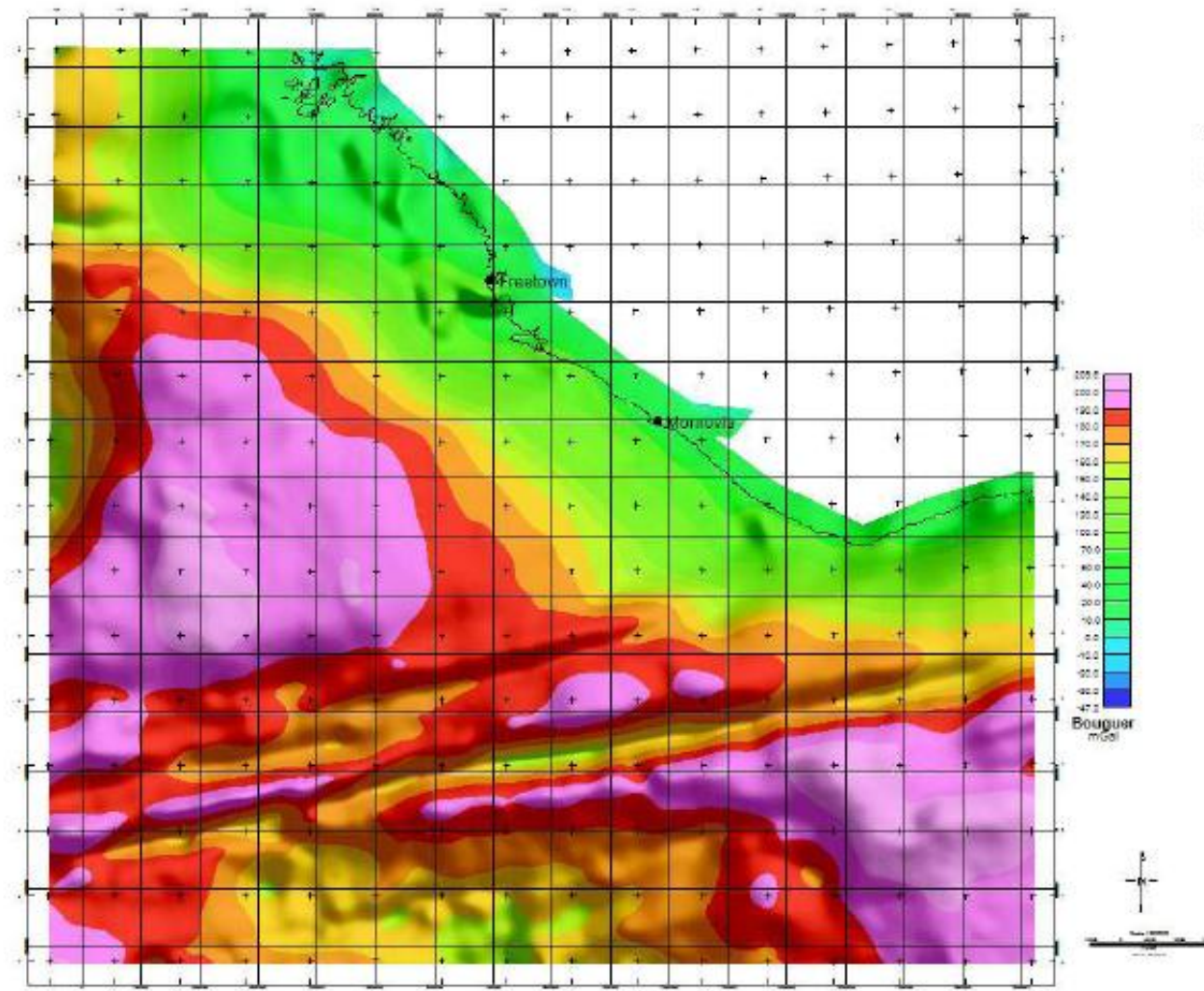
Bouguer Anomaly - Simple



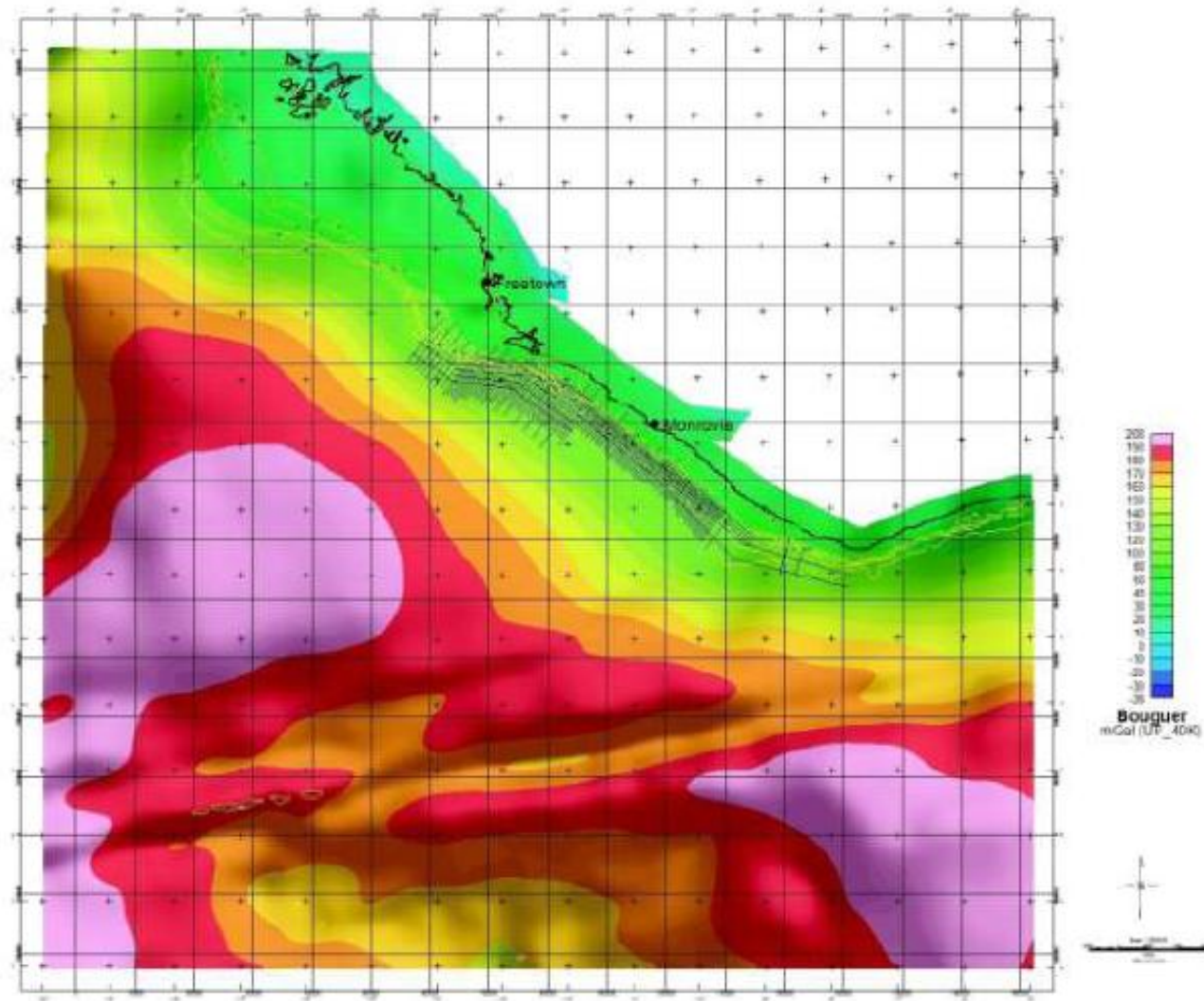
Density 2gr/cm^3

No topographic correction

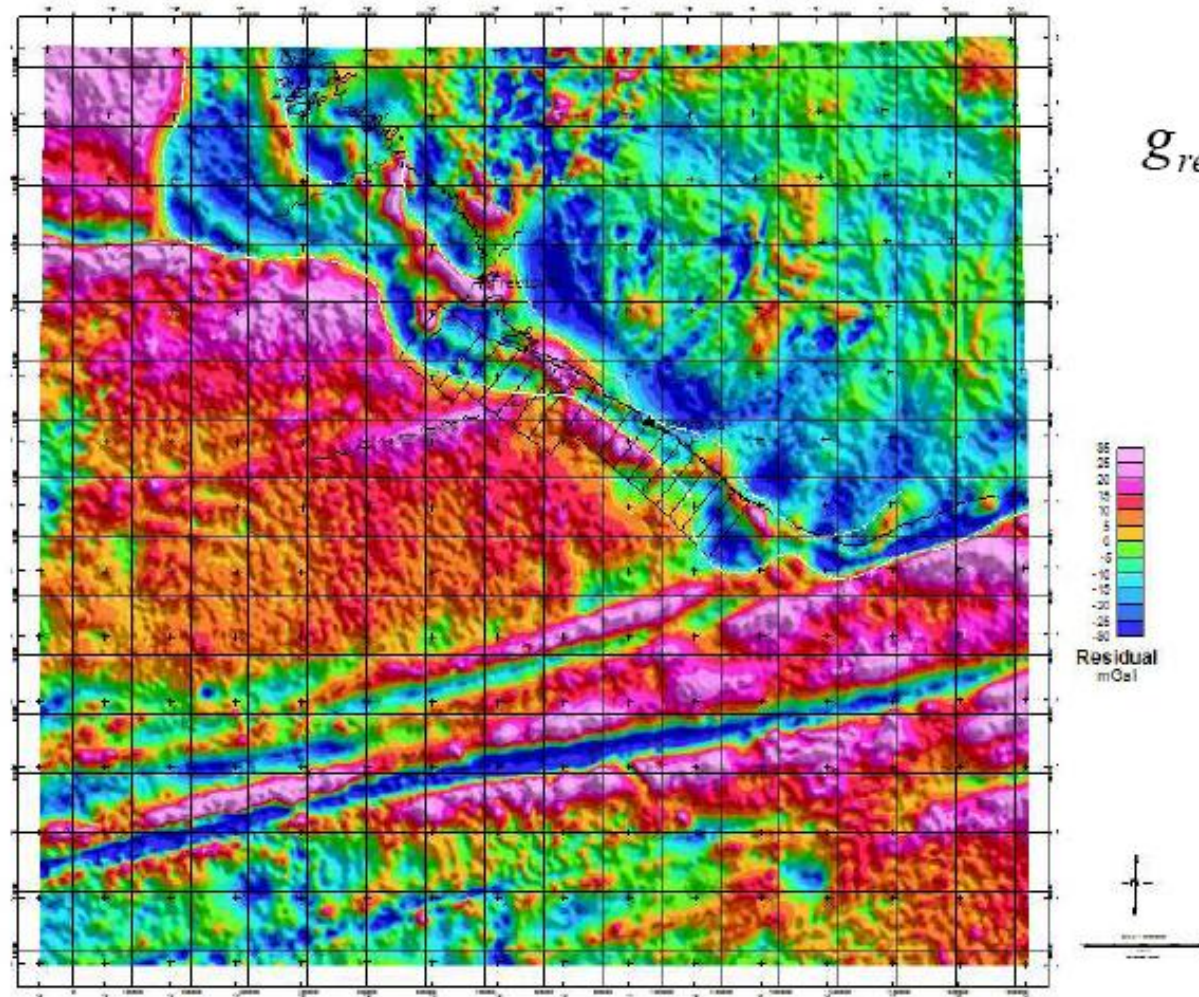
Bouguer gravity – merged – Upward Continued 20 km



Bouguer gravity – merged – Upward Continued 40 km



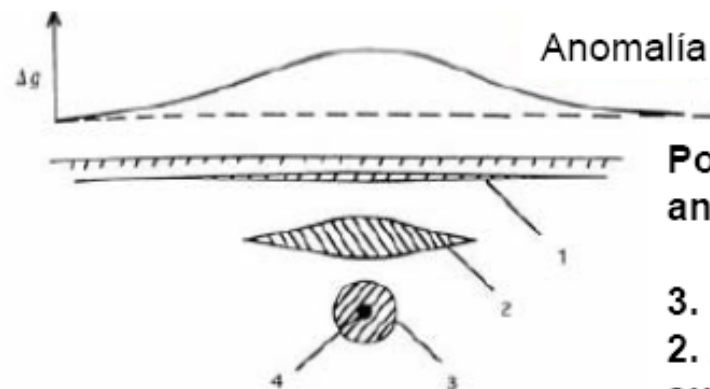
Bouguer – Upward continued 40 km - Residual



$$g_{res} = g_{Bouguer} - g_{up-continued}$$

La prolongación ascendente separa grandes longitudes de onda
No todas ellas son debidas a efectos profundos
Puede haberlas debidas a amplios cuerpos someros!!

Una anomalía gravimétrica observada puede ser explicada por una variedad de distribuciones de masa a diferentes profundidades (aun con igual densidad)



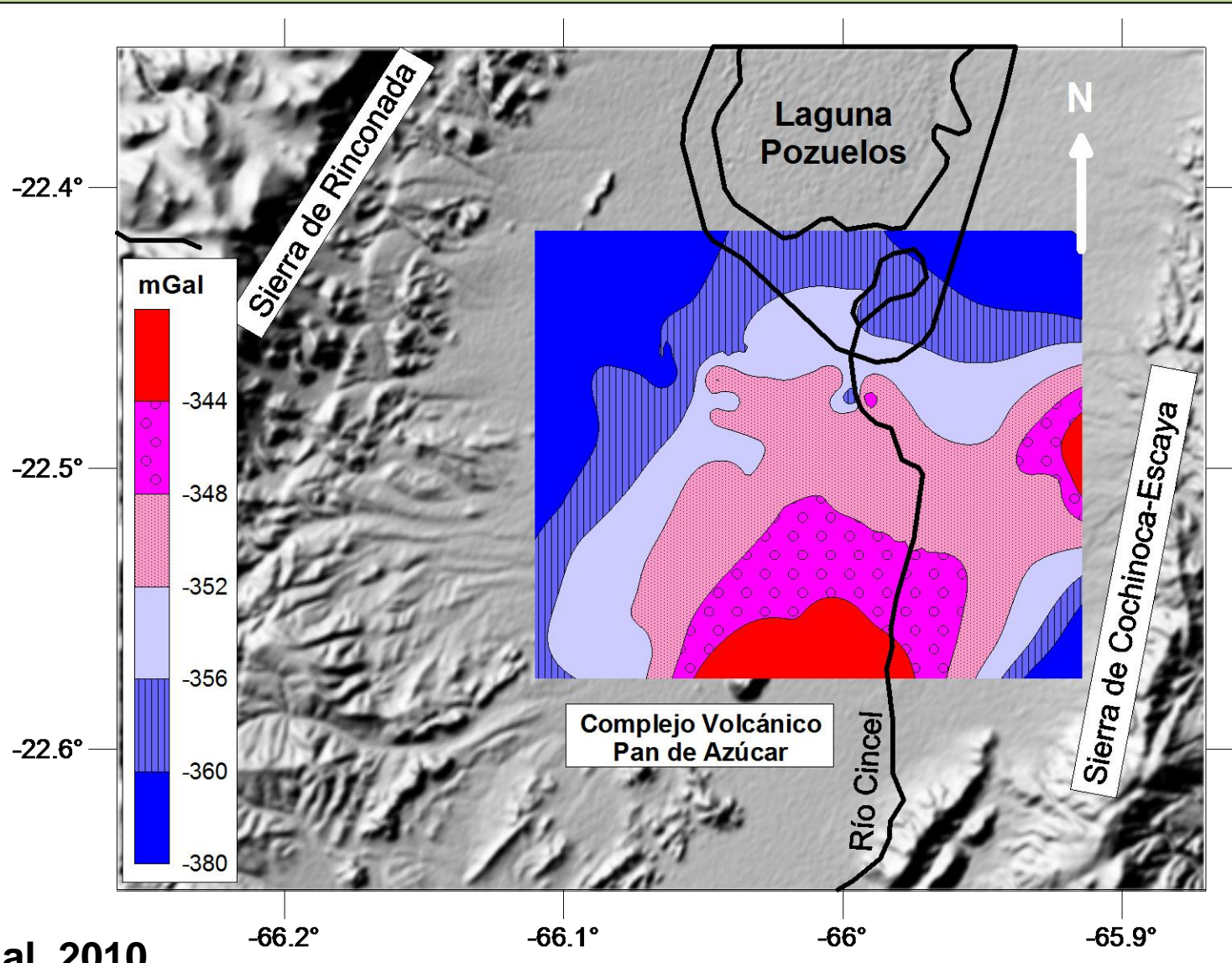
Posibles geometrías asociadas a la anomalía

- 3. Esfera profunda
- 2. Anomalía elongada más superficial
- 3. Anomalía aún más elongada y aún más somera

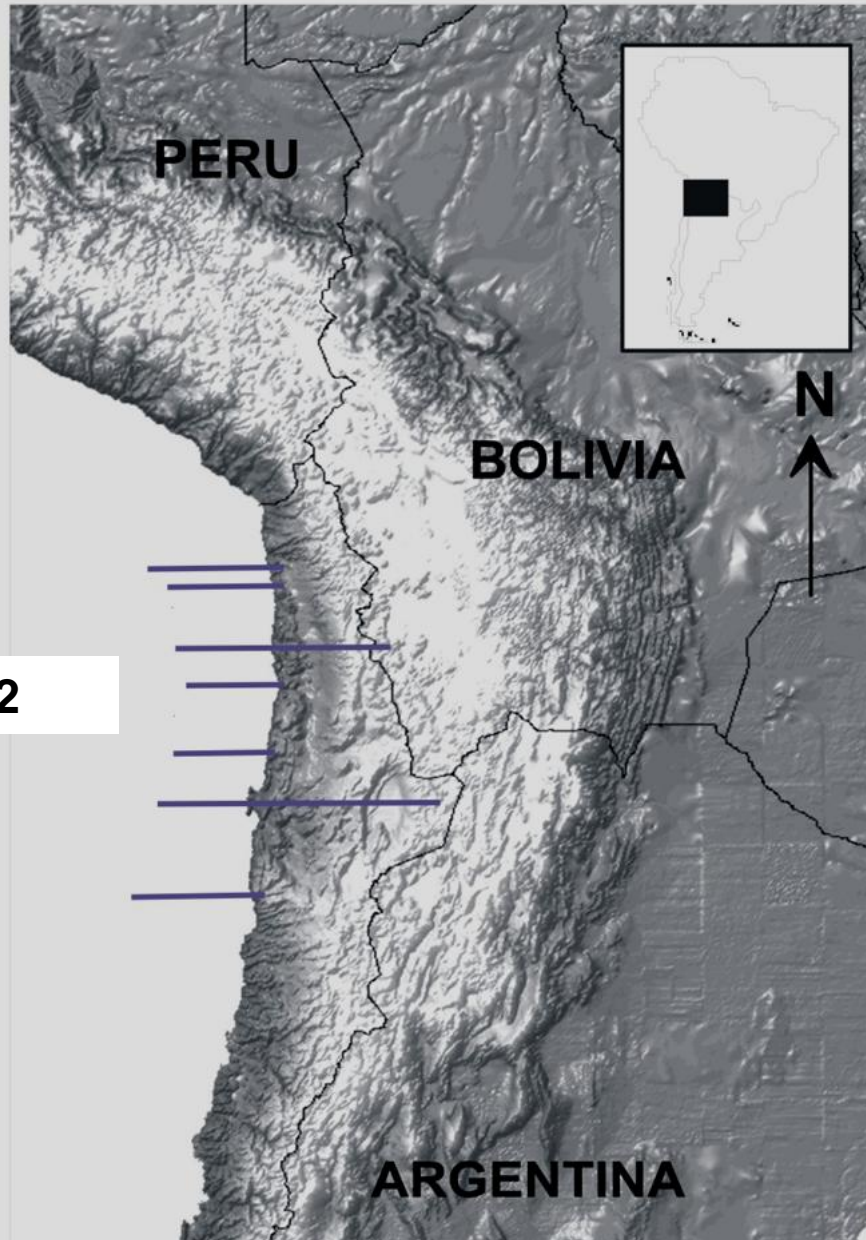
ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

Modelos isostáticos y de densidades

Anomalía de Bouguer completa

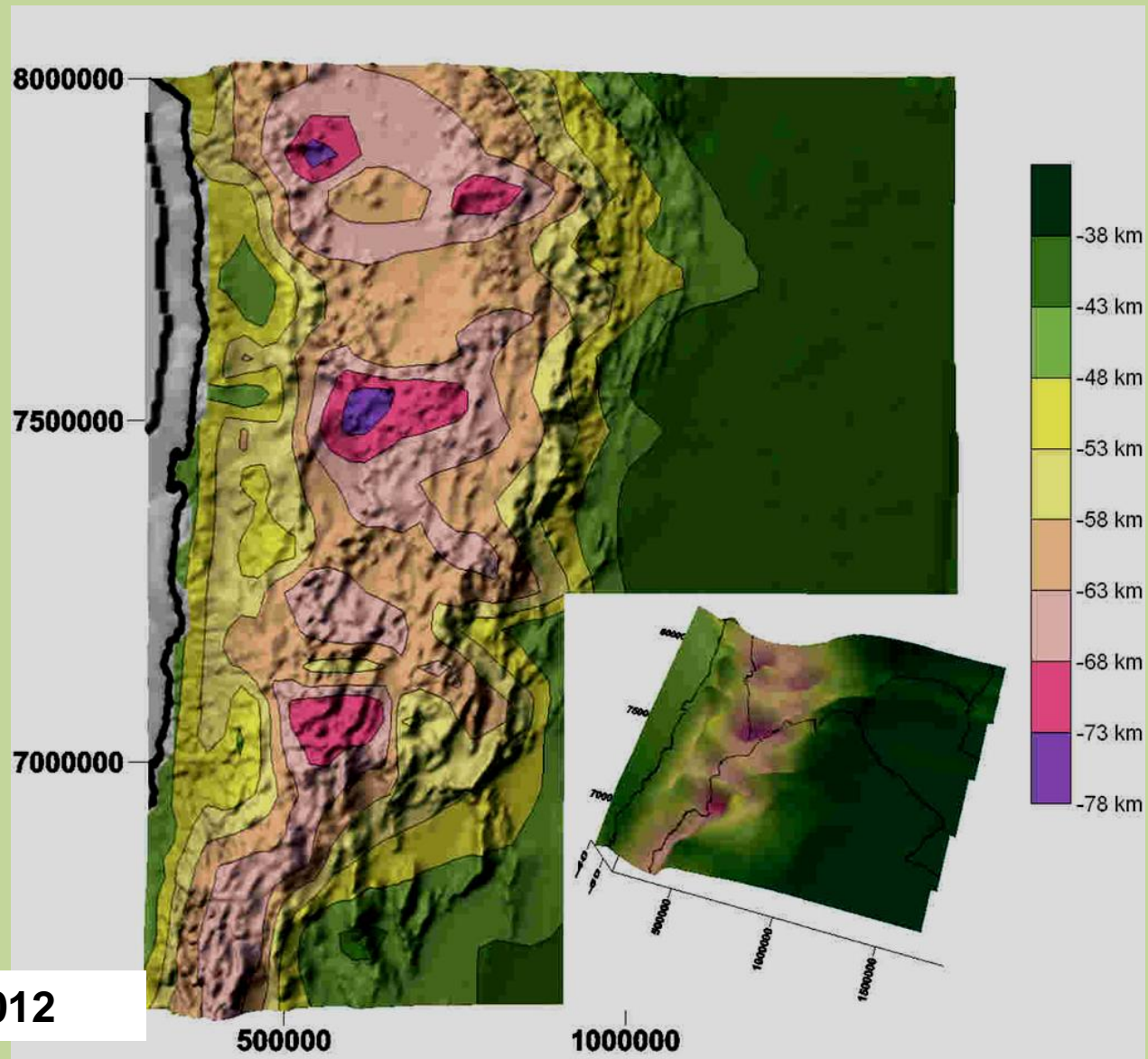


Topografía (DEM)



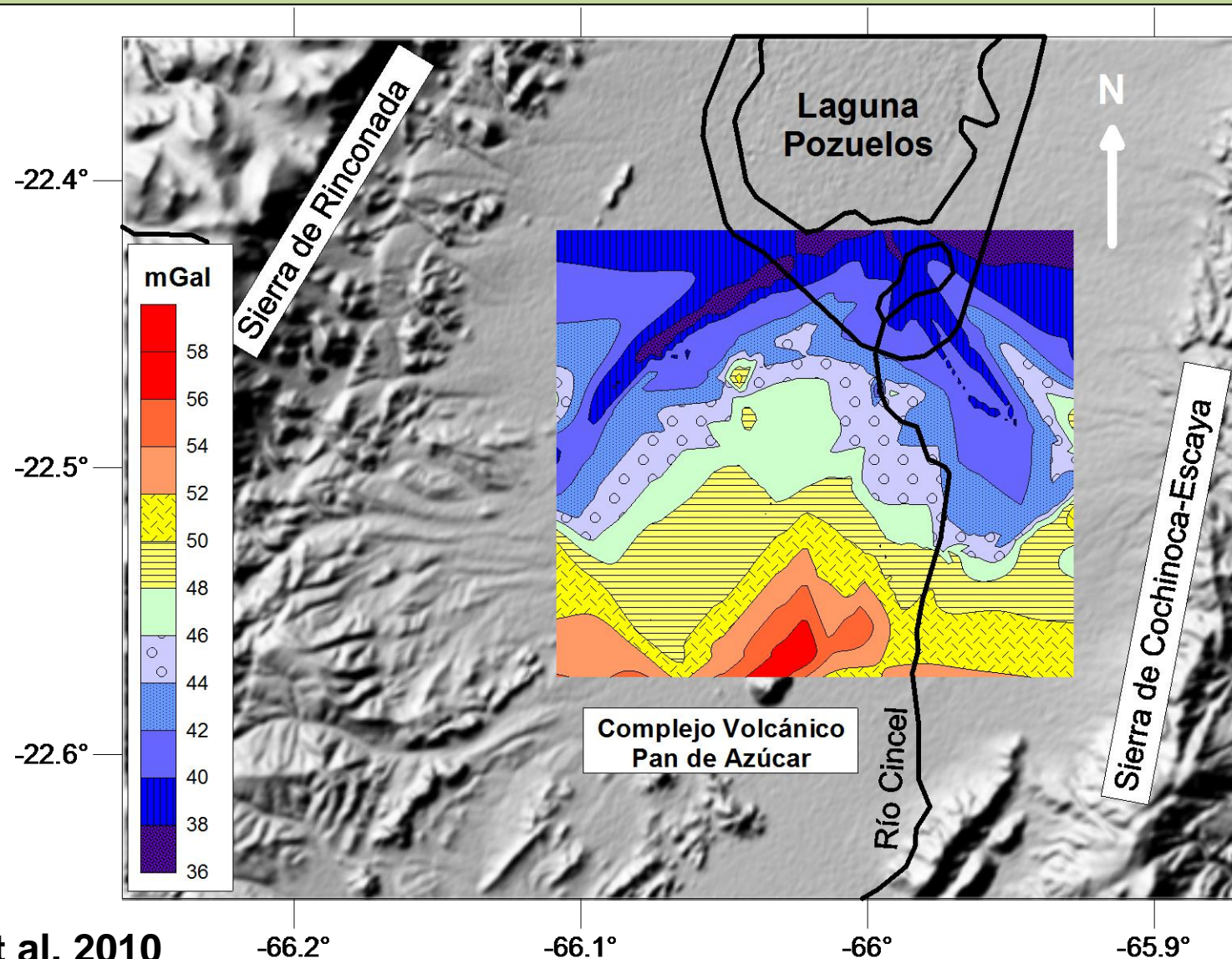
Prezzi et al. 2012

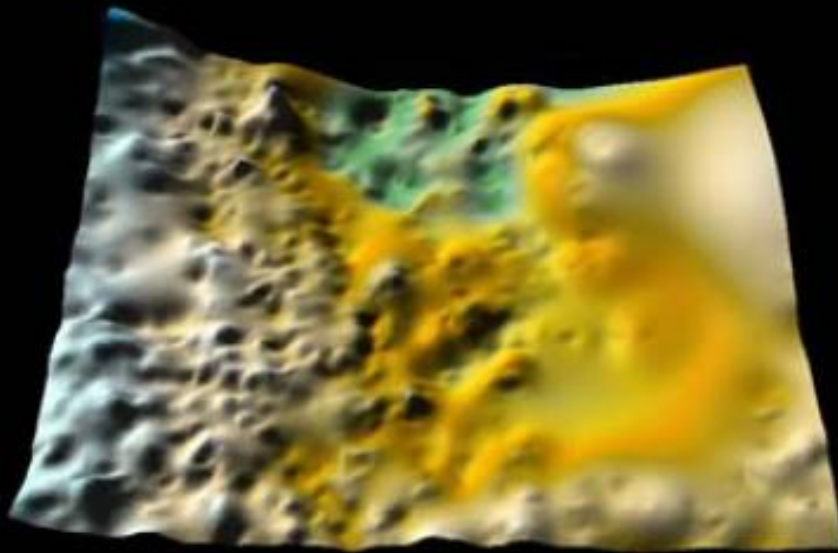
Moho Isostático (Airy)



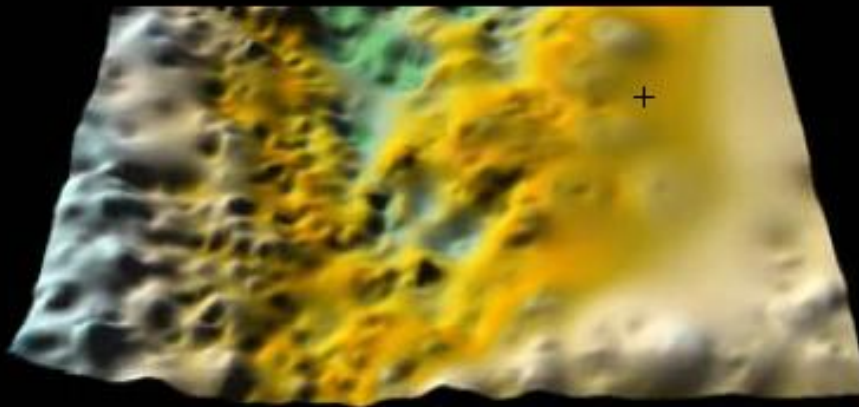
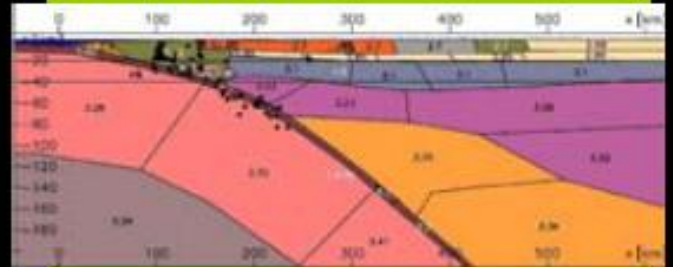
Prezzi et al. 2012

Anomalía residual isostática de Bouguer





Residual= Anomalía de Bouguer-efecto gravimétrico de la corteza inferior del modelo 3D

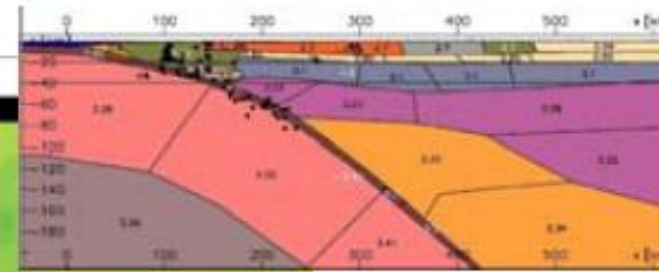
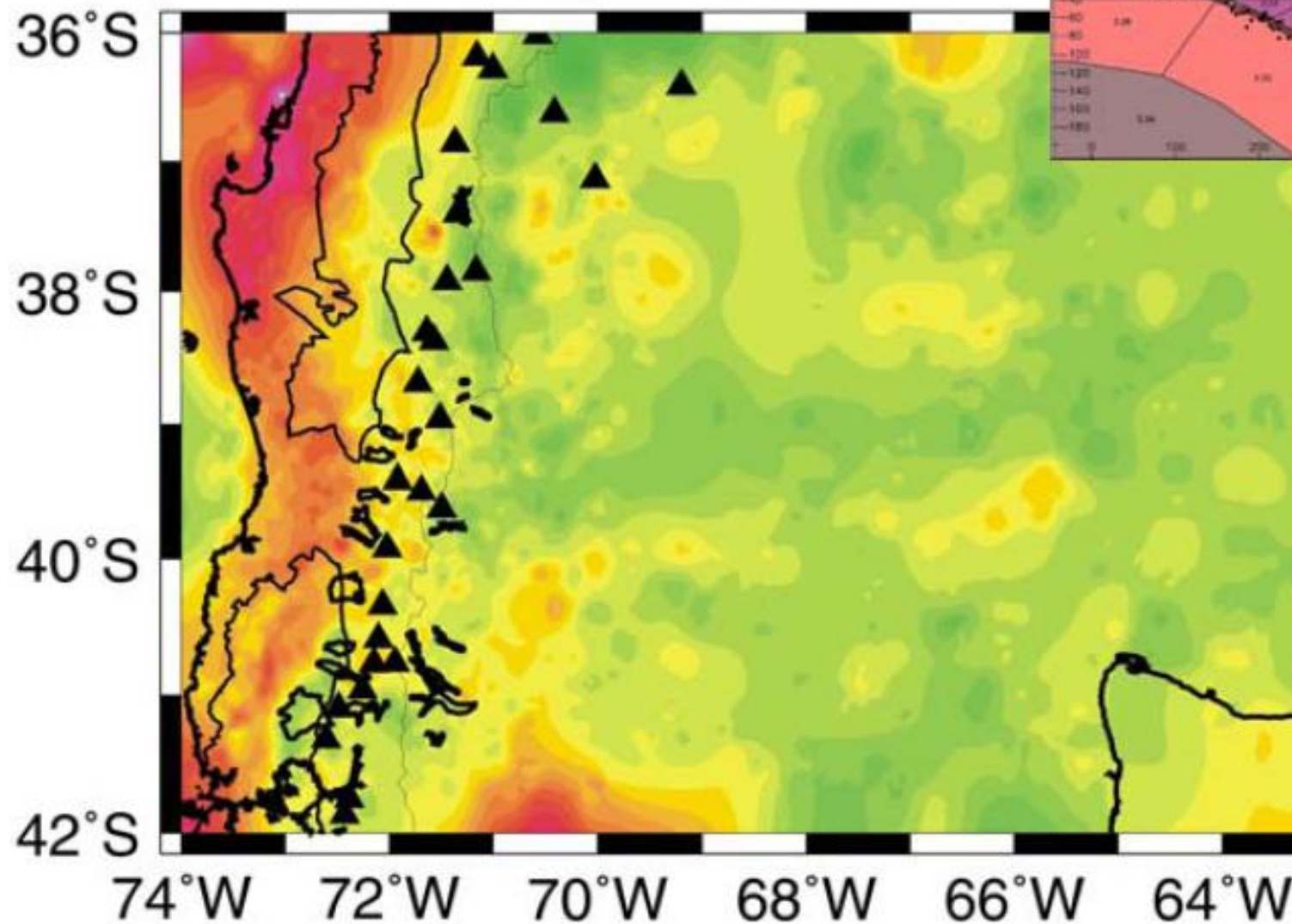


Anomalía de Bouguer



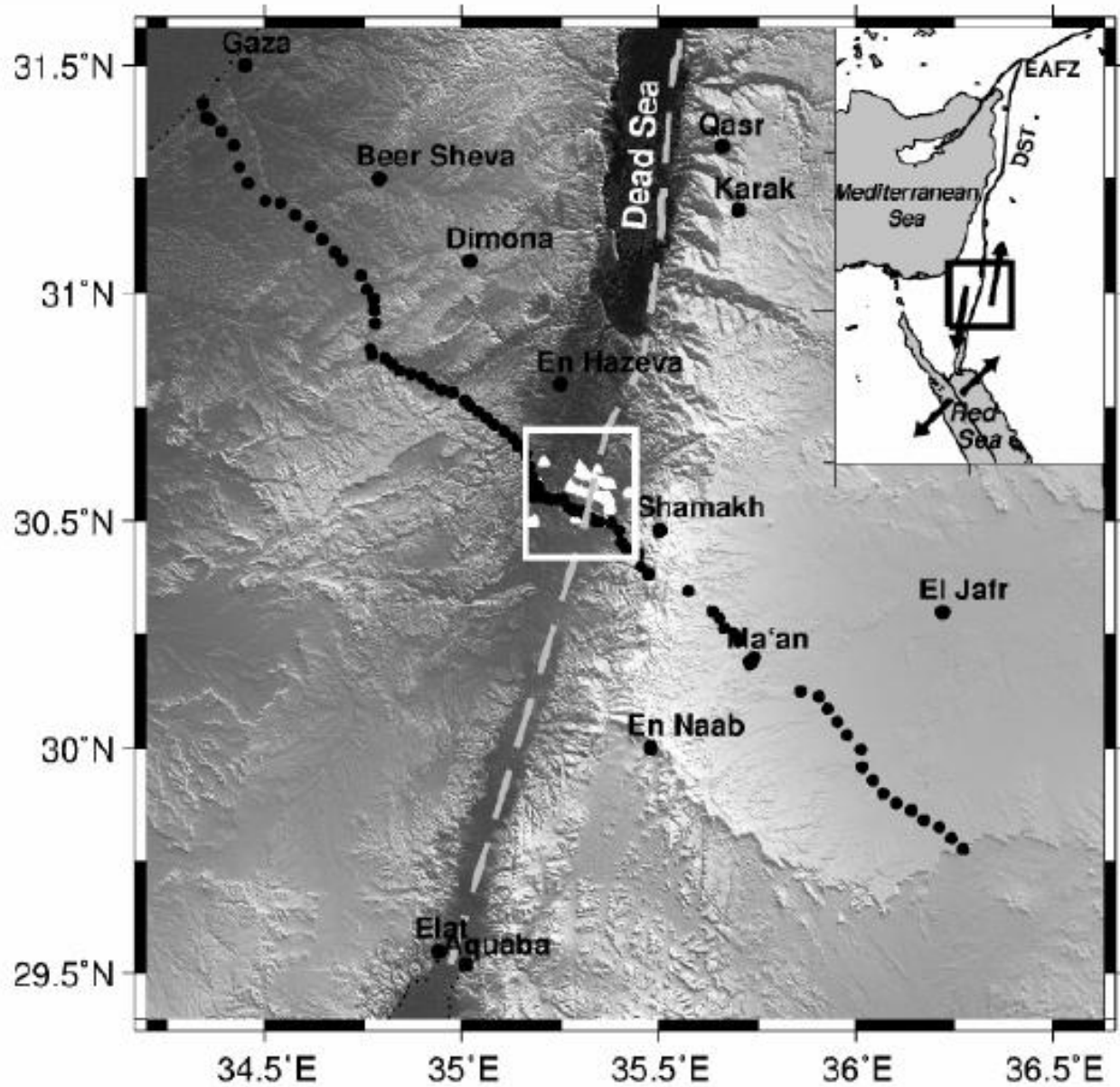
Efecto gravimétrico de la corteza inferior teórica correspondiente a un modelo de densidad 3D

**residual = Anomalía de Bouguer-efecto gravimétrico de la corteza inferior
del modelo 3D**

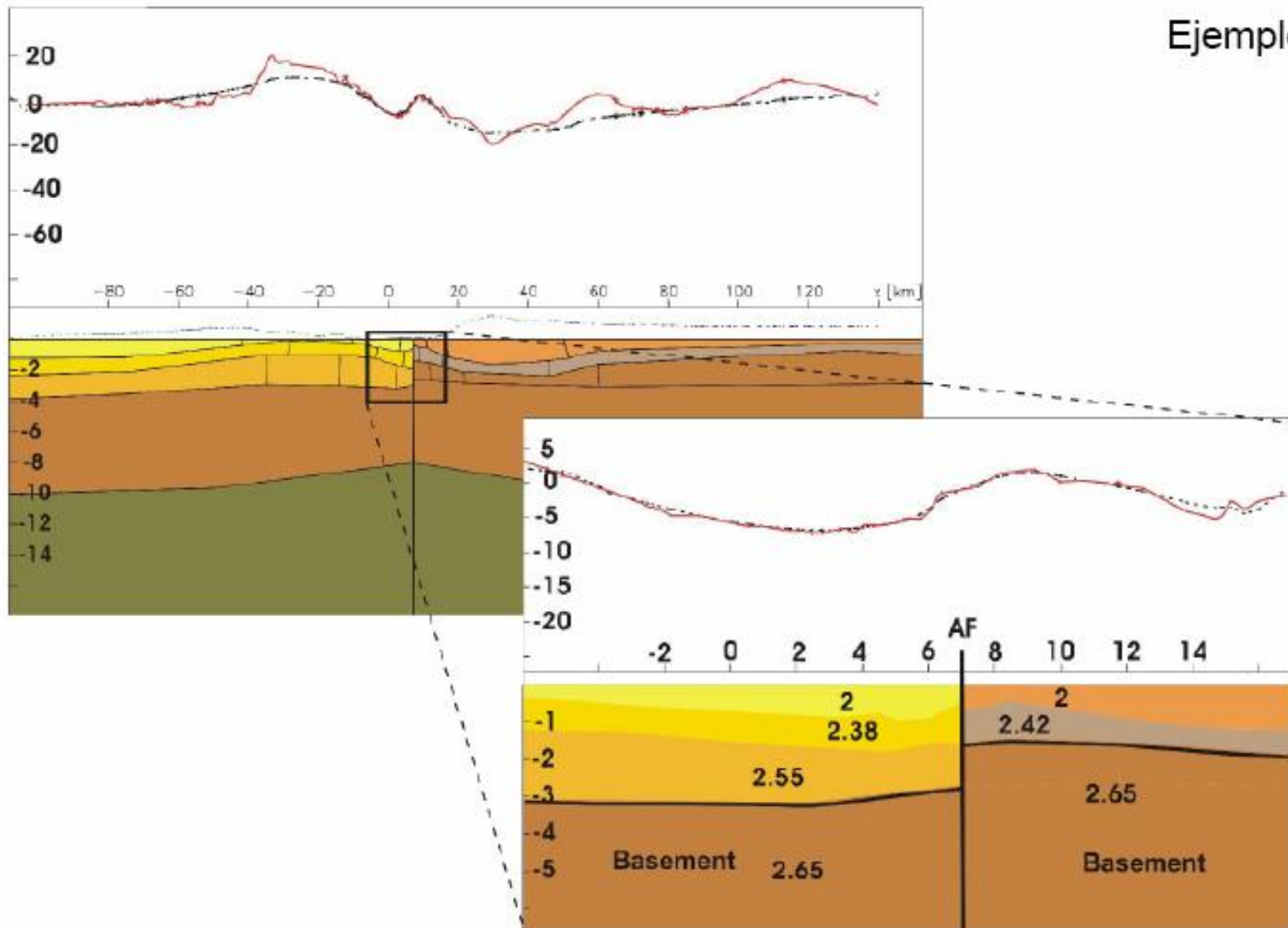


Tašárová (2004)

Cálculo de residuales para determinación de geometría de cuencas



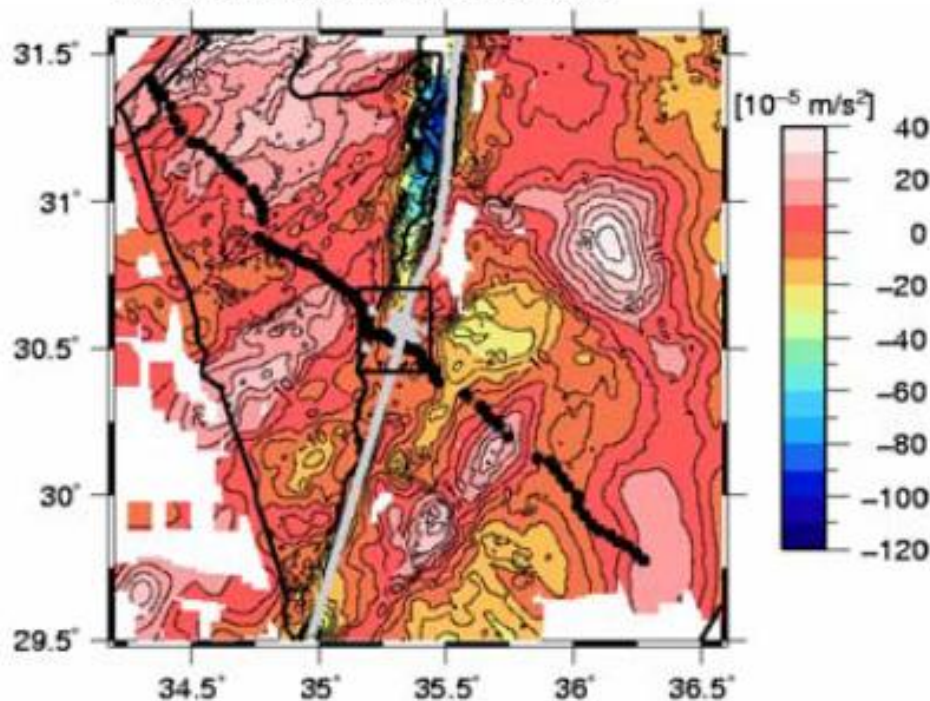
Ejemplo 2



Modelo 3D de densidad cuya respuesta gravitatoria se calcula y se descuenta de la anomalía de Bouguer obteniéndose residuales

El modelo está hecho con datos de sísmica, pozos, superficie, etc

Anomalía residual que surge de descontar respuesta gravitatoria de modelo de densidades



Anomalía de Bouguer

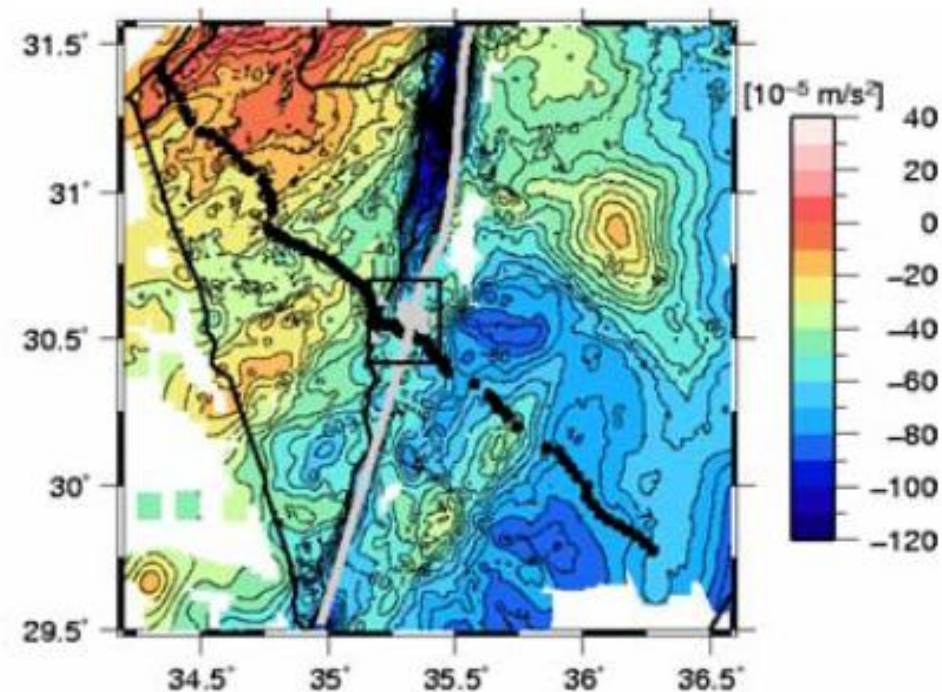


Figure 2. Bouguer (bottom) and residual (top) anomalies for the regional study area.

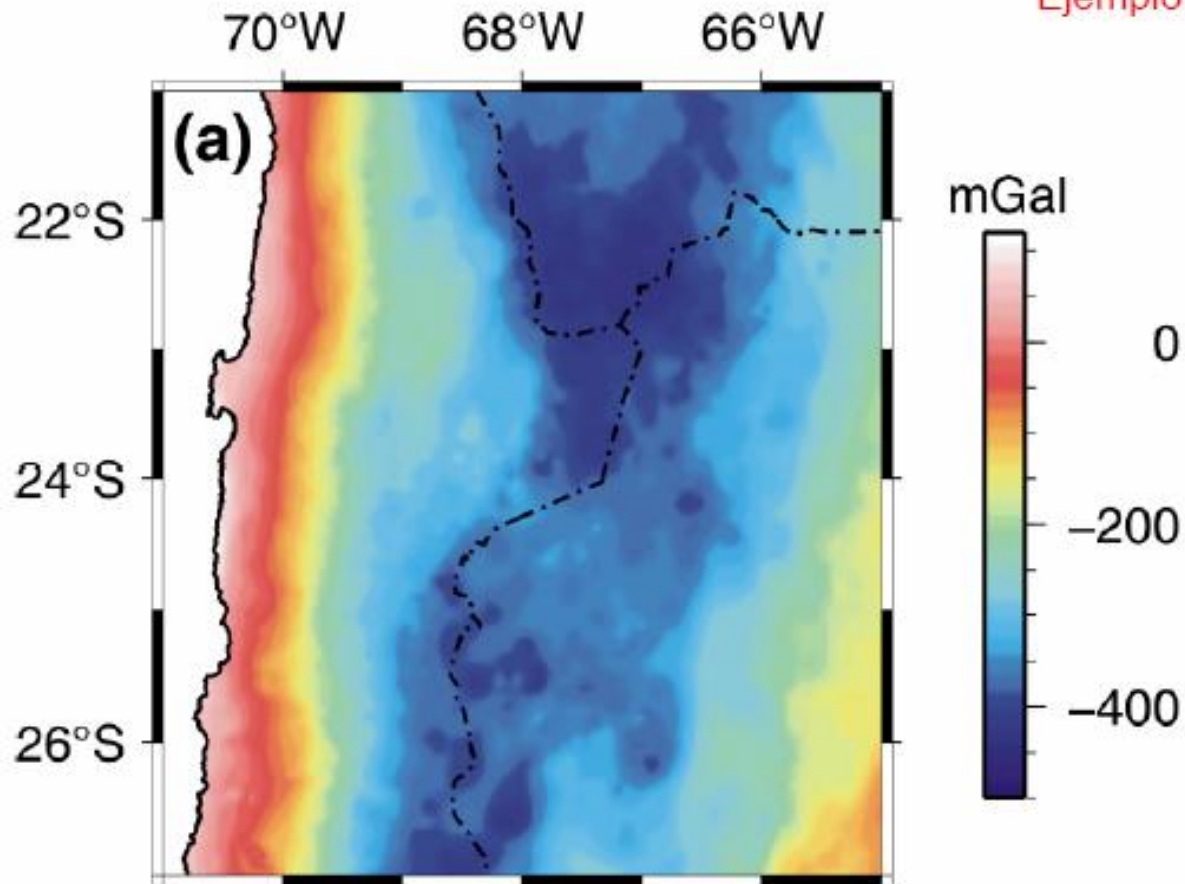
The local study area, outlined by the black frame, with Bouguer anomaly values of -55 to $-60 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$, is characterized in the residual field by values of -20 to $15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$. The DESERT transect is denoted by black dots and the CSA shot points and receivers by gray triangles. The Araba Fault is marked by the thick gray line.

ESTIMACIÓN MATEMÁTICA

Gravedad de Satélites

Residuales satelitarios

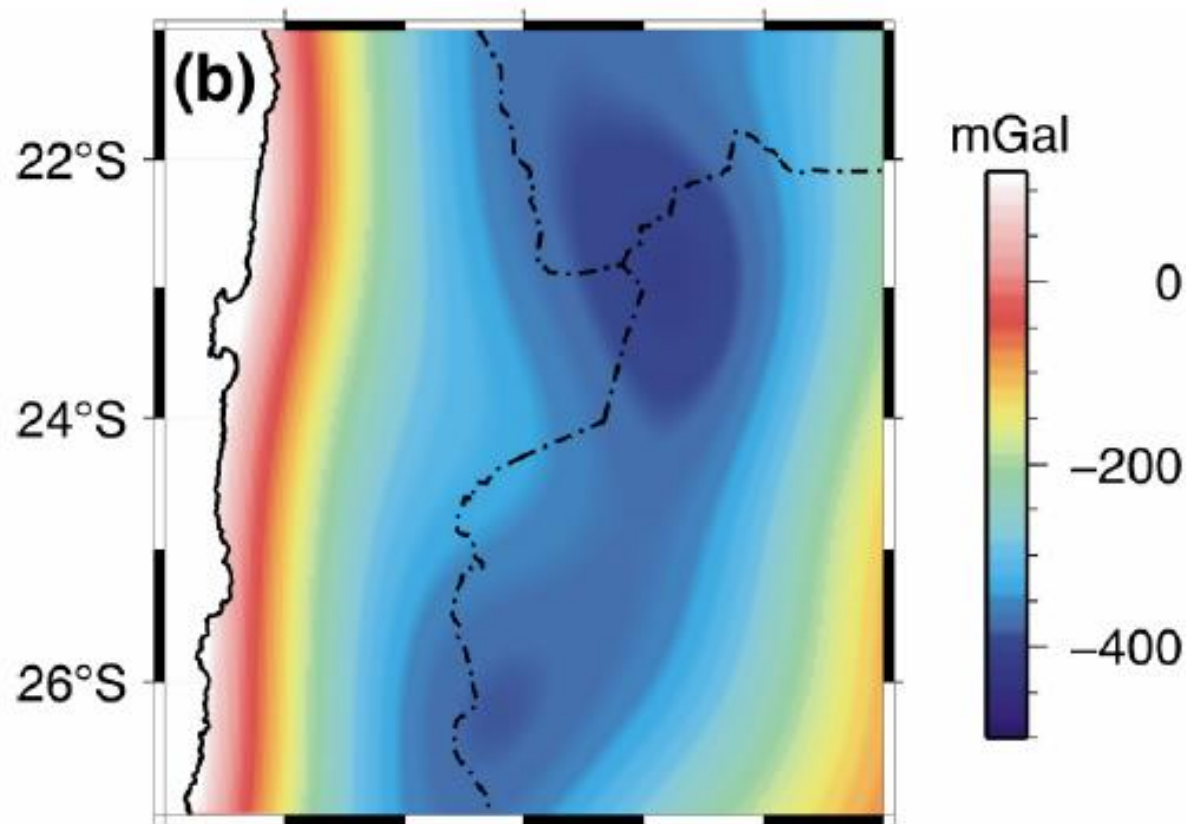
Ejemplo 1



Anomalia de Bouguer a partir de datos de terreno de los Andes Centrales

Se encuentran sumados efectos profundos correspondientes al espesor variable de la corteza y fuentes someras correspondientes a cuencas sedimentarias, magmas en la corteza, etc

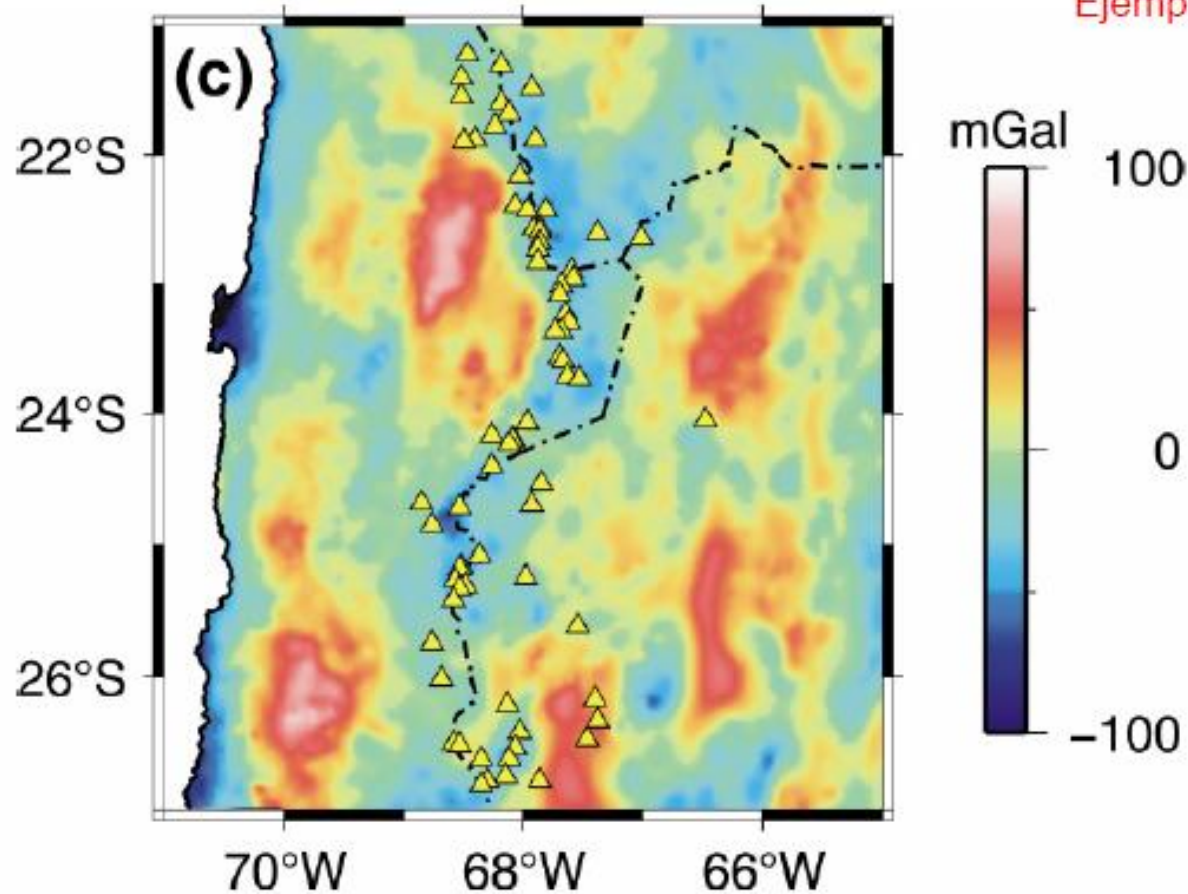
Ejemplo 1



Anomalia de Bouguer a partir de datos satelitarios (modelo GGM02S; este modelo visualiza anomalías más grandes que 300 km)

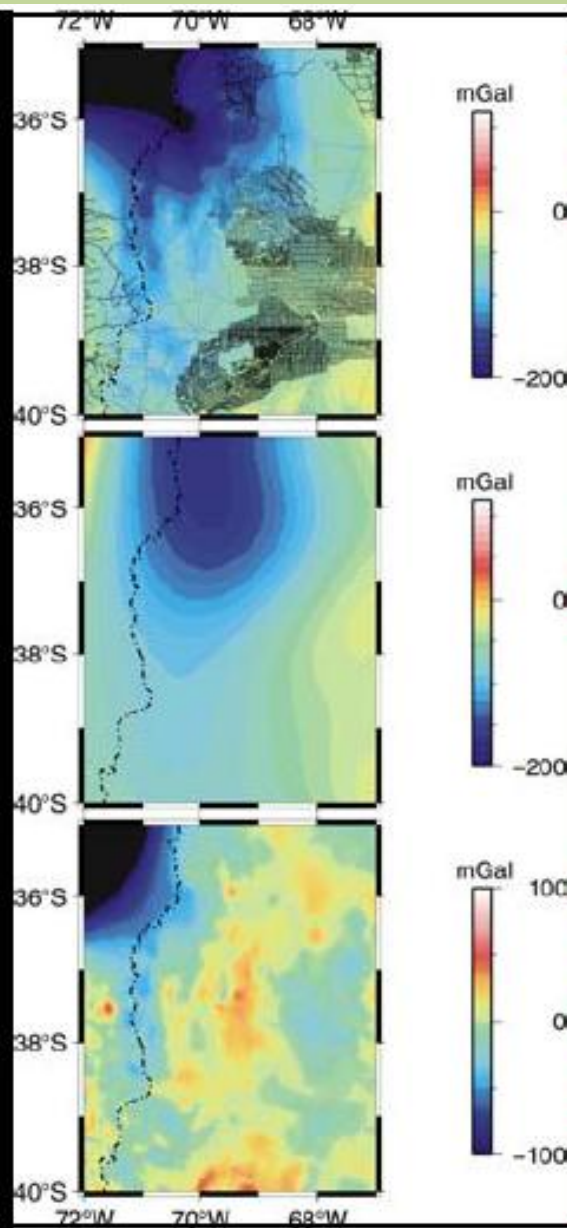
Nótese la alta longitud de onda de los rasgos resueltos, lo que implica que es sensible a fuentes profundas

Ejemplo 1



Residual de los Andes Centrales que surge de descontar anomalía de Bouguer obtenida por relevamiento satelitario de anomalía de Bouguer generada por datos de terreno. De esta manera aislamos componentes de la gravedad alojadas en la corteza superior.

Ejemplo 2

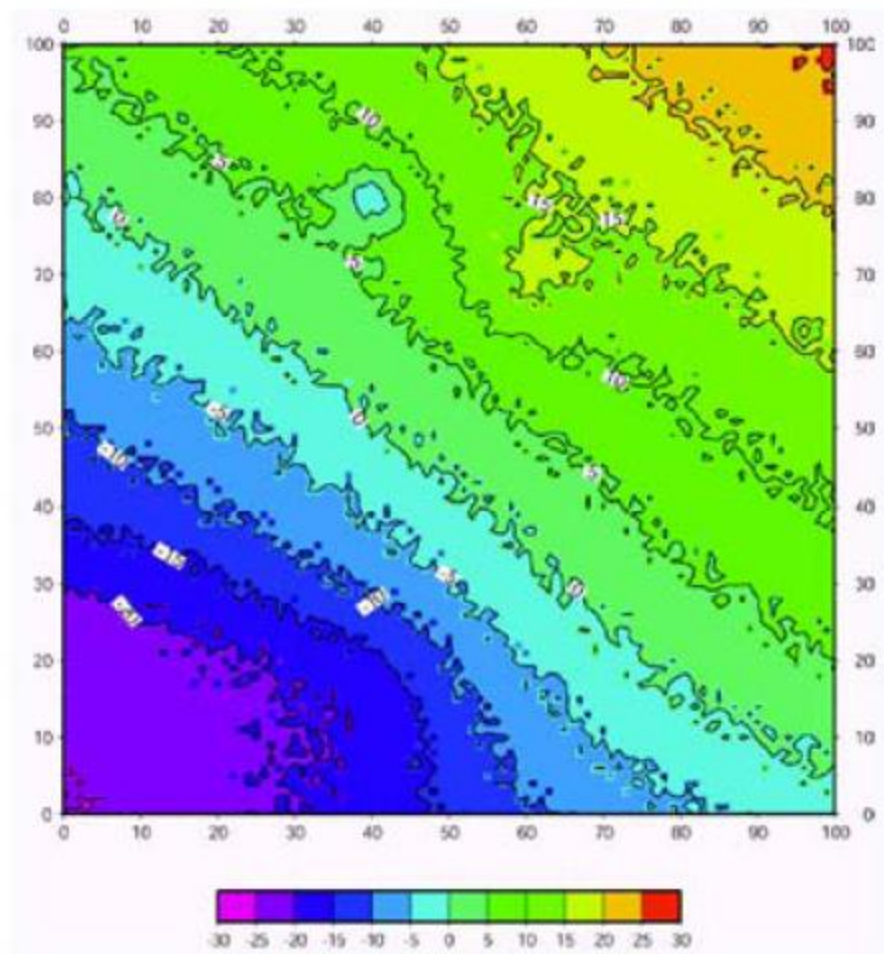


Anomalía de Bouguer
correspondiente a datos
de terreno

Anomalía de Bouguer
correspondiente a datos
satelitarios

Residual = Anomalía de
Bouguer correspondiente a
datos de terreno - Anomalía
de Bouguer
correspondiente a datos
satelitarios

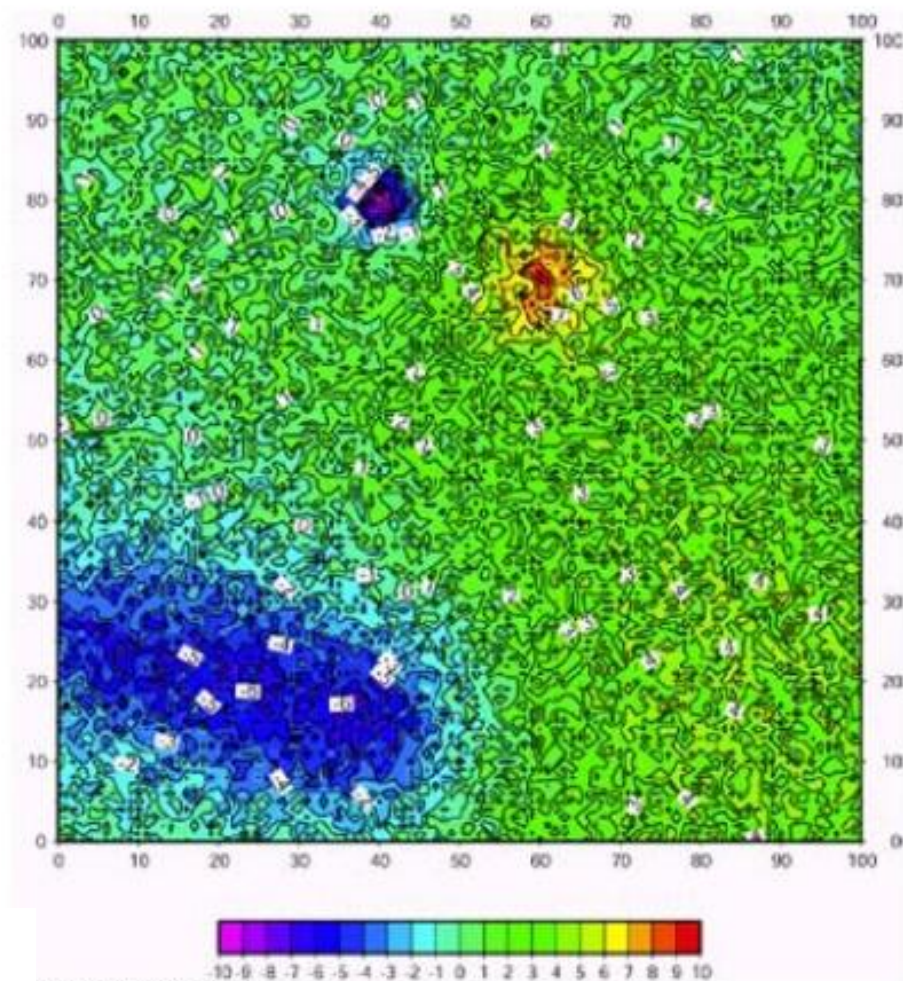
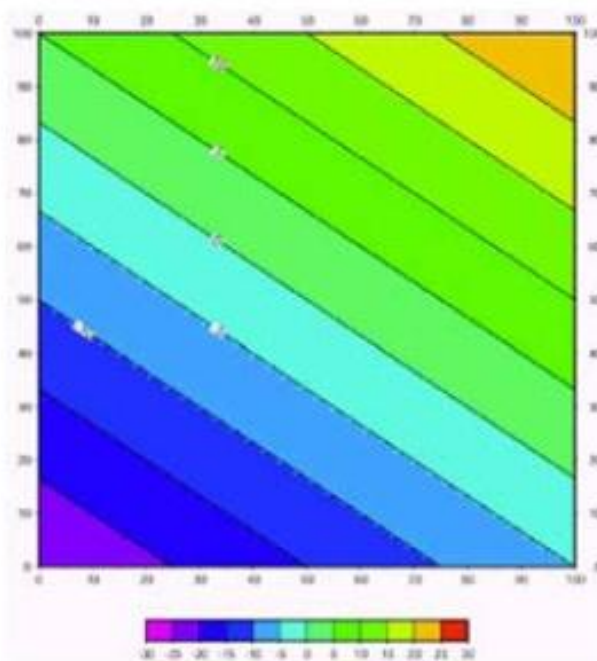
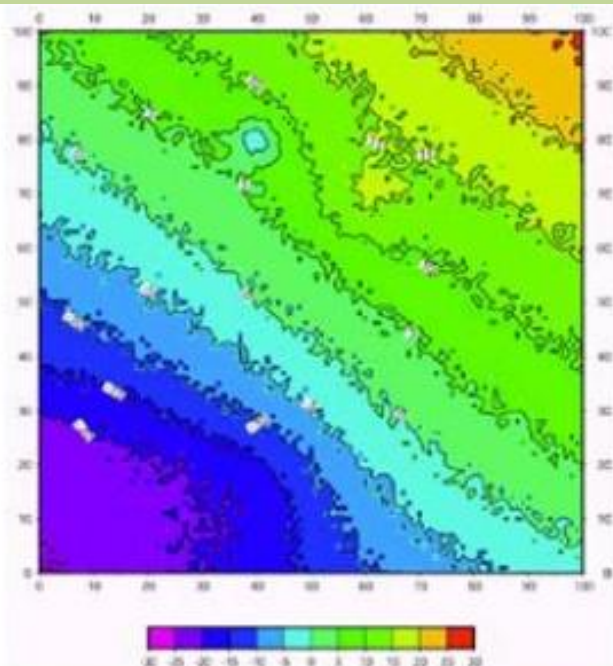
EJEMPLO



Mapa de anomalías gravimétricas

Ya aplicadas las correcciones de latitud, aire libre, Bouguer y topográfica

Remoción de la tendencia regional

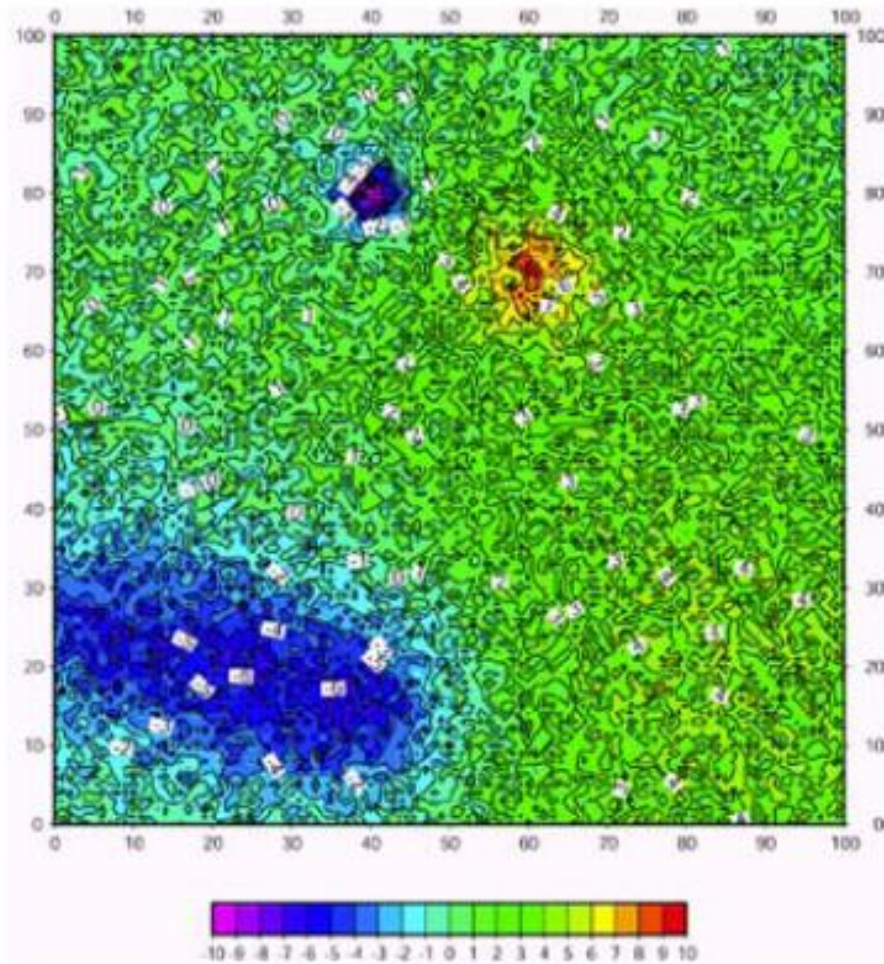


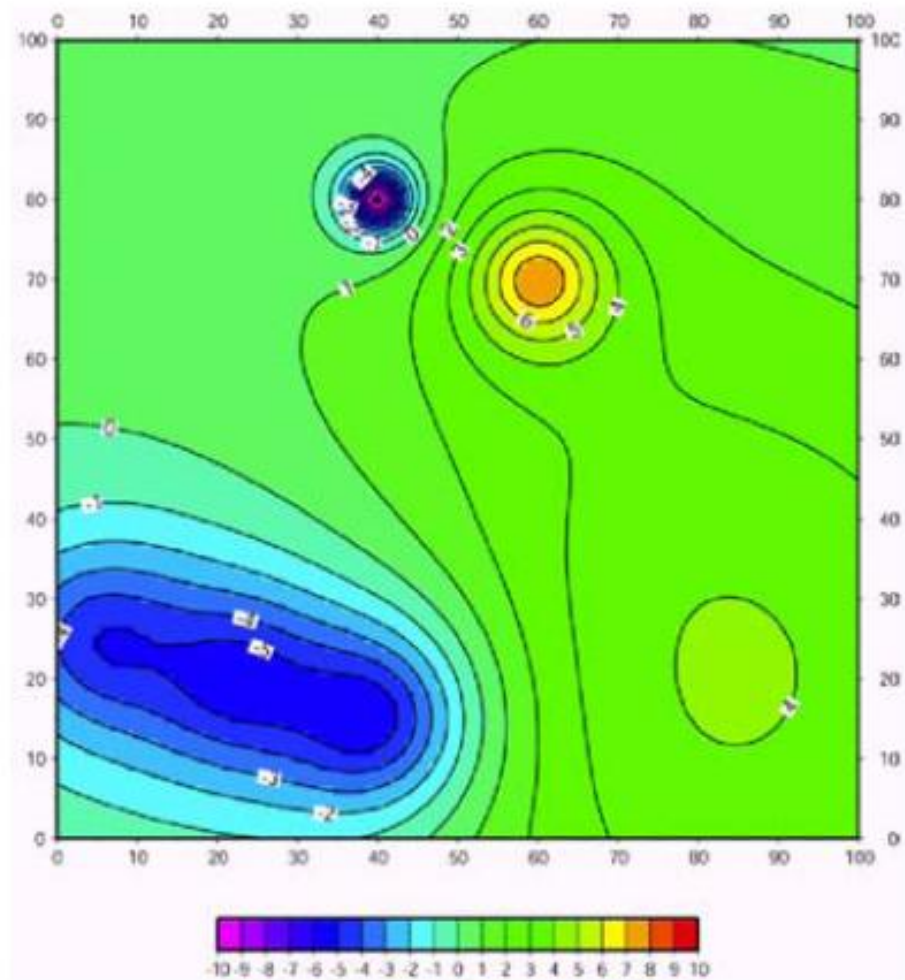
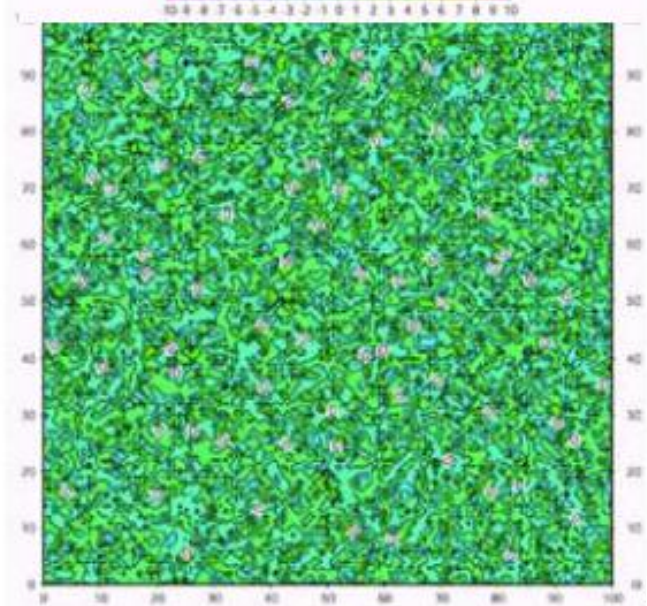
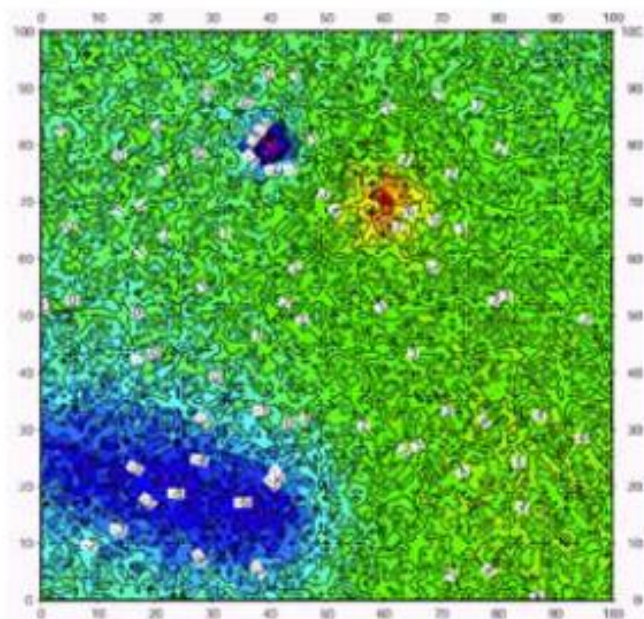
Remoción del ruido

Fuentes de ruido de alta frecuencia:

Errores instrumentales
Errores en el relevamiento
Problemas en las correcciones

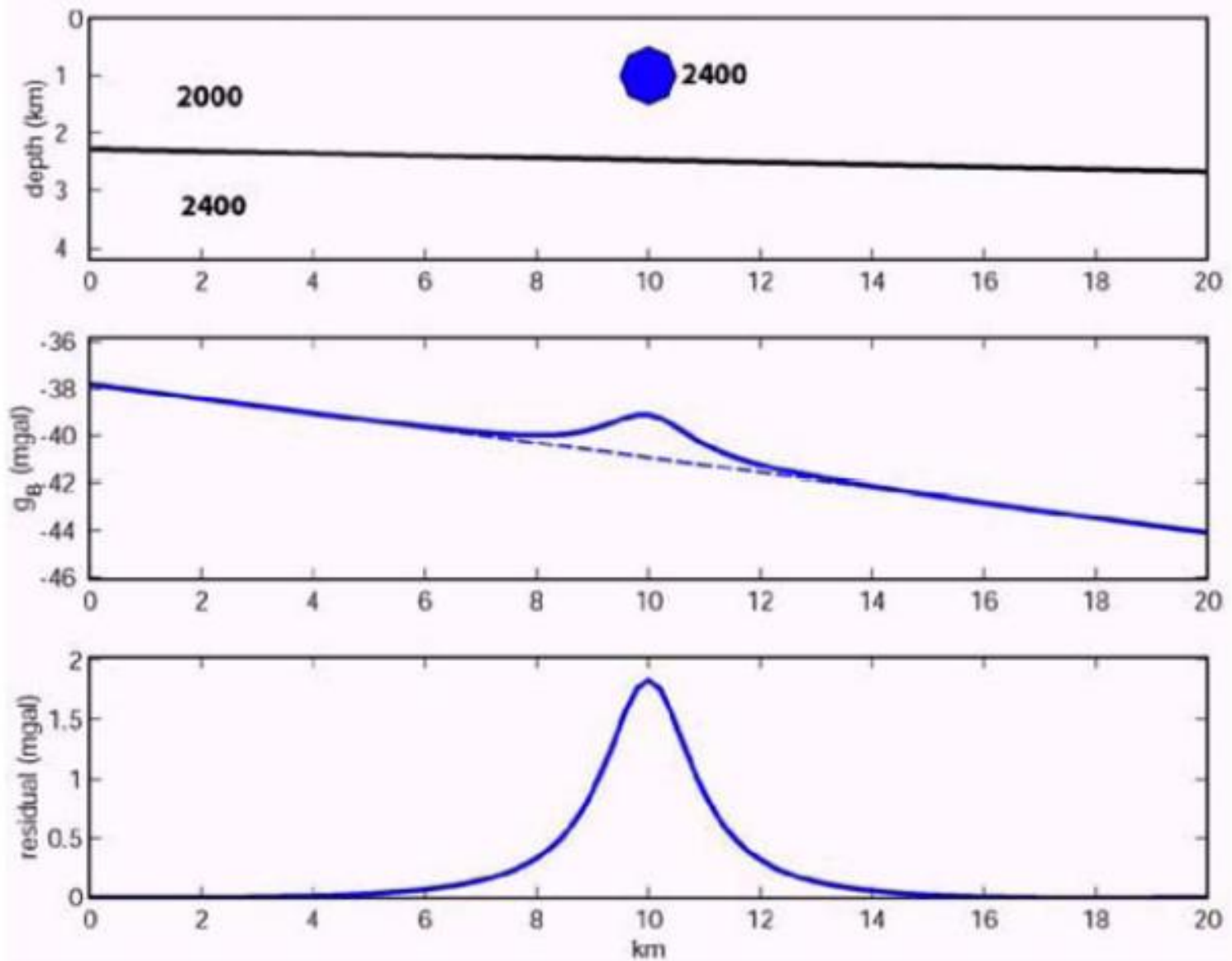
FILTROS DE PASO BAJO





100%

100%



El objetivo final del filtrado es aislar y/o resaltar las anomalías de longitud de onda en el rango de interés.

NO PERDAMOS DE VISTA QUE:

La elección de una tendencia regional implica criterio geológico, es una decisión interpretativa, no es inocua ni es única. Pueden perderse datos útiles.

La longitud de onda que para un estudio es "regional", para otro puede ser la "residual" buscada, dependiendo de los alcances y objetivos del relevamiento.

