

# Magnetometría

- Dipolo magnético
- Materiales magnéticos naturales
- Campo magnético terrestre
- Remanencia magnética
- Técnicas de adquisición, procesamiento e interpretación

# Métodos de relevamiento

- Relevamientos Terrestres:

Normalmente desarrollados como perfiles o serie de perfiles. Se puede ajustar la ubicación con alta precisión

- Útiles en áreas pequeñas con alta resolución (Minería, arqueología, ambiental)
- En áreas más grandes, como apoyo a otros estudios (ej. gravedad)

- Relevamientos Aéreos:

Utilizados mayormente en relevamientos regionales (avión) o locales (helicóptero). Serie paralela de líneas de vuelo con enlaces. Posición del avión es crítica

- Útiles en minería, relevamientos sistemáticos oficiales, exploración de HC

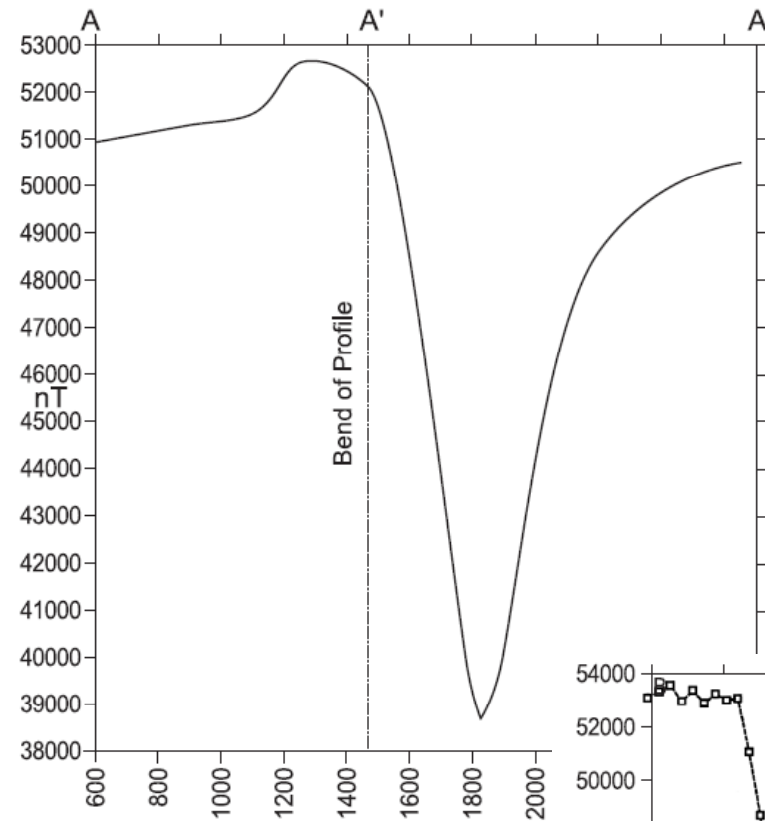
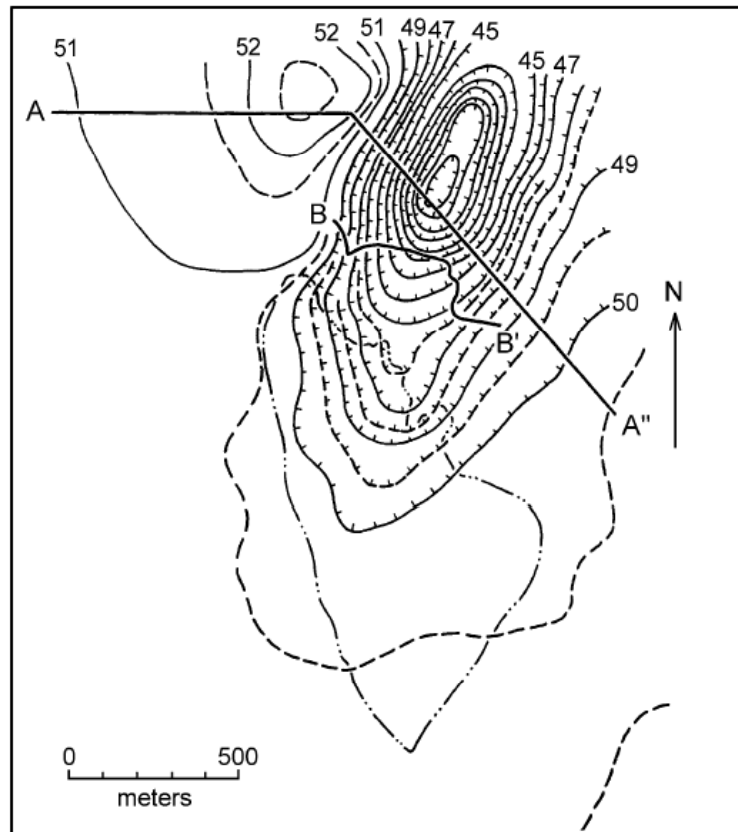
- Relevamientos Acuáticos:

Mayormente como complemento de otros estudios (ej. sísmica) en relevamientos regionales o específicos en cuerpos de agua más pequeños (variante de los terrestres)

- Útiles en estudios académicos, ambientales, arqueológicos, exploración de HC

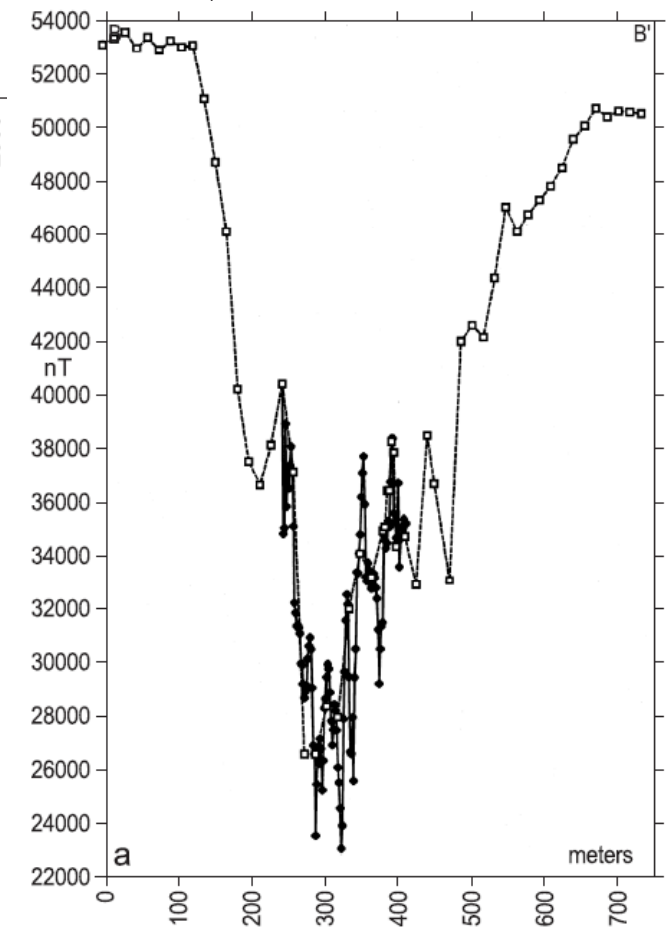
## Altura del sensor

La elevación del sensor provoca la rápida atenuación de las componentes de mayor número de onda del CMT



A-A''  
Helicóptero  
(altura de  
vuelo 45 m)

B-B''  
Terrestre  
(altura de  
sensor 2 m)





Relevamiento con  
magnetómetro  
protónico a lo largo  
de un perfil medido  
con cinta métrica y  
geoposicionado con  
GPS

Espaciado 10 – 100 m



## Procedimiento

El observador **no debe portar objetos metálicos** de ningún tipo.

Los sitios de observación deben elegirse **lo más lejos posible** de vehículos, líneas eléctricas, alambrados, puentes, etc. Cuidar que el sensor del magnetómetro esté limpio de polvo.

Chequear que las lecturas no sean ruido (debido a fuentes eléctricas cercanas, gradientes fuertes, mal funcionamiento del equipo).

El sensor del magnetómetro suele llevarse en una barra de 2,2 m de altura.

*Información que debe relevarse:*

Elegir **punto de control** fijo y **puntos de apoyo** en cada transecta.

Realizar **muestreo** de las litologías aflorantes y mediciones de **susceptibilidad**.

**Posicionamiento** de los puntos

En cada punto de medición registrar: **hora, valor del campo, condiciones meteorológicas** especiales, referencias (excavaciones mineras, por ejemplo), situación del punto con respecto a las referencias, **relieve**.

Obtener **curvas de variación diurna** día por día.

Si se registran **tormentas magnéticas**, las mediciones tomadas durante su desarrollo no deben ser consideradas correctas.

**Gradientes:** ante gradientes altos elevar el sensor entre 3 y 5 metros o evitar los puntos.

Al final de cada día, verificar que el espaciado de las transectas y su rumbo son adecuados.



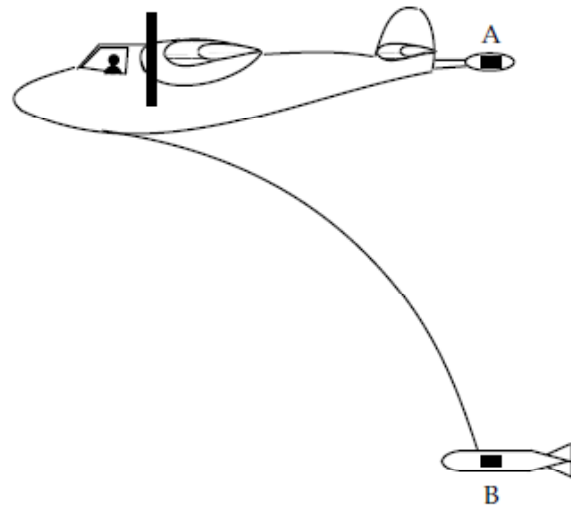
a)



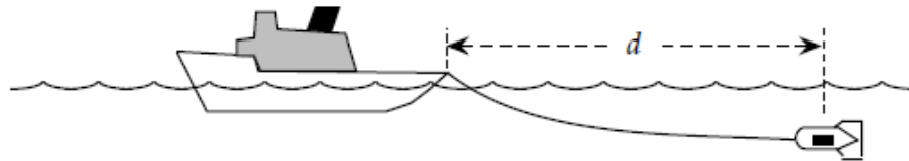
b)



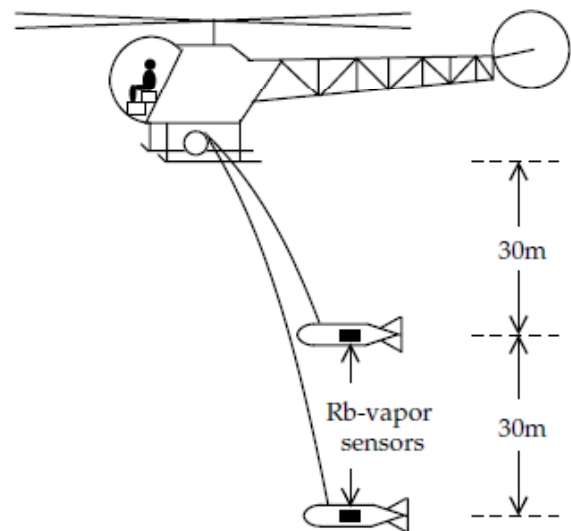
(a)

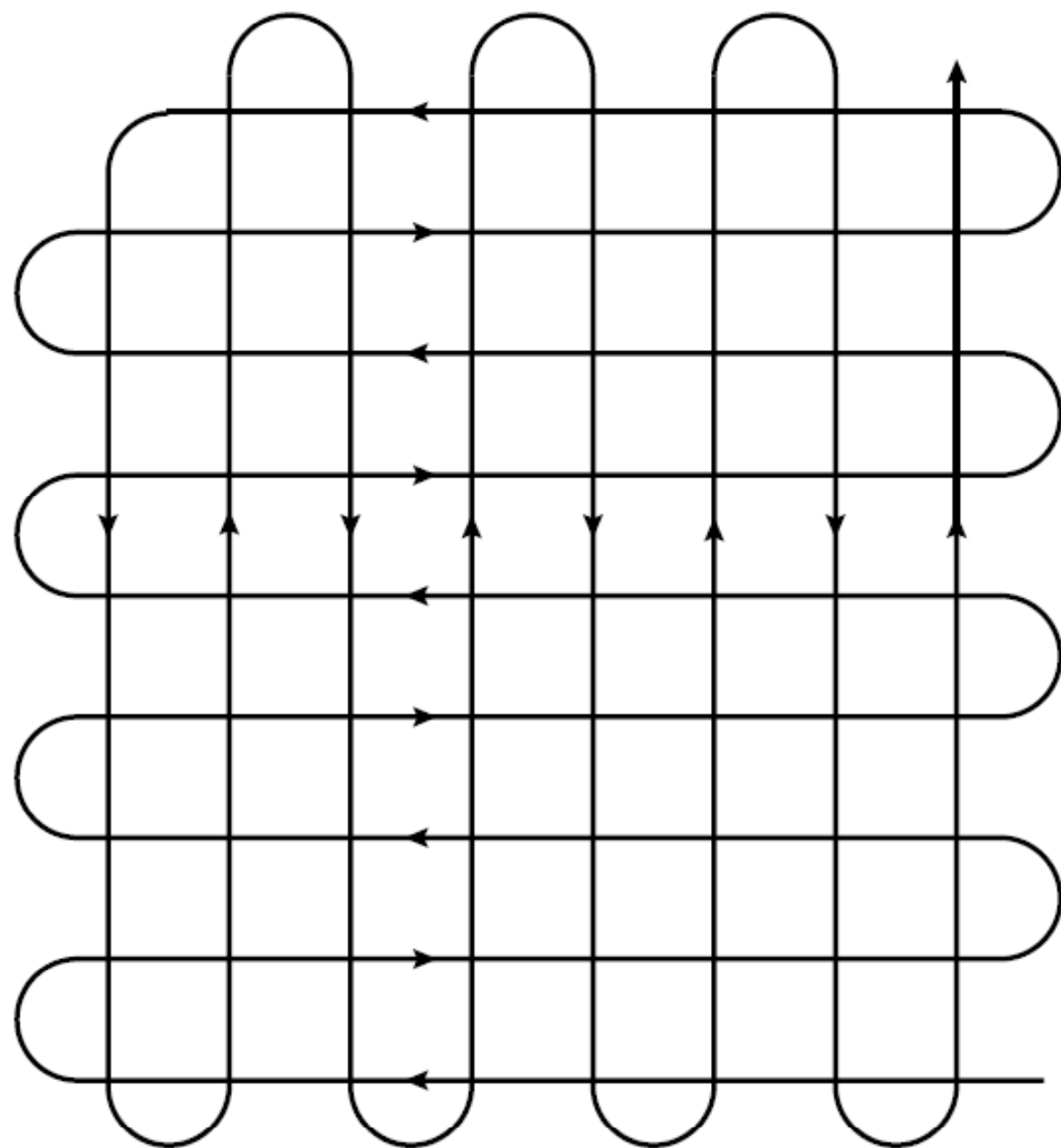


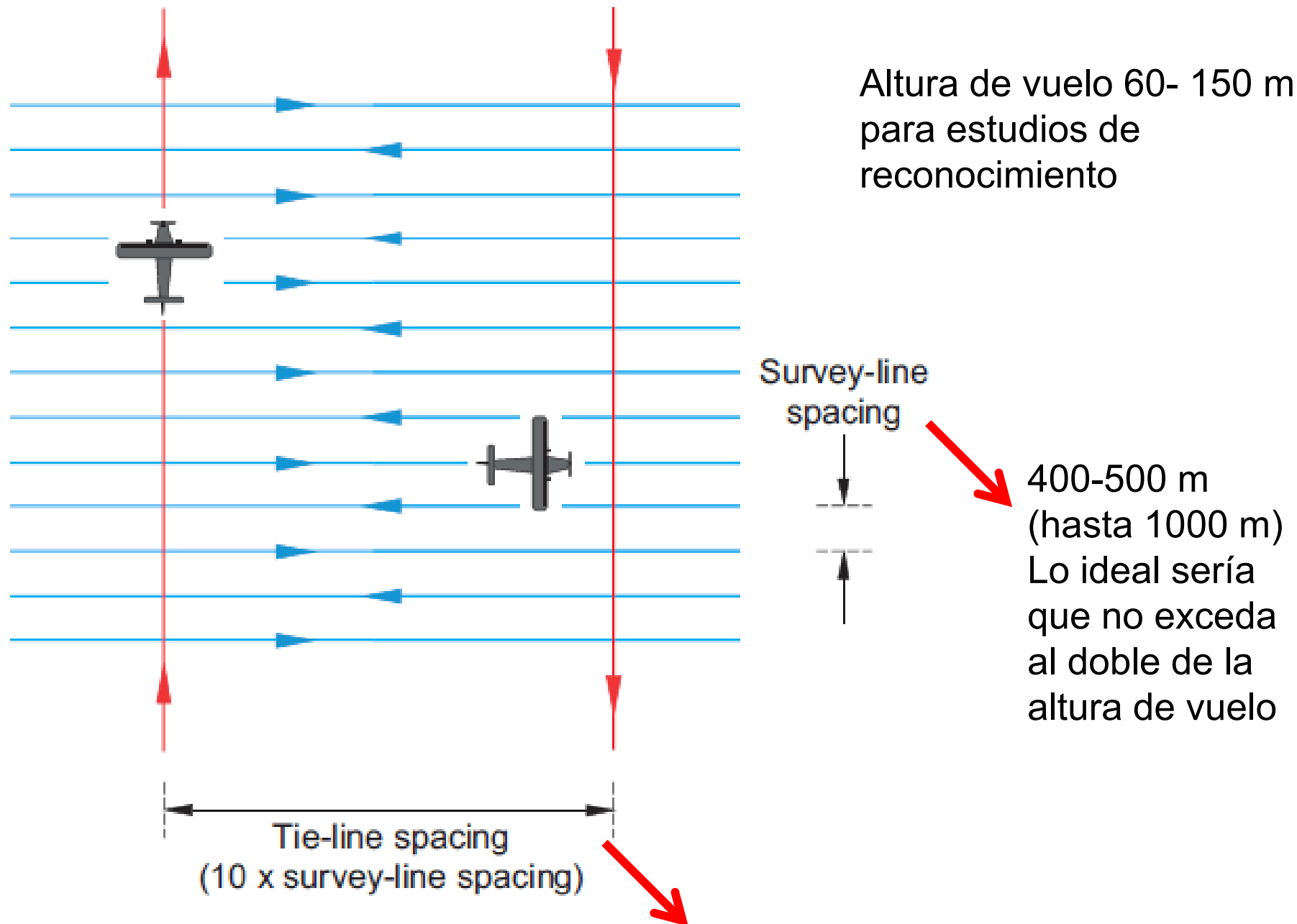
(b)



(c)

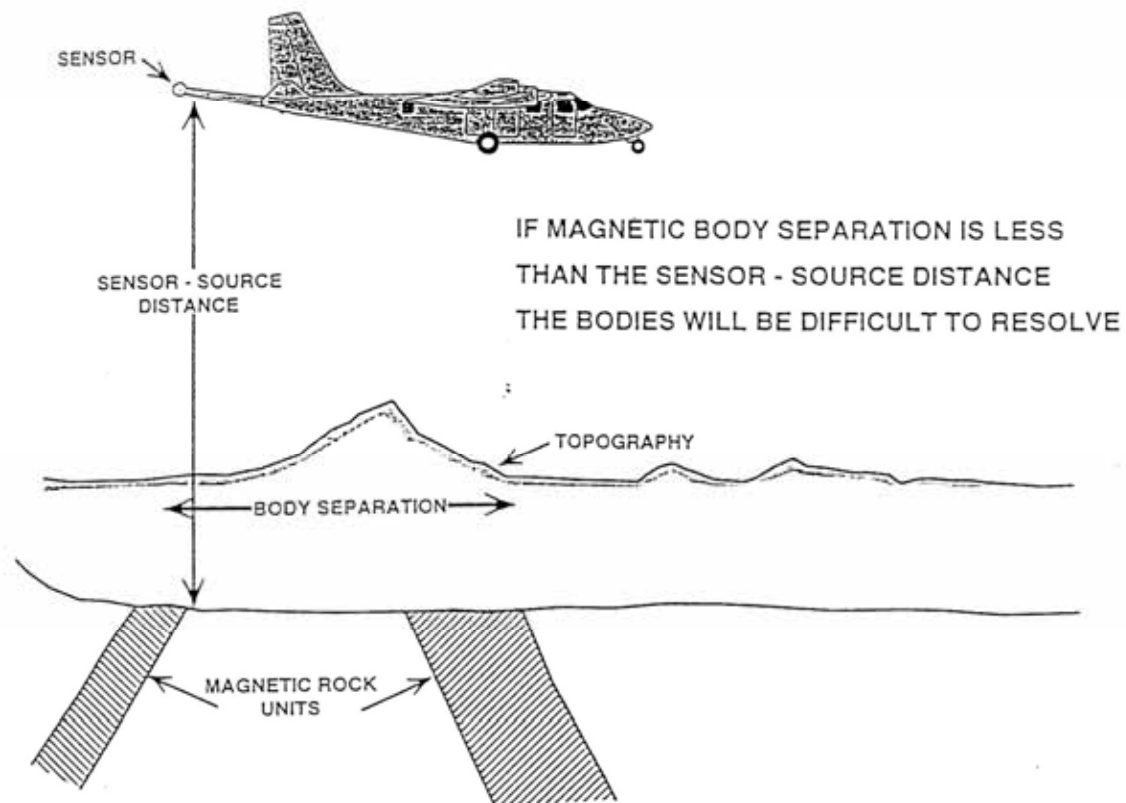






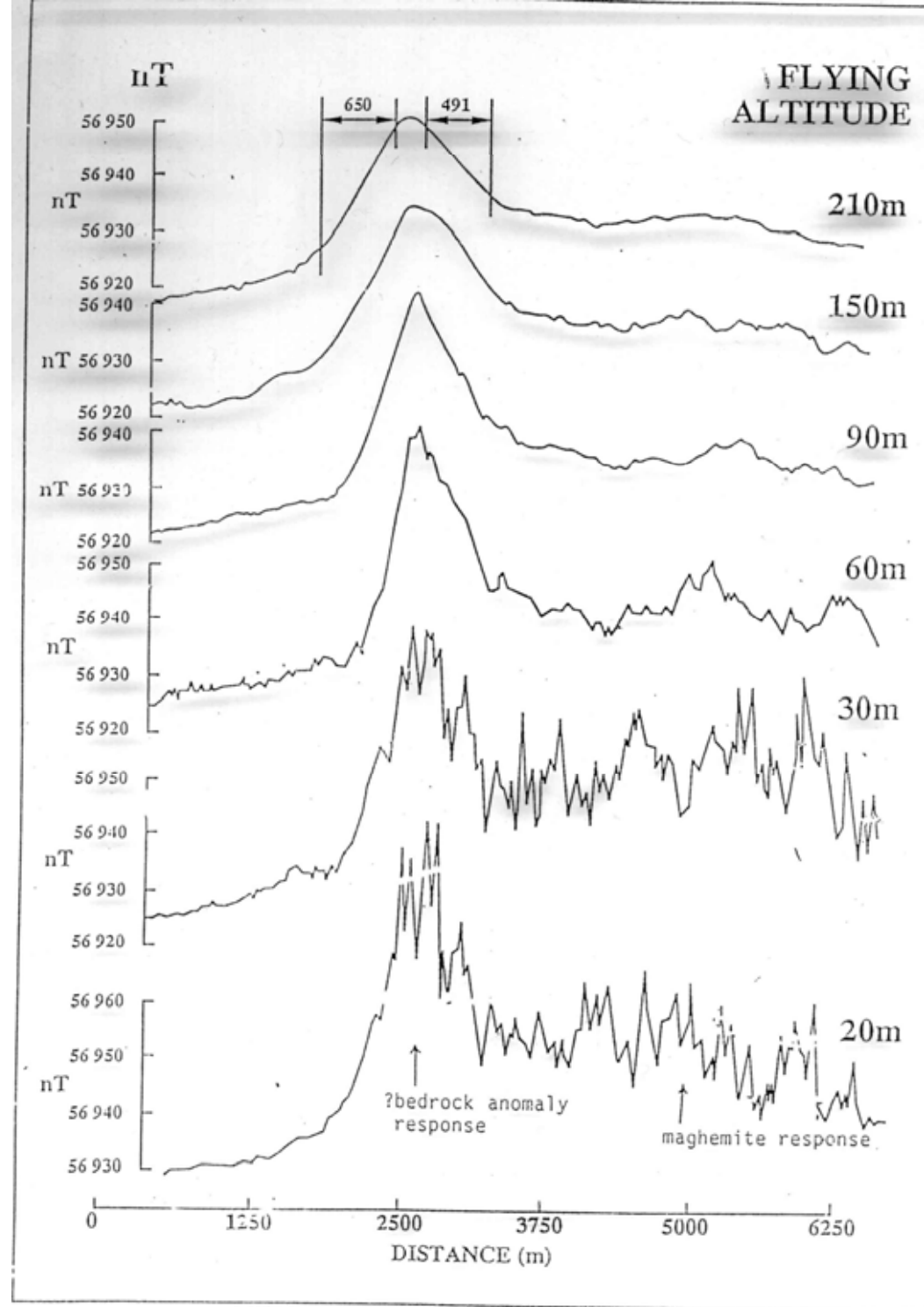
El espaciado de datos a lo largo de las líneas está dado por la velocidad del vehículo y la tasa de muestreo del magnetómetro.

Orientación de líneas: perpendicular al rumbo de las estructuras. *En latitudes bajas es recomendable N-S*

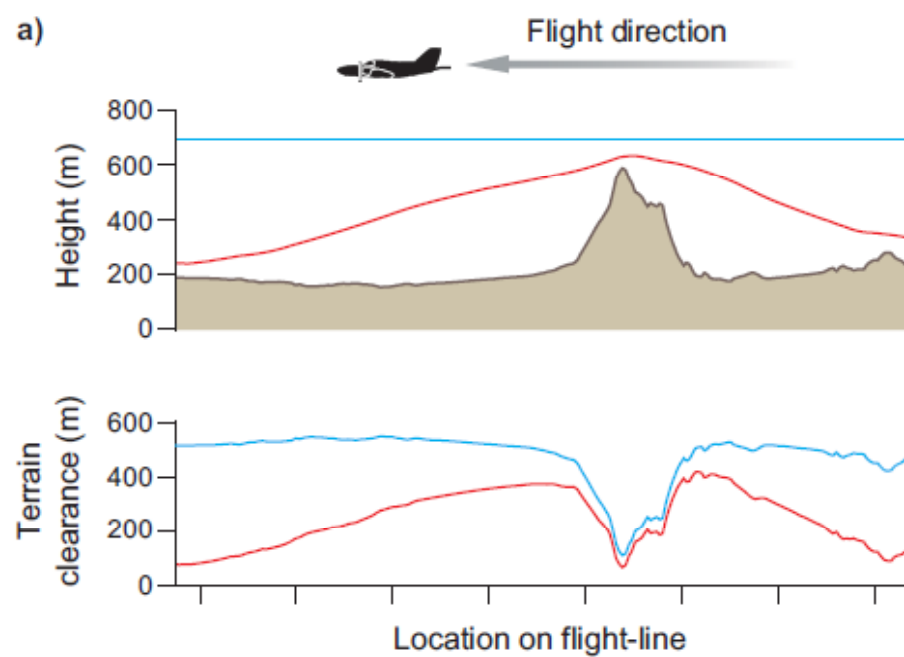


Influencia de la altura  
de vuelo en la  
resolución de  
anomalías



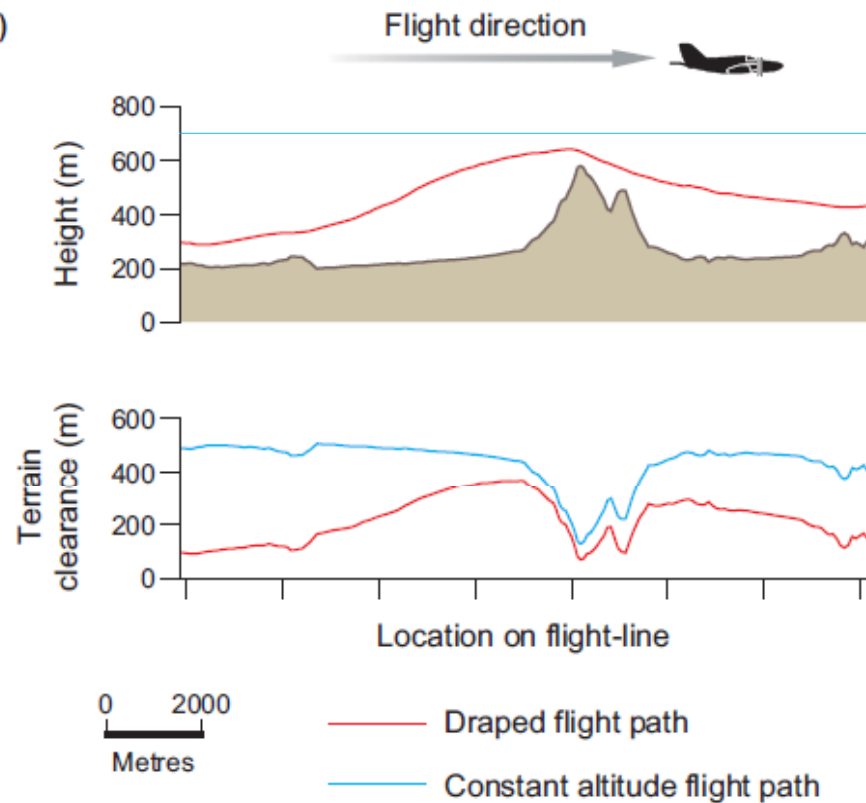


a)



El posicionamiento de la aeronave se realiza con GPS, que determina la altura de vuelo. Además se mide el despeje (“terrain clearance”) mediante radar, lo cual permite determinar la topografía.

b)



Los efectos de la variación en el despeje deben ser tenidos en cuenta.

# Planificación

Problema geológico concreto: por ejemplo, búsqueda de depósitos minerales determinados, especificando tamaños, profundidades y **propiedades magnéticas esperadas**.

Evaluar si el objeto es detectable; **contraste de susceptibilidades** que exista con la roca encajante. Estimar hasta qué profundidad/tamaño podrá detectarse el blanco.

Circunscribir áreas de interés, recopilar información geológica regional.

Establecer densidad de puntos, resolución necesaria, métodos de enlace de itinerarios.

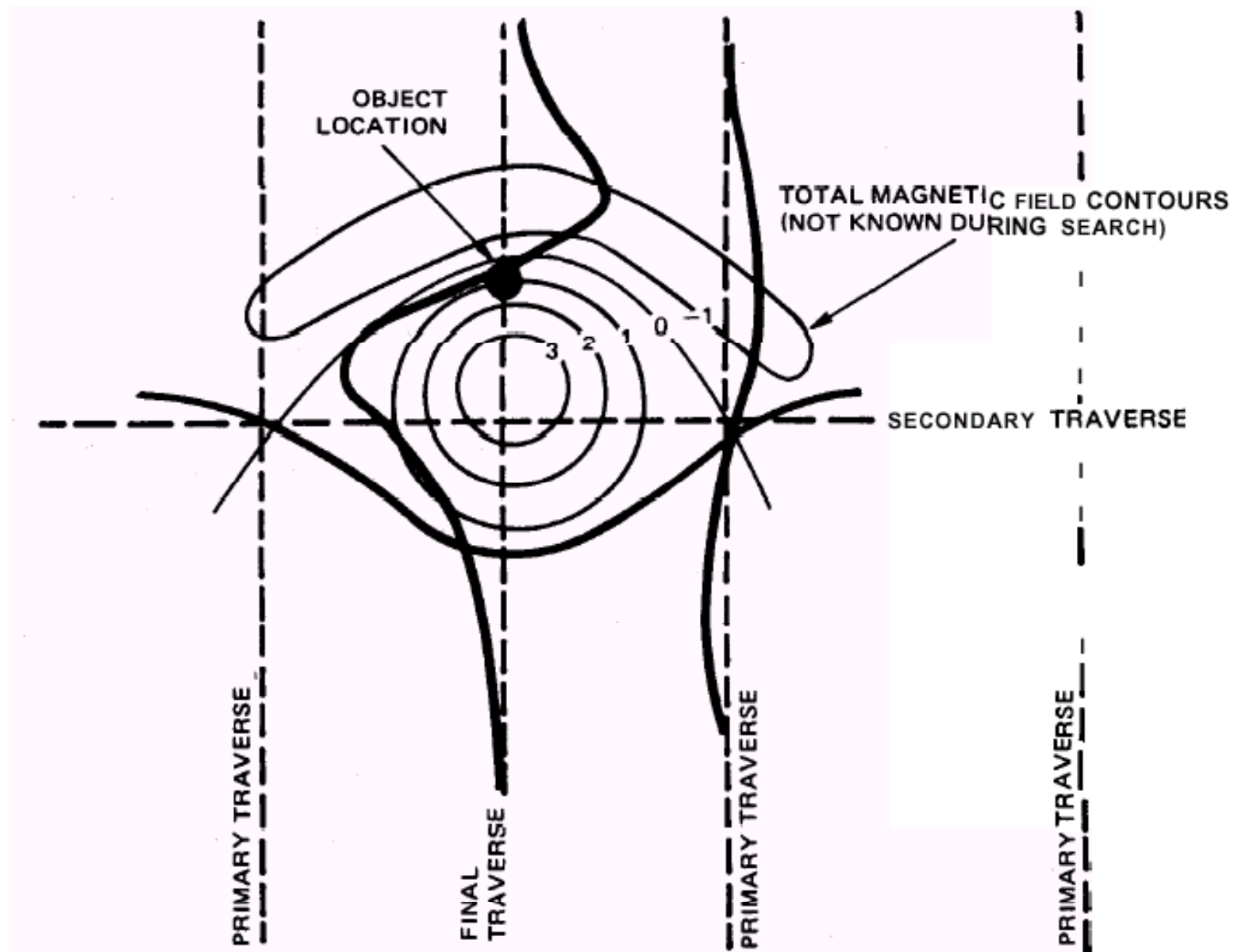
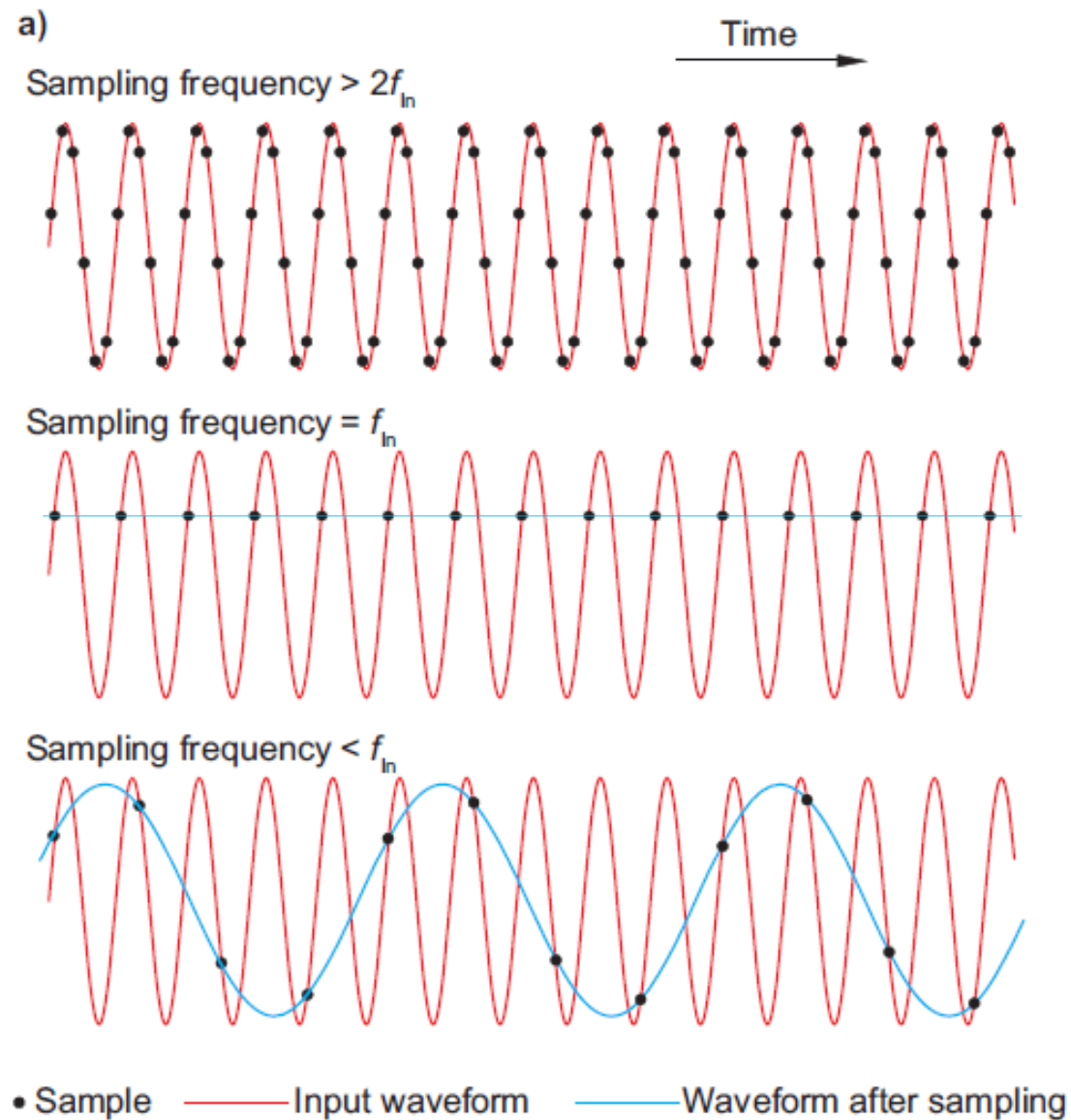
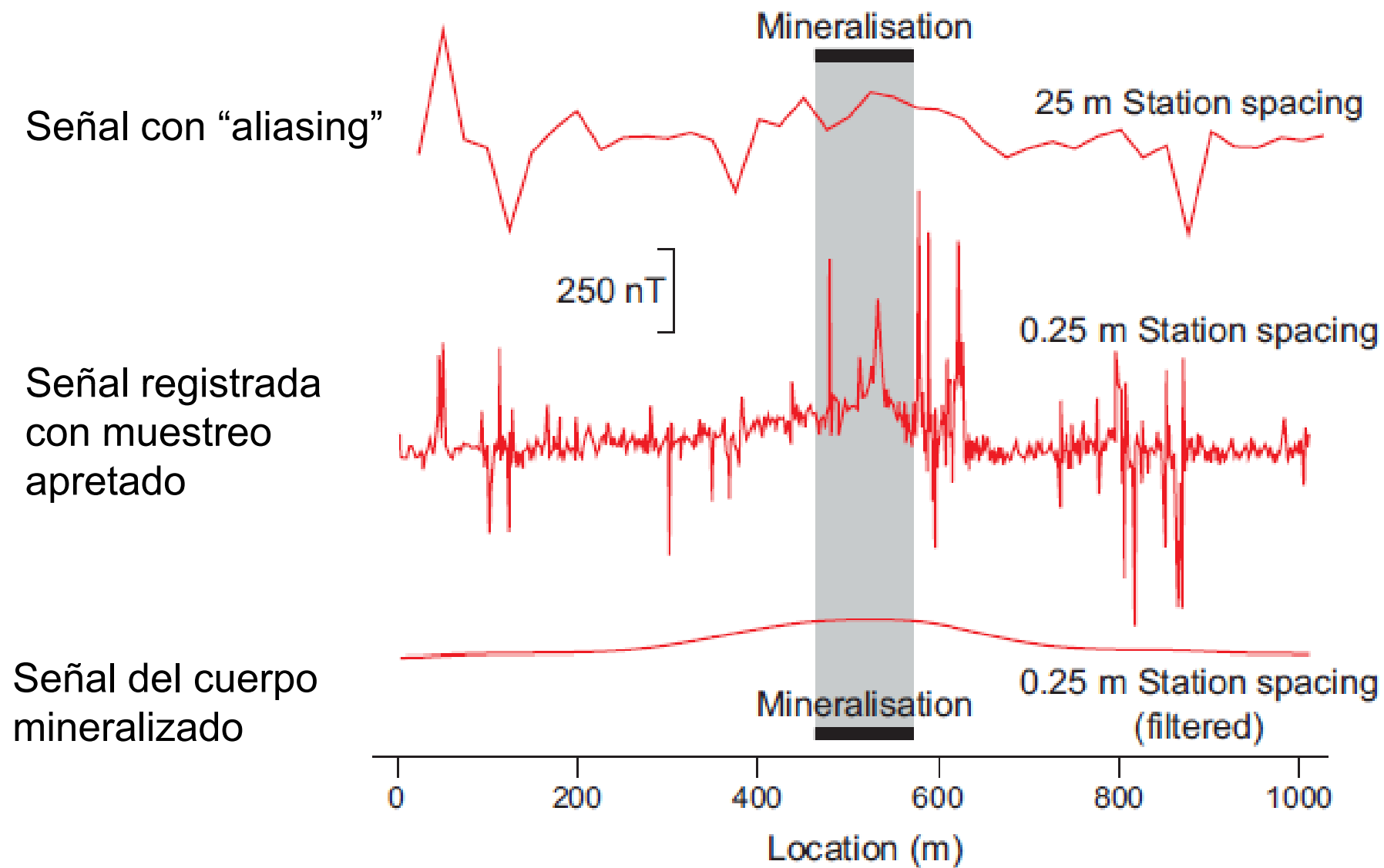


Figure 45. Typical Sequence of Traverses During Search Procedures  
(Profiles drawn on respective traverse lines)

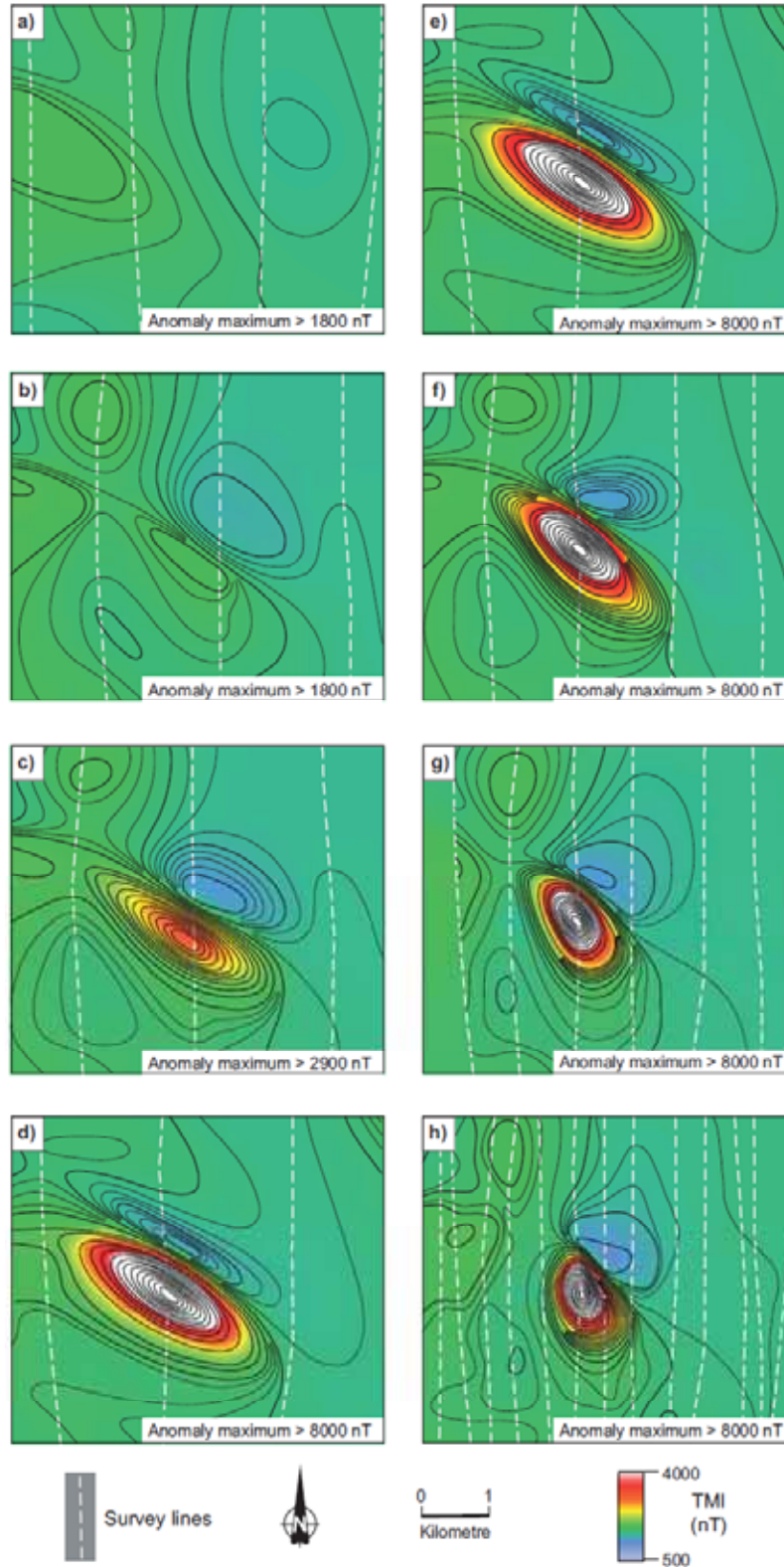
## Espaciado de muestreo



Se debe elegir una frecuencia adecuada (que depende de cómo varía la propiedad en el terreno). Frecuencias menores provocan “aliasing”.

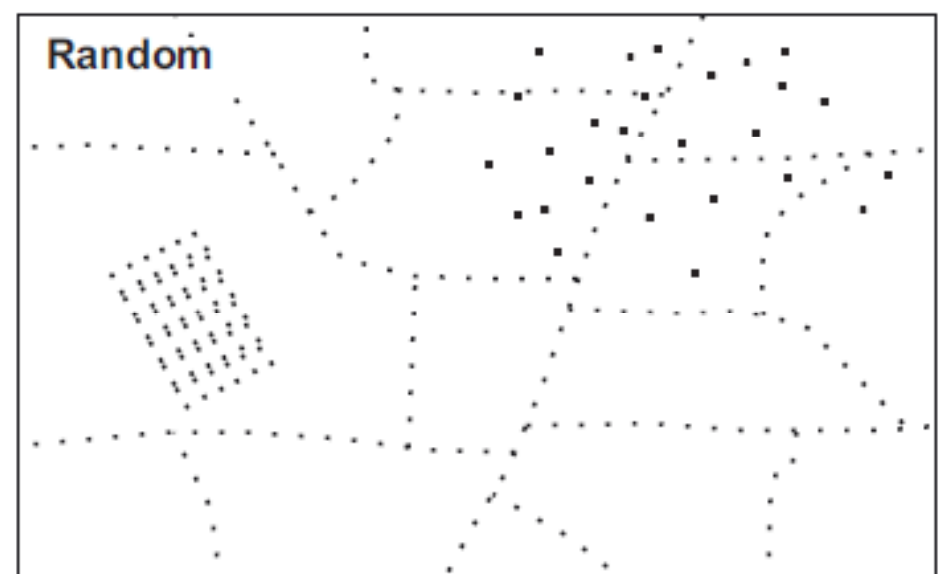
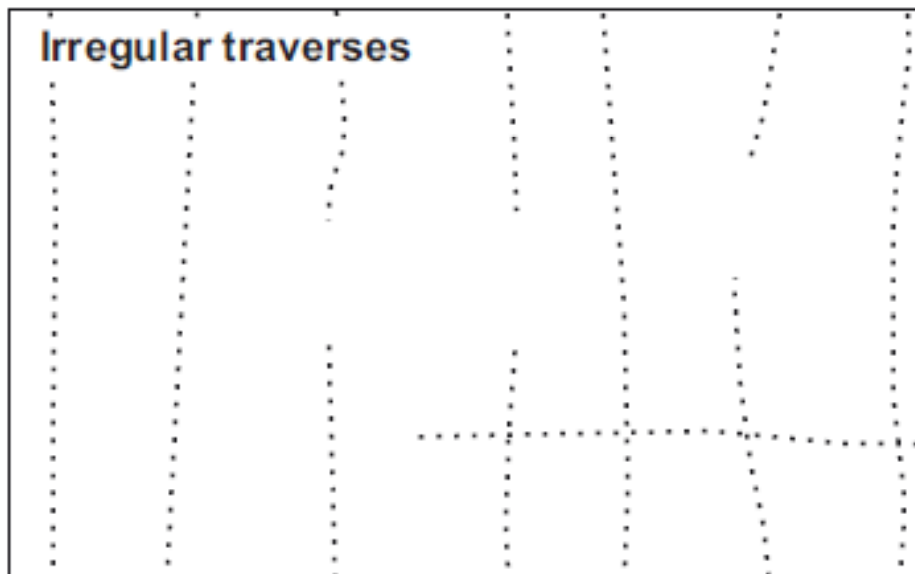
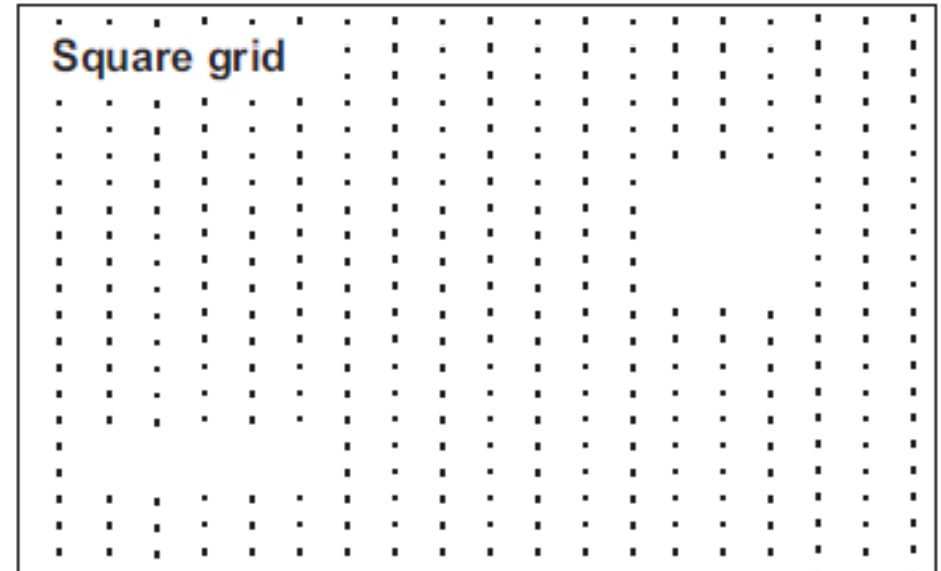
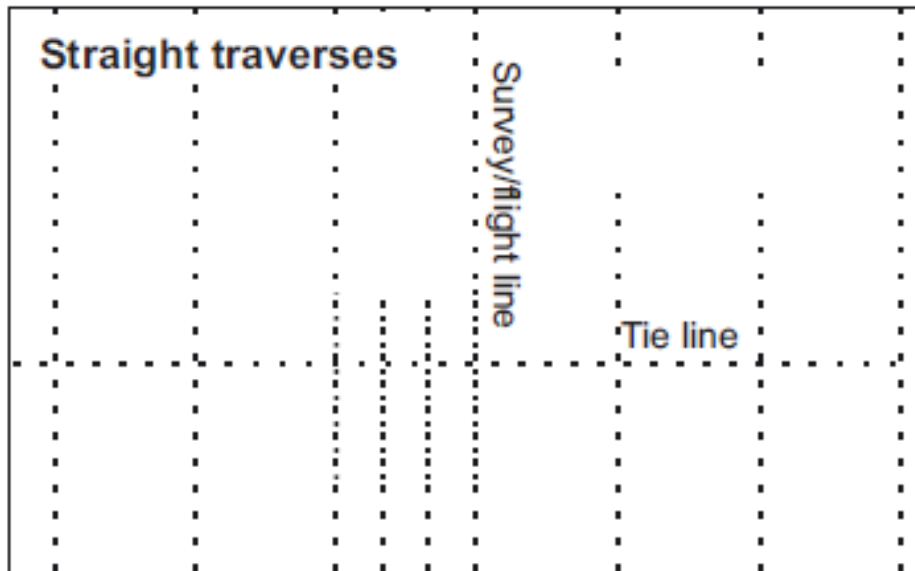


Espaciado  
1600 m,  
variando  
lateralmente  
su posición



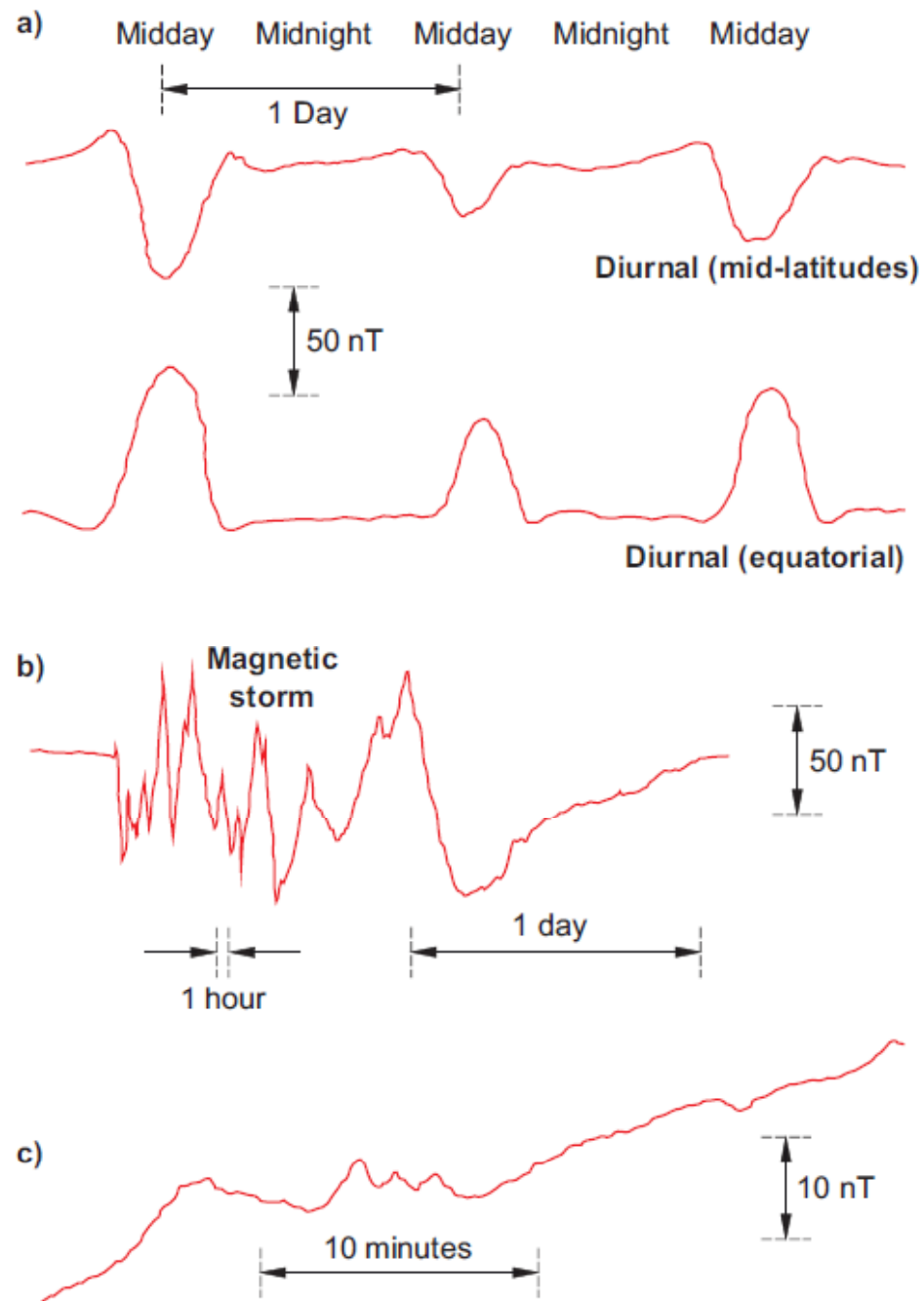
Disminuyendo  
el espaciado  
hasta 400 m

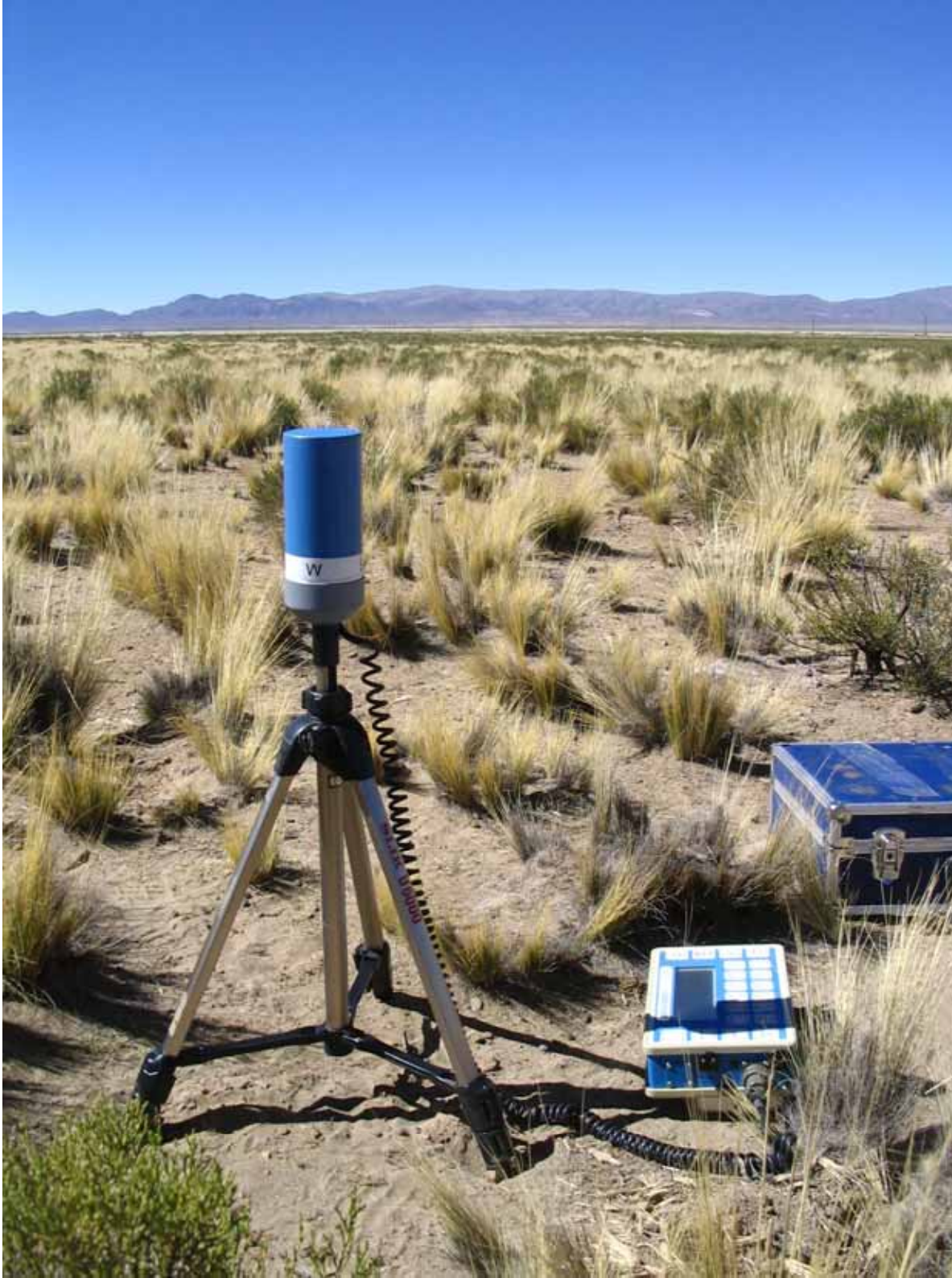
*A menor espaciado,  
mejor definición de la  
anomalía en: amplitud,  
forma, gradientes,  
orientación*





# Corrección por variación diurna del CMT





## Estación base

Magnetómetro registrando en forma continua en un punto fijo, mientras dura el relevamiento

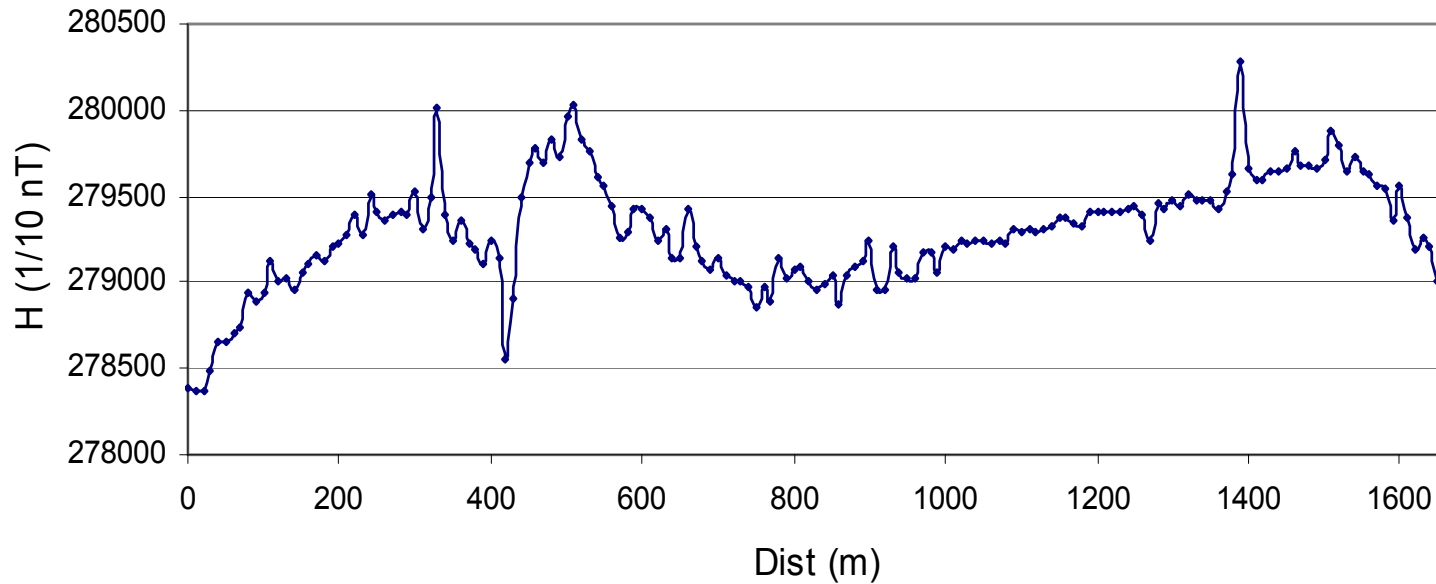
Alternativa:  
observatorios  
magnéticos en  
cercanías, a menos  
de 150 km  
(Pilar, Las Acacias,  
Trelew)



Estación	Mediciones de intensidad		Promedio	Hora
1	24228	24227,9	<b>24227,95</b>	11,241
2	24226,2	24226,9	<b>24226,55</b>	11,352
3	24227,2	24227,3	<b>24227,25</b>	11,410
4	24228,6	24228,3	<b>24228,45</b>	11,437
5	24228	24228,1	<b>24228,05</b>	11,466
6	24231,2	24231,3	<b>24231,25</b>	11,496
7	24219,7	24219,8	<b>24219,75</b>	11,523
8	24229,1	24229,1	<b>24229,1</b>	11,552
9	24222,2	24222,2	<b>24222,2</b>	11,575
10	24218,6	24219,1	<b>24218,85</b>	11,601
11	24241,7	24242	<b>24241,85</b>	11,624
12	24242,5	24242,5	<b>24242,5</b>	11,674
13	24233,4	24233,4	<b>24233,4</b>	11,697
14	24230,5	24230,4	<b>24230,45</b>	11,728
15	24240,7	24240,7	<b>24240,7</b>	11,751
16	24247,5	24247,5	<b>24247,5</b>	11,779
17	24243,5	24243,5	<b>24243,5</b>	11,813
18	24238,5	24238,5	<b>24238,5</b>	11,900
19	24236	24236	<b>24236</b>	11,928
20	24227	24227	<b>24227</b>	11,959
21	24228	24228,1	<b>24228,05</b>	11,988
22	24233,8	24233,9	<b>24233,85</b>	12,041
23	24235,2	24235	<b>24235,1</b>	12,067
24	24234,4	24234,4	<b>24234,4</b>	12,095
25	24235,8	24235,8	<b>24235,8</b>	12,122
26	24238,9	24238,9	<b>24238,9</b>	12,149
27	24239,7	24239,7	<b>24239,7</b>	12,178
28	24244,3	24244,1	<b>24244,2</b>	12,206
29	24245,5	24245,4	<b>24245,45</b>	12,233

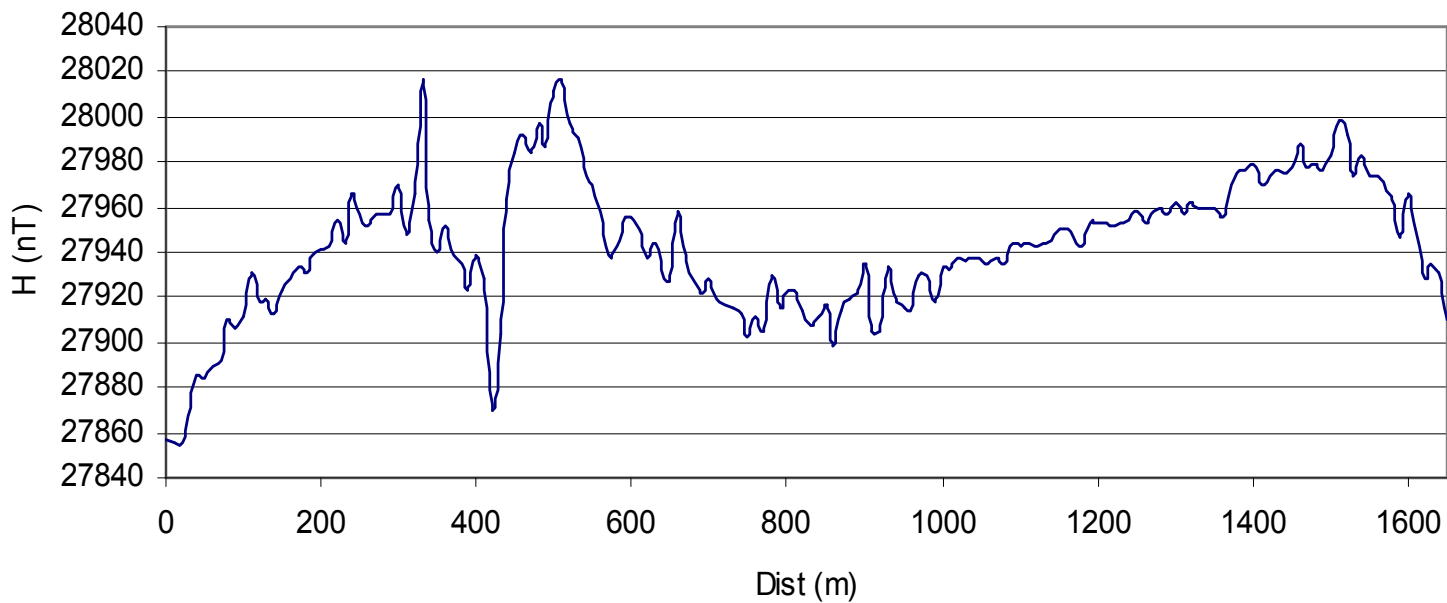
Ejemplo de planilla de datos  
de relevamiento  
magnetométrico terrestre

**Perfil Cerro Dragón (datos s/procesar)**



- Perfil magnetométrico sin procesar

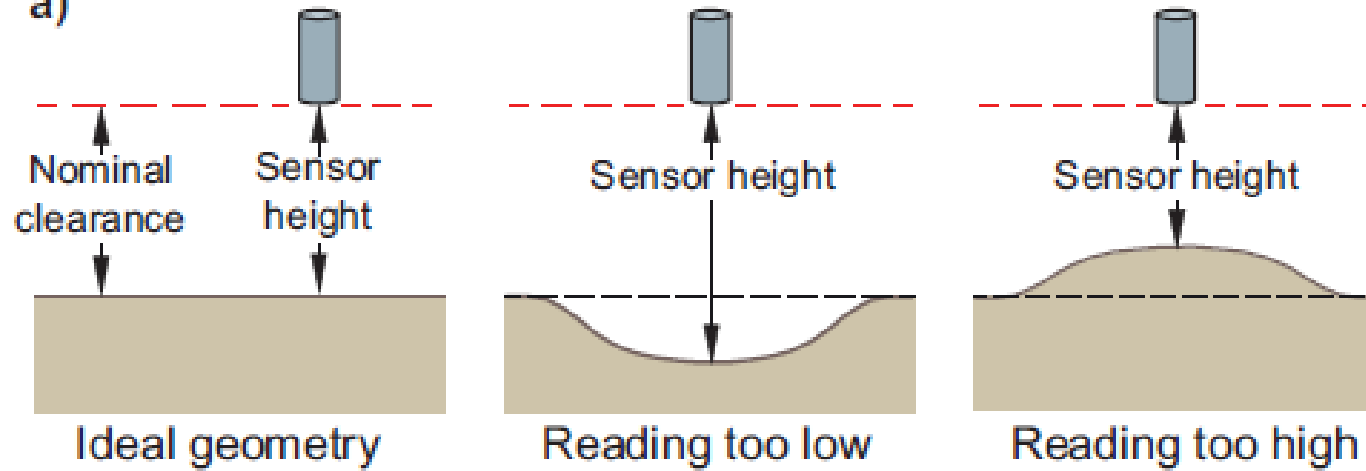
**Perfil Cerro Dragón 4 (CD-4)**



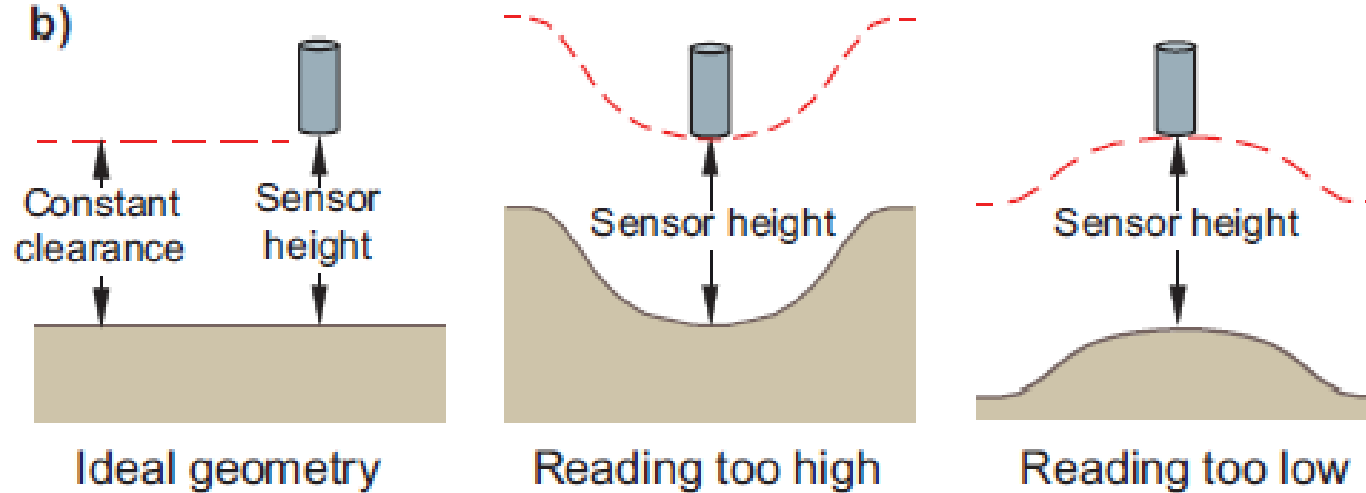
- Perfil magnetométrico luego de la reducción de datos y corrección por variación diurna

## Efectos de la topografía en las mediciones

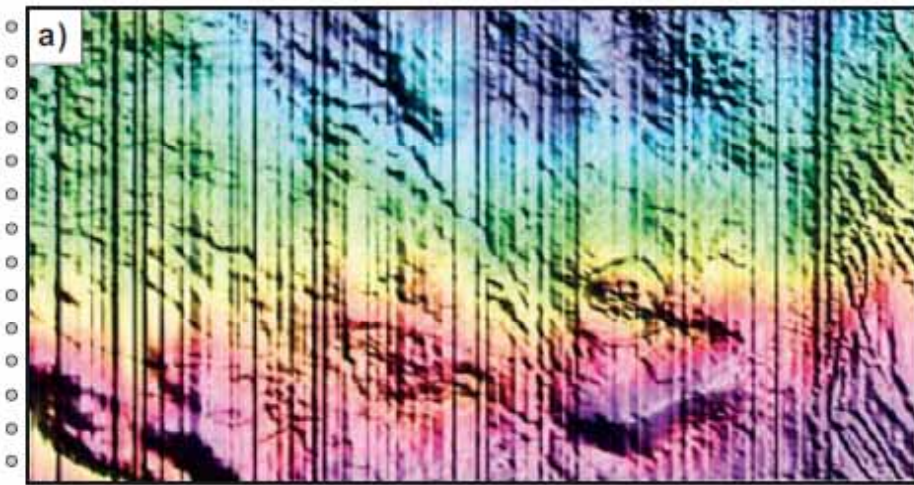
a)



b)

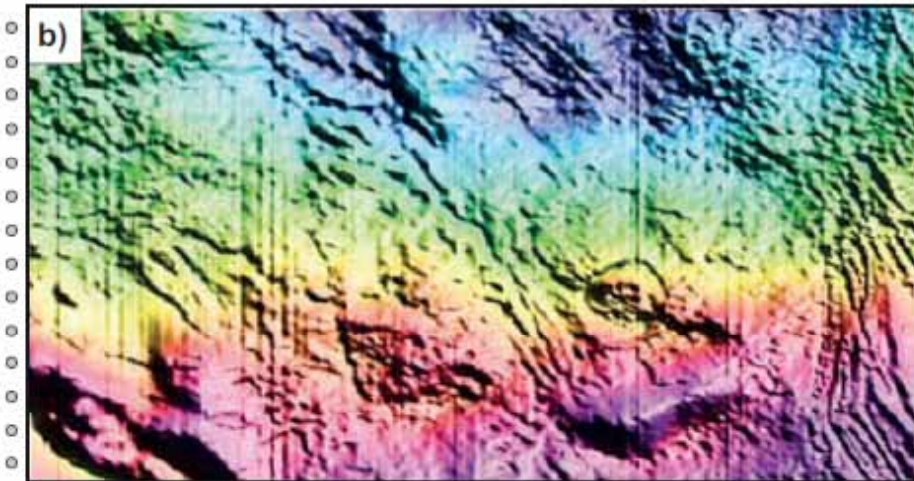




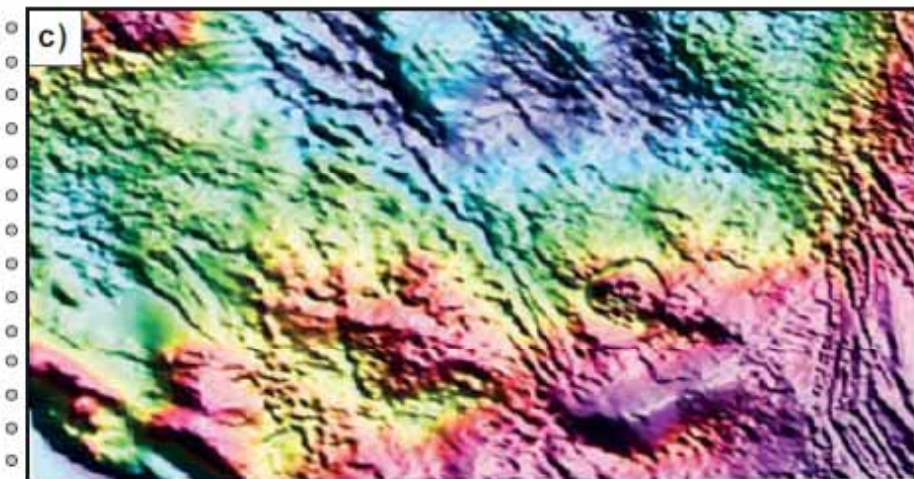


*TMI en pseudocolor con relieve  
sombreado iluminado desde el NE.  
Líneas de vuelo N-S*

Con corrección por orientación del avión



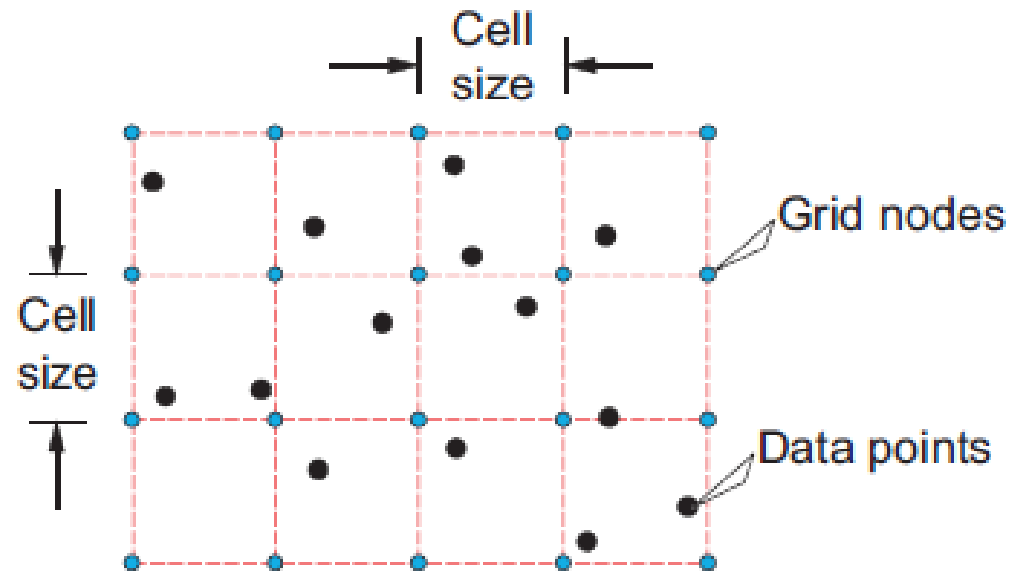
Con corrección por variación diurna



Con nivelación usando líneas de control

# Grillado

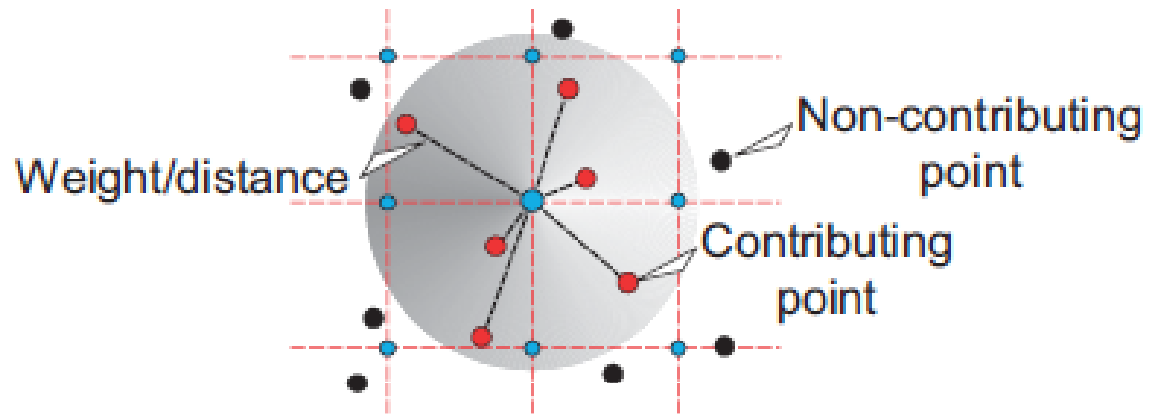
La mayoría de los métodos de procesamiento y presentación de datos requieren puntos regularmente espaciados. Esto exige algún tipo de interpolación. La interpolación se basa en el análisis de una ventana de datos alrededor del **nodo** de la grilla. Normalmente se asume que la propiedad que se mide varía espacialmente de modo continuo.



*El espaciado más adecuado para la grilla está entre  $1/3$  y  $1/5$  del espaciado de las líneas del relevamiento*



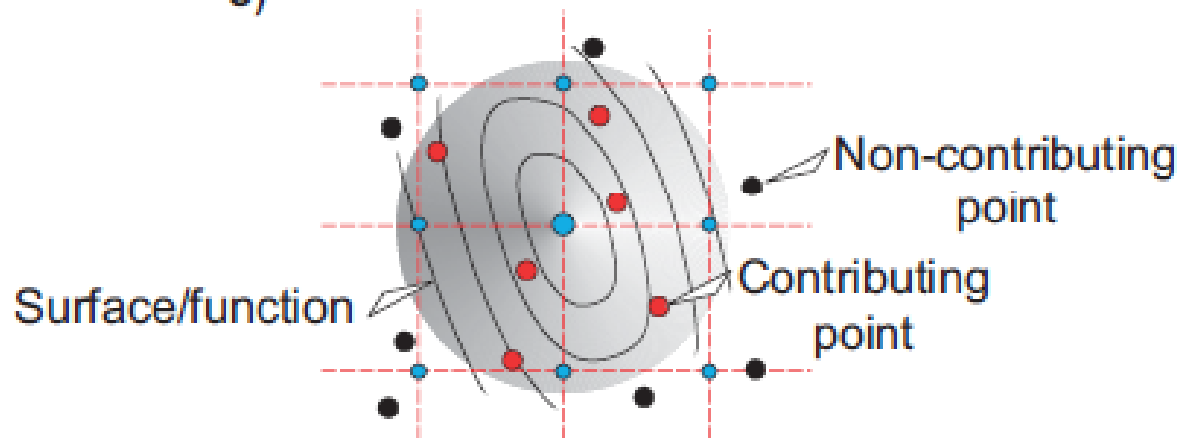
El valor de un nodo puede establecerse:



**Estadísticamente:**

- Promedio ponderado
- Vecino más cercano
- Kriging

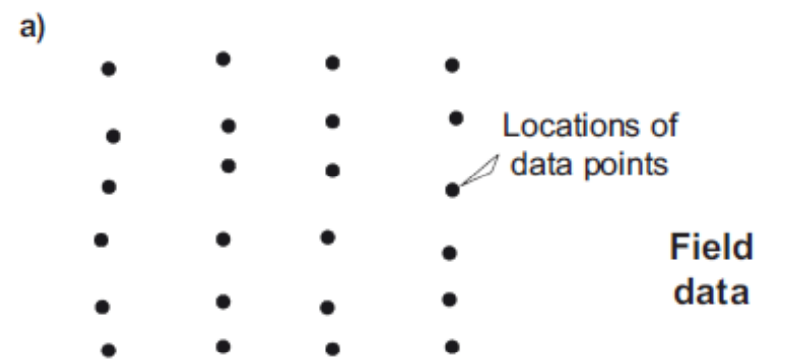
c)



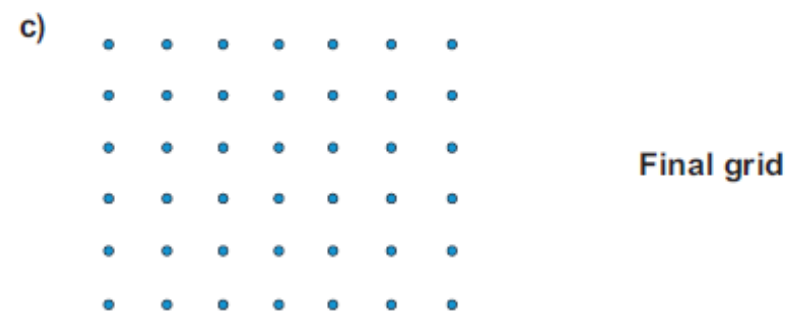
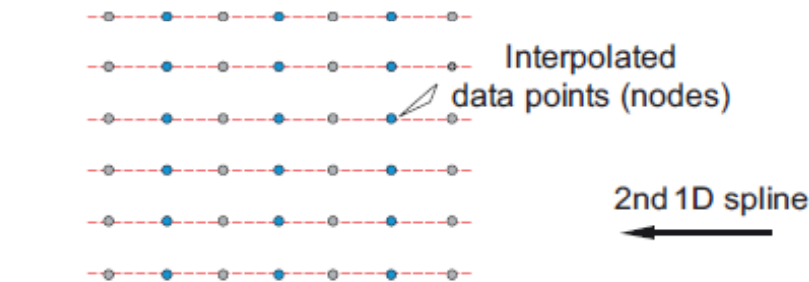
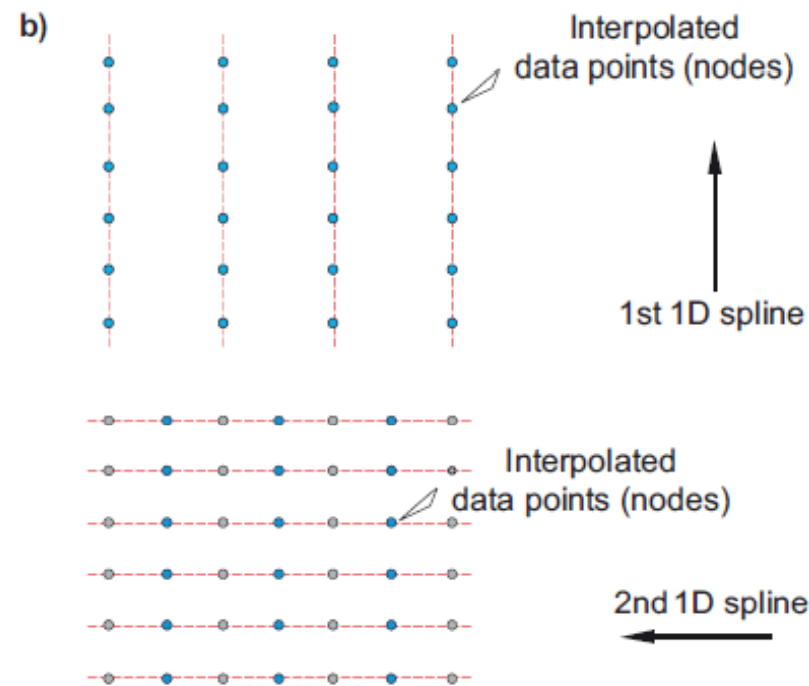
**Ajustando una función matemática:**

- Spline
- Función polinómica

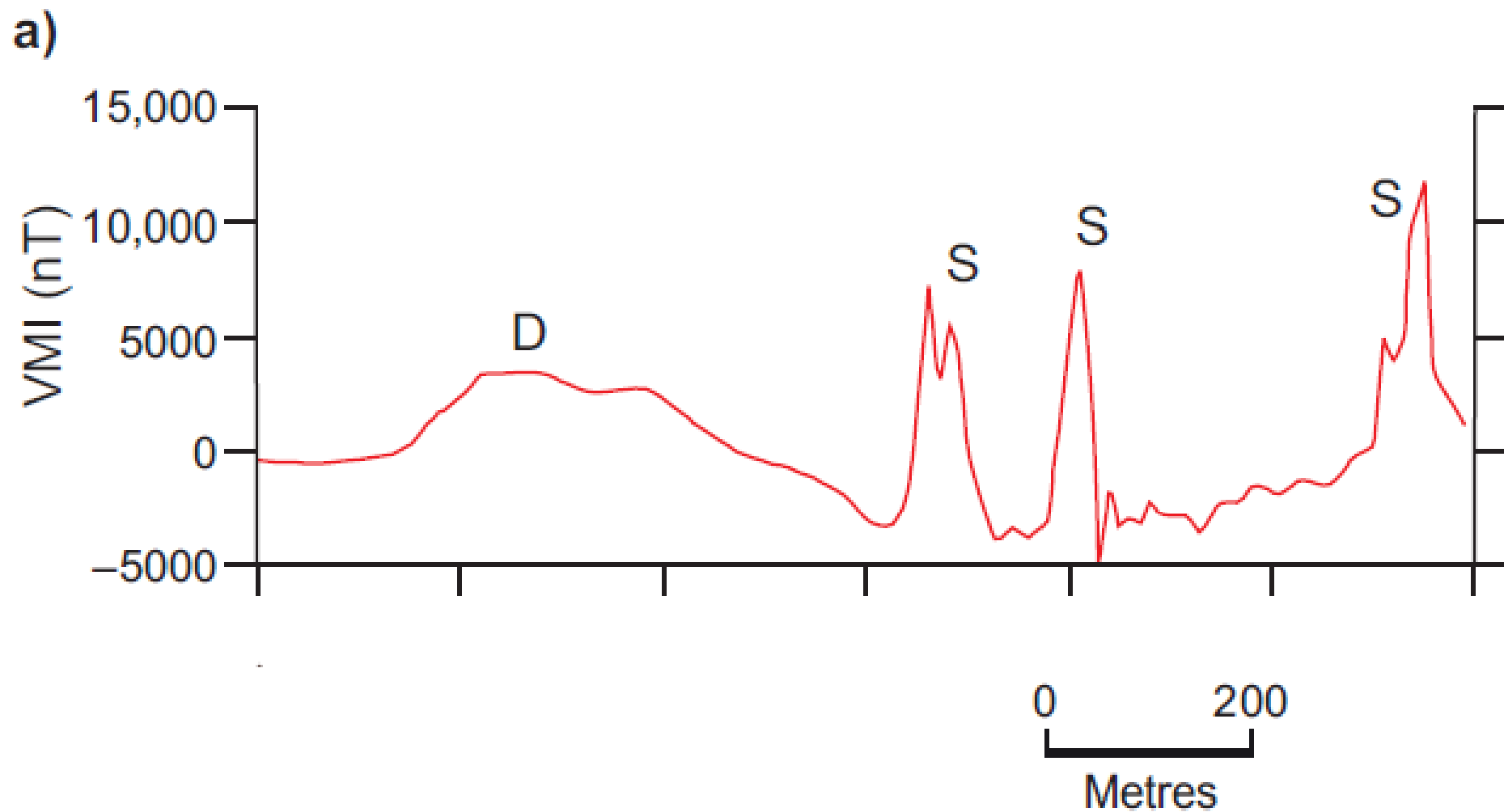
entre otros...



Grillado bidireccional

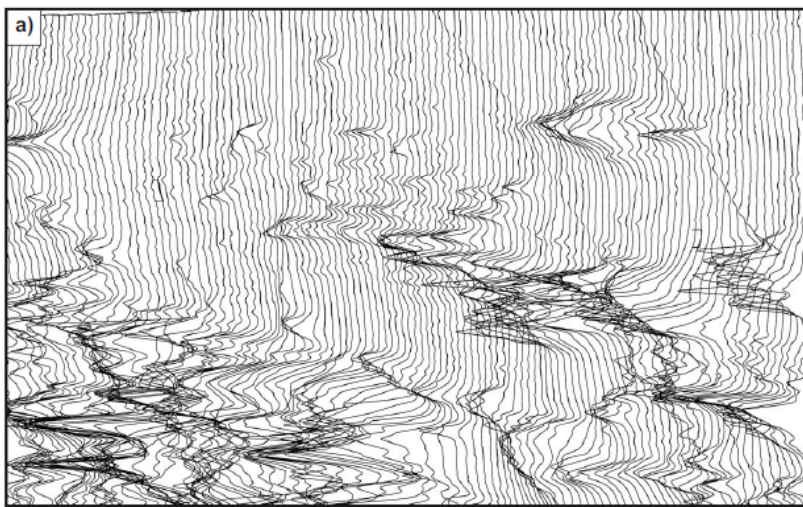


## Formas de presentación de datos: 1D (perfiles)



## Formas de presentación de datos: 2D (mapas)

Perfiles apilados: muestra los datos crudos, sin grillar



Contornos: permiten leer amplitudes, se destacan los gradientes

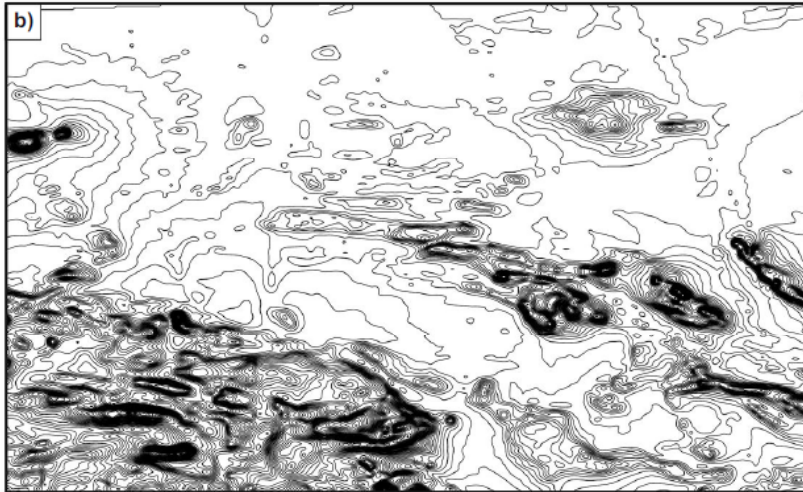
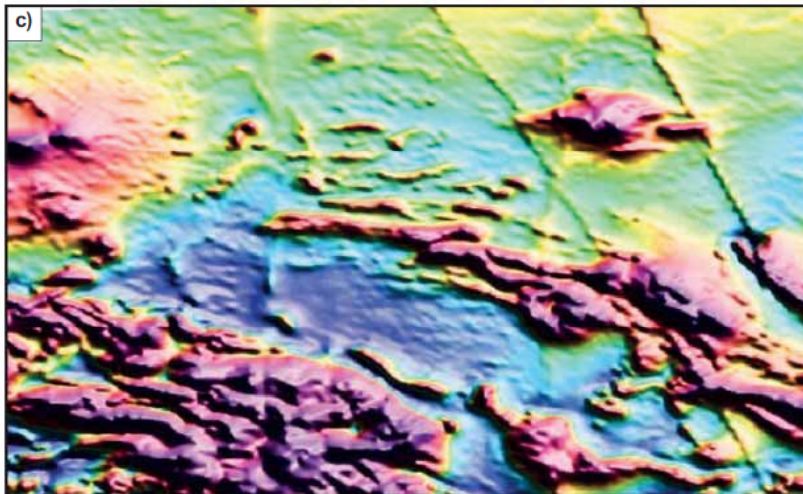
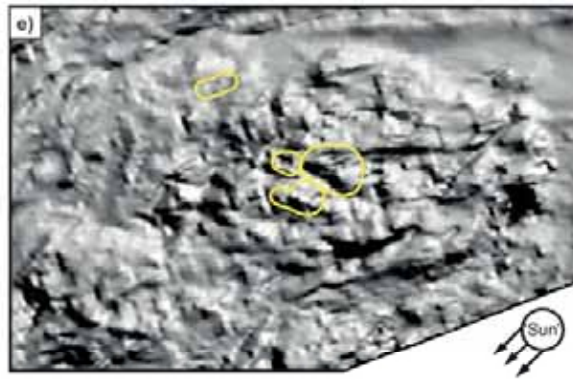
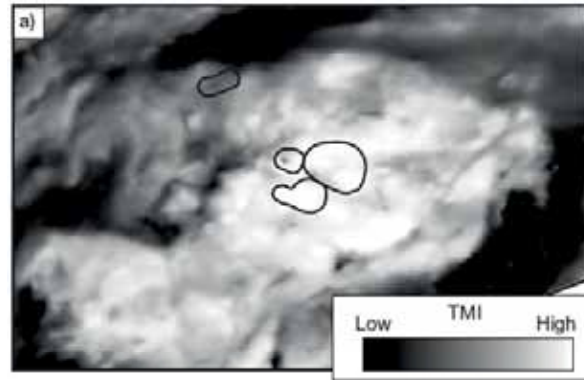


Imagen de pixeles



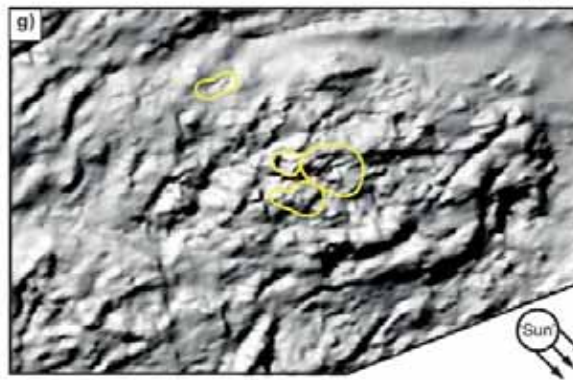
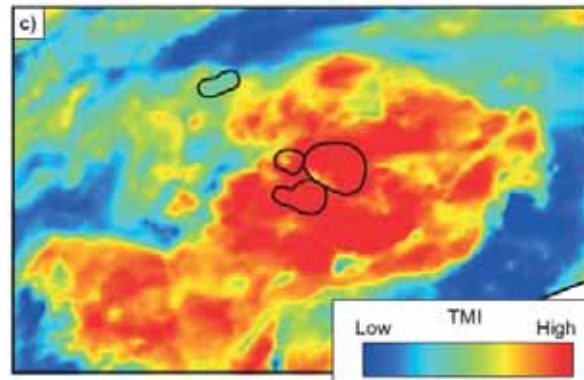
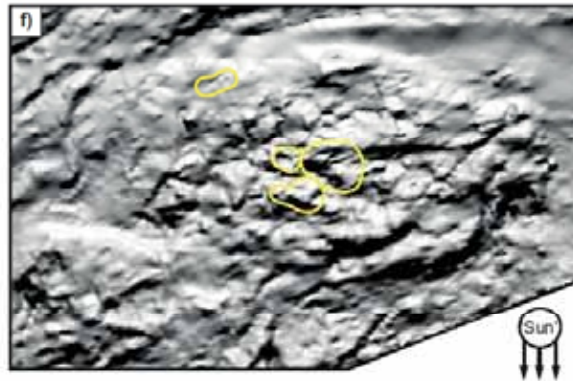
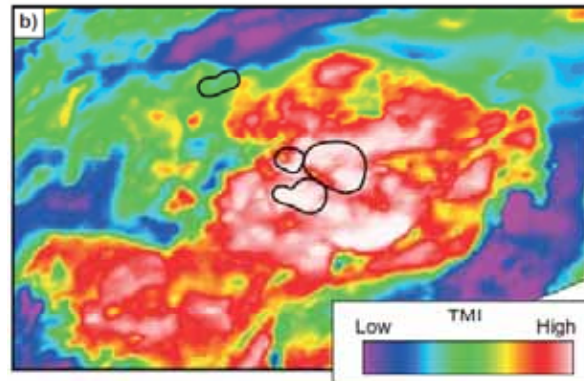


Escala de grises



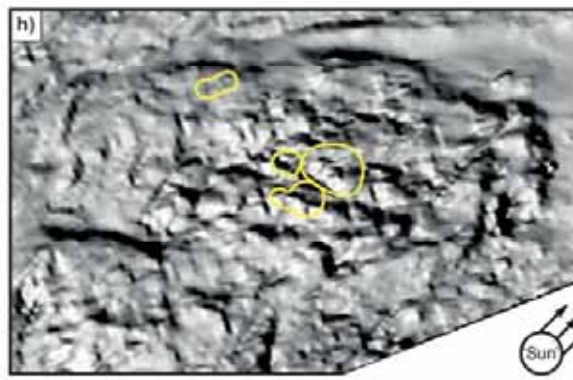
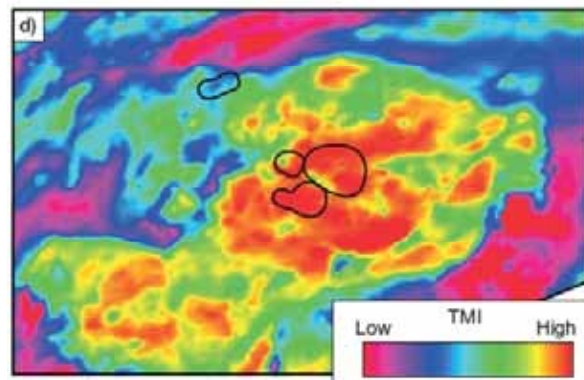
Relieve  
sombreado  
desde  
distintos  
ángulos

Multicolor  
(varias  
escalas)

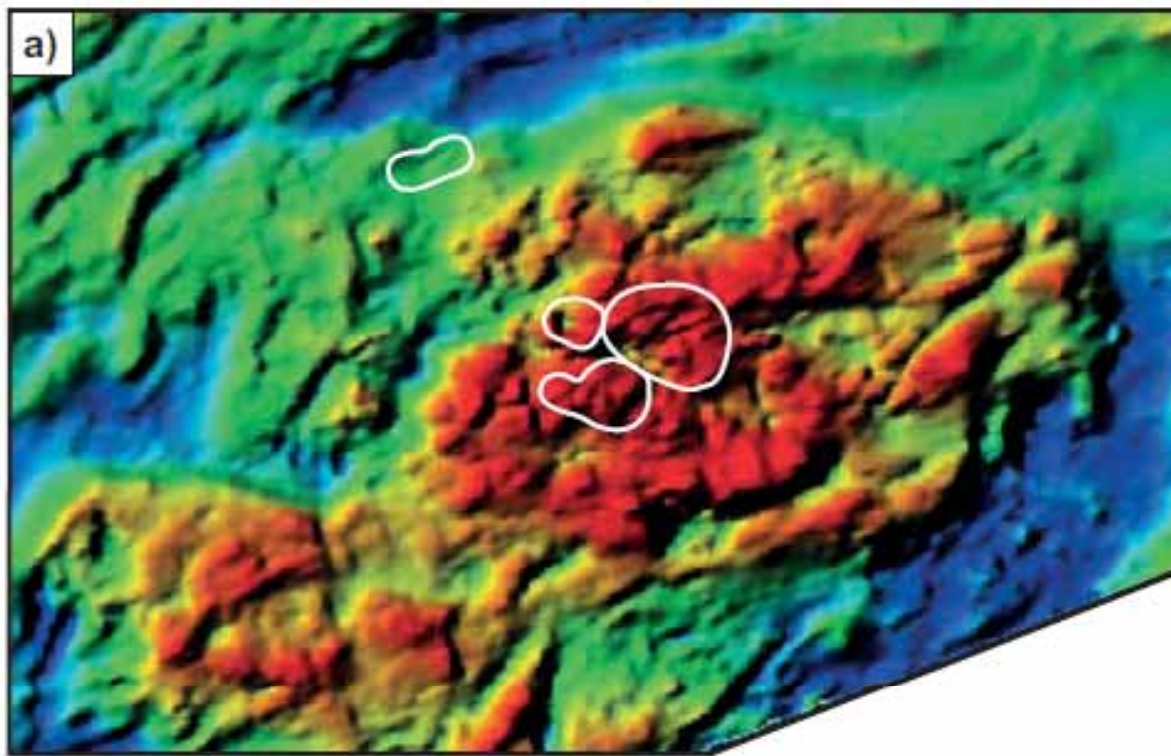


*Realza las  
variaciones  
de onda  
corta*

*Muestran  
las  
amplitudes*

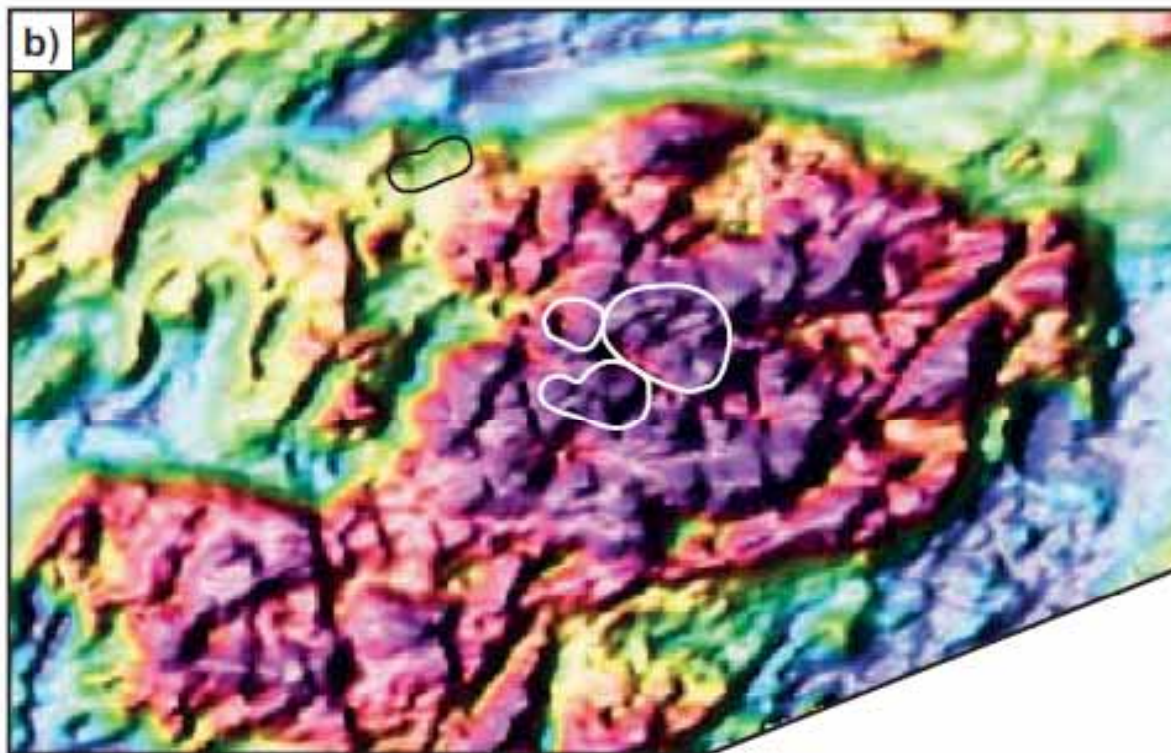






Relieve sombreado  
superpuesto al color

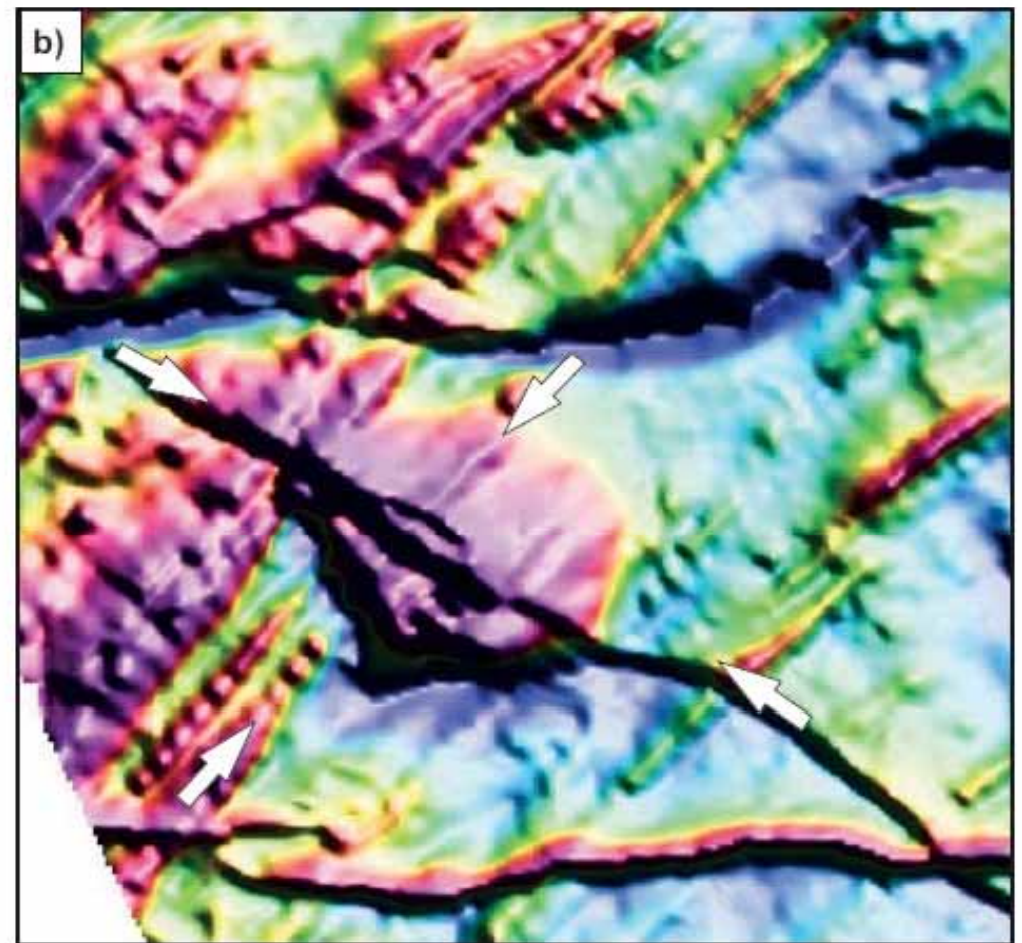
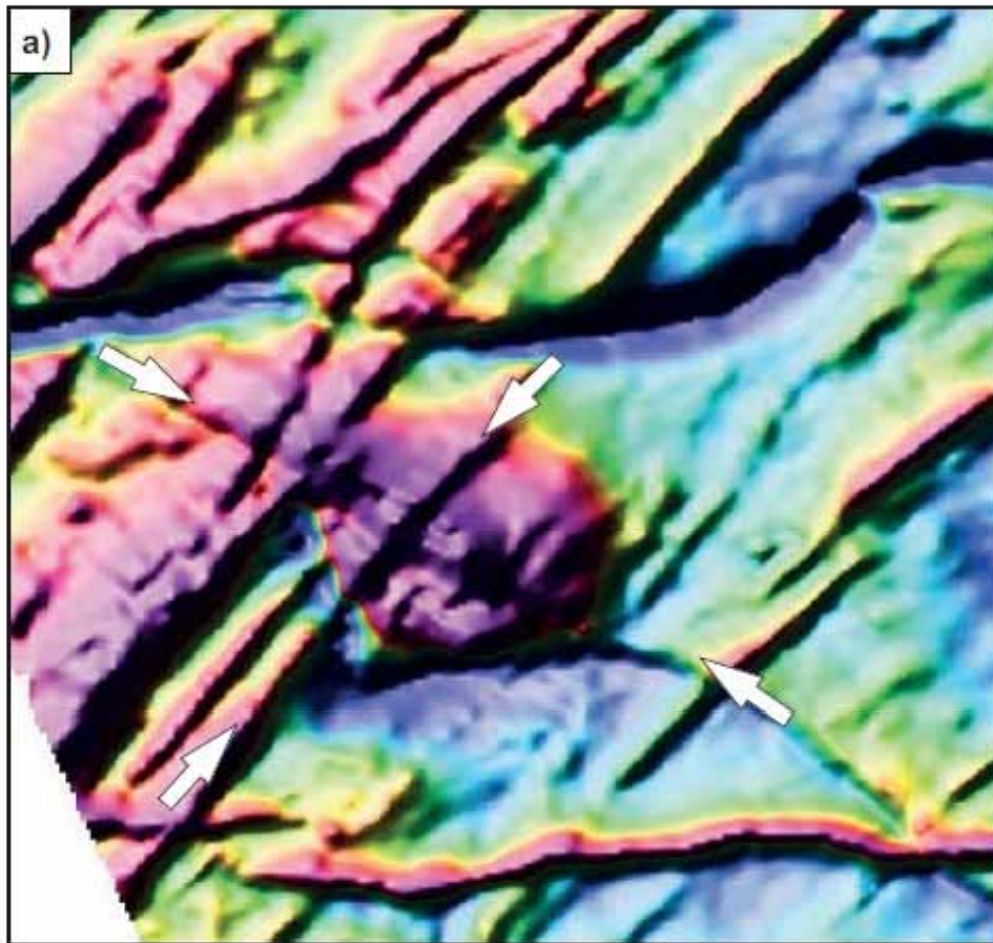
Relieve en escala de grises



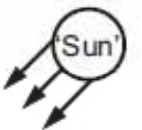
*Amplitud en  
pseudocolor, con  
relieve sombreado en  
escala de grises.  
El pseudocolor  
enfatisa amplitud, y el  
sombreado realza la  
textura.*

Relieve en “wet-look”



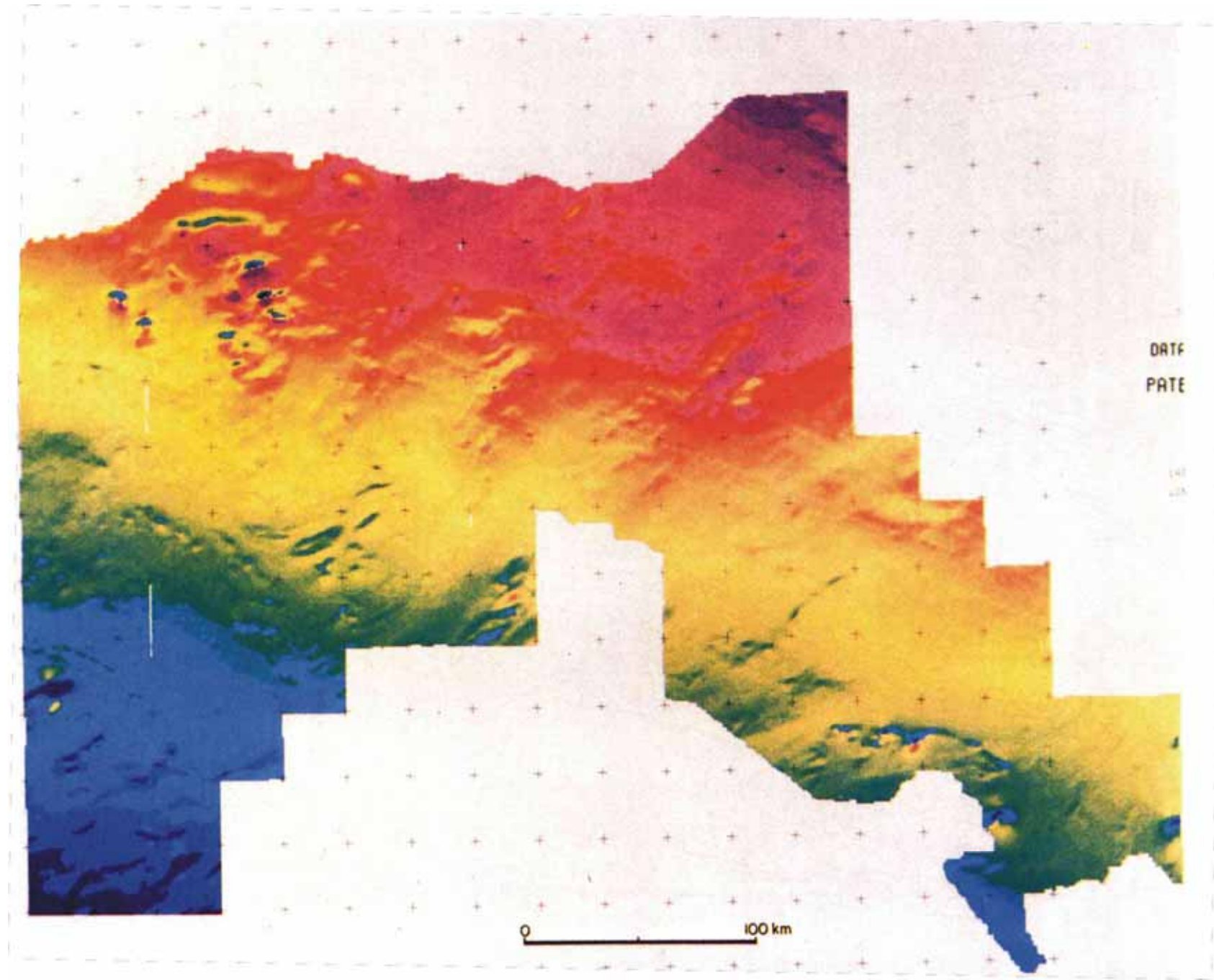


0 2  
Kilometres



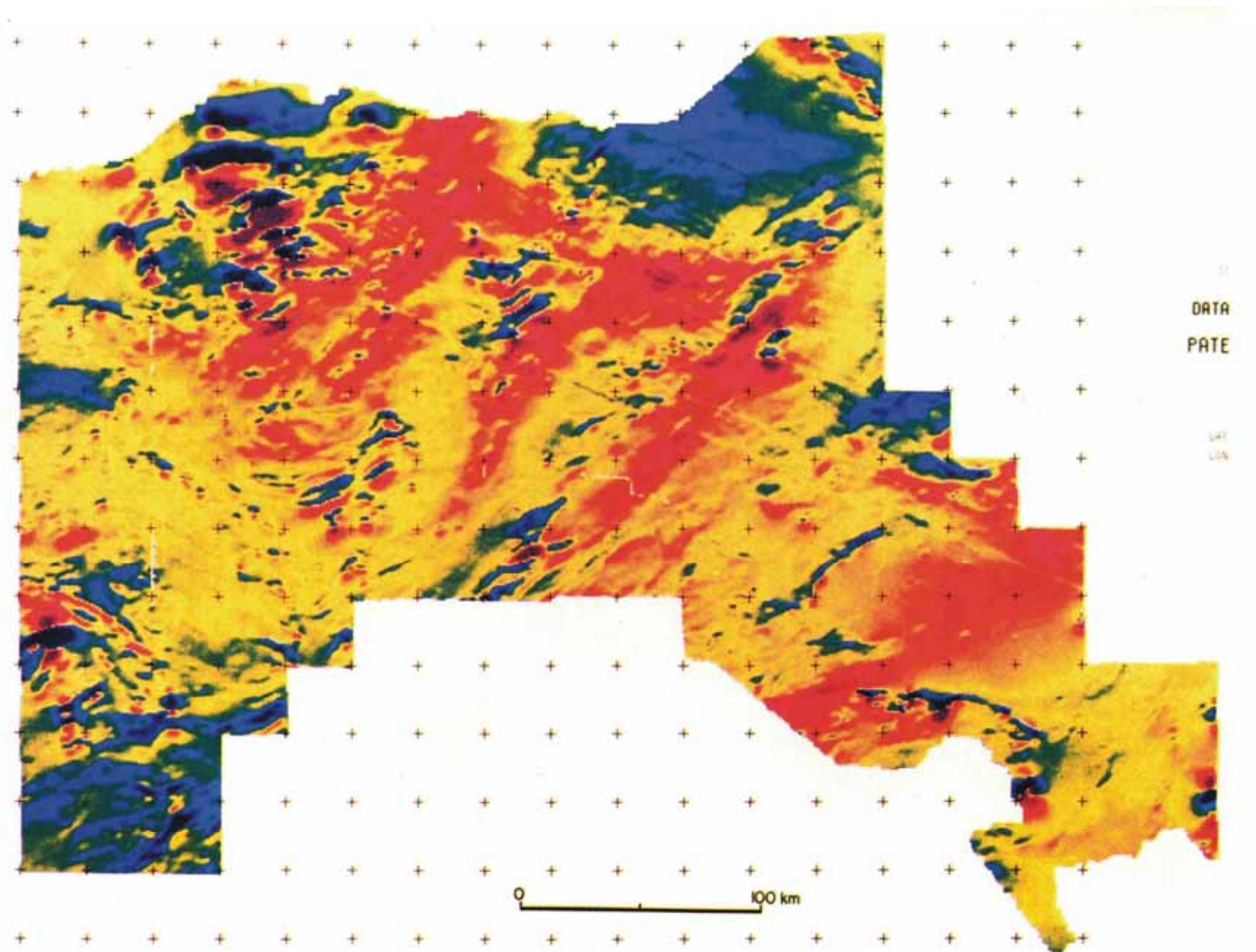
Variar la dirección del sombreado permite resaltar rasgos con diferentes orientaciones

# Reducción de los datos (eliminación del IGRF)





# Reducción de los datos (eliminación del IGRF)



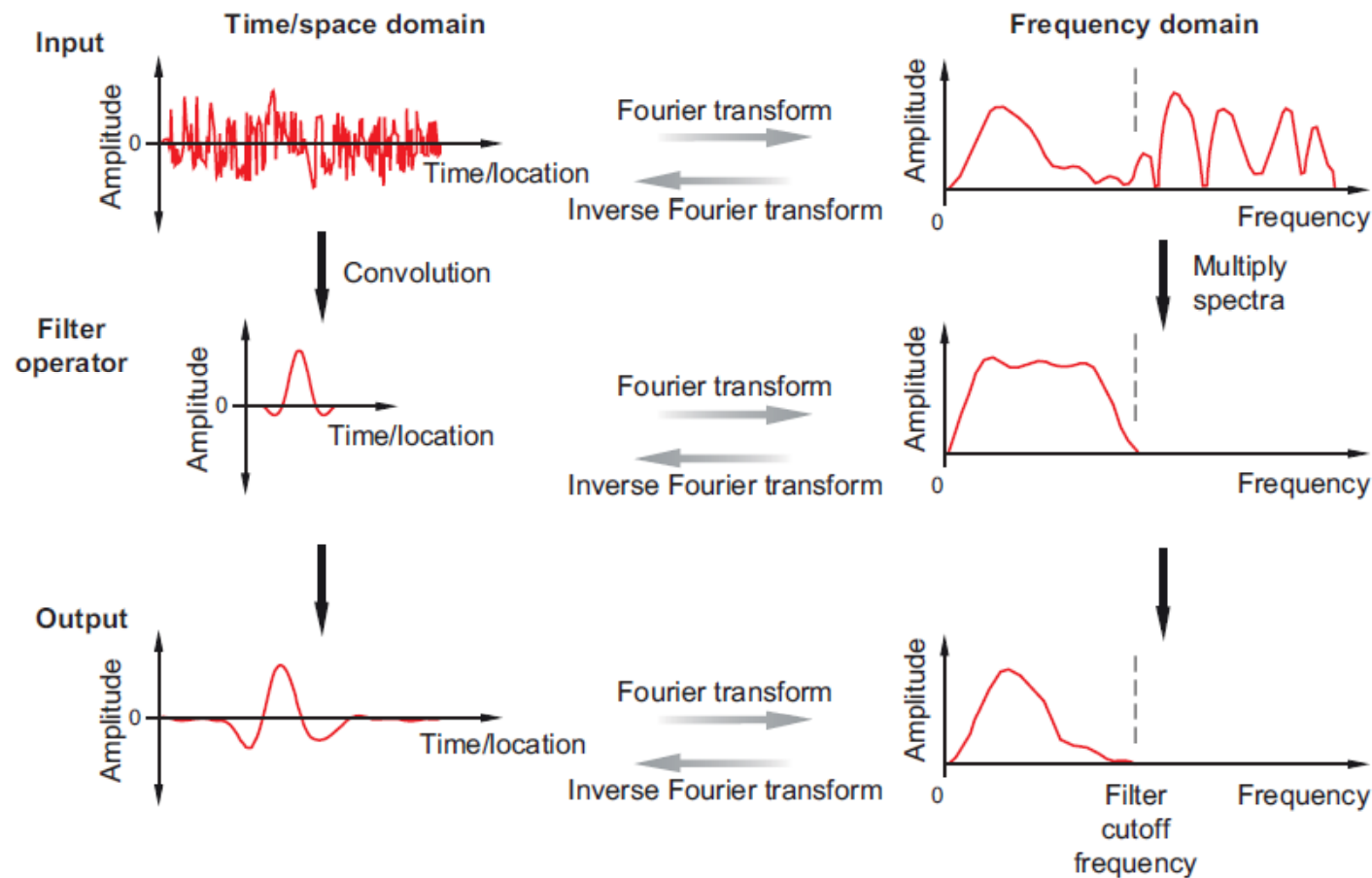
## Síntesis de los procedimientos de adquisición y reducción de datos

- Realizar las mediciones a lo largo de perfiles o grillas en el área seleccionada.
- Editar los datos para localizarlos correctamente y para remover picos espurios.
- Corregir las mediciones por el efecto de la variación diurna (y por variación secular si la adquisición de datos se hizo en varias etapas separadas en el tiempo).
- Sustraer el valor debido al campo principal, nivelar usando líneas de control, grillar.
- Presentar en perfiles o mapas.

## Realce y presentación de datos

**Filtros:** operaciones matemáticas que cambian los datos de un modo conocido. Se usan para enfatizar características particulares, o para suprimir rasgos indeseables.

Implican *transformación y convolución*



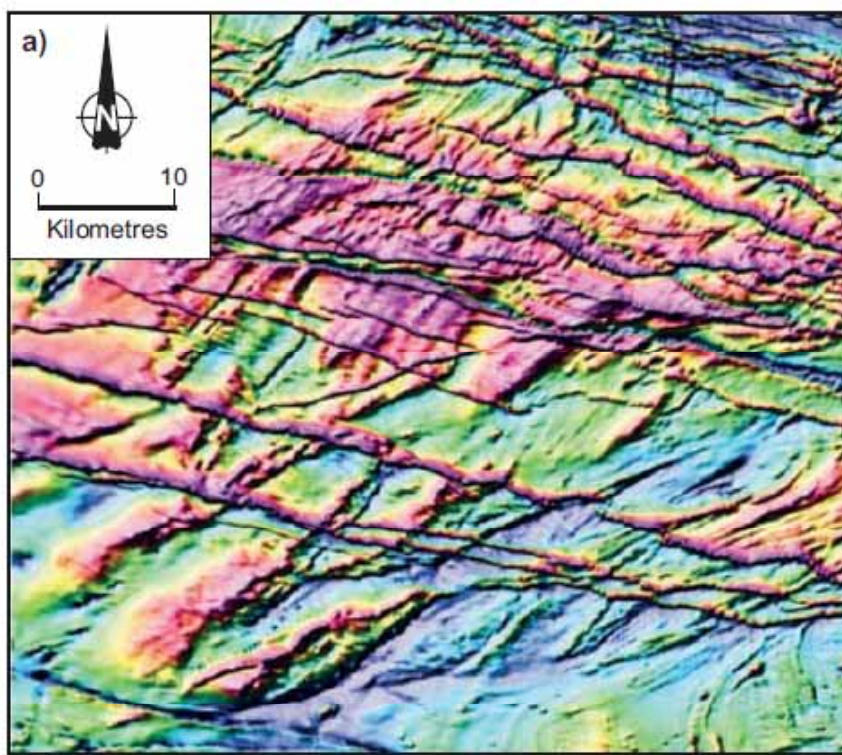
# Filtros

Objetivo: transformar respuestas a formas más simples que se relacionen más directamente con sus fuentes, y mejorar la resolución de rasgos particulares

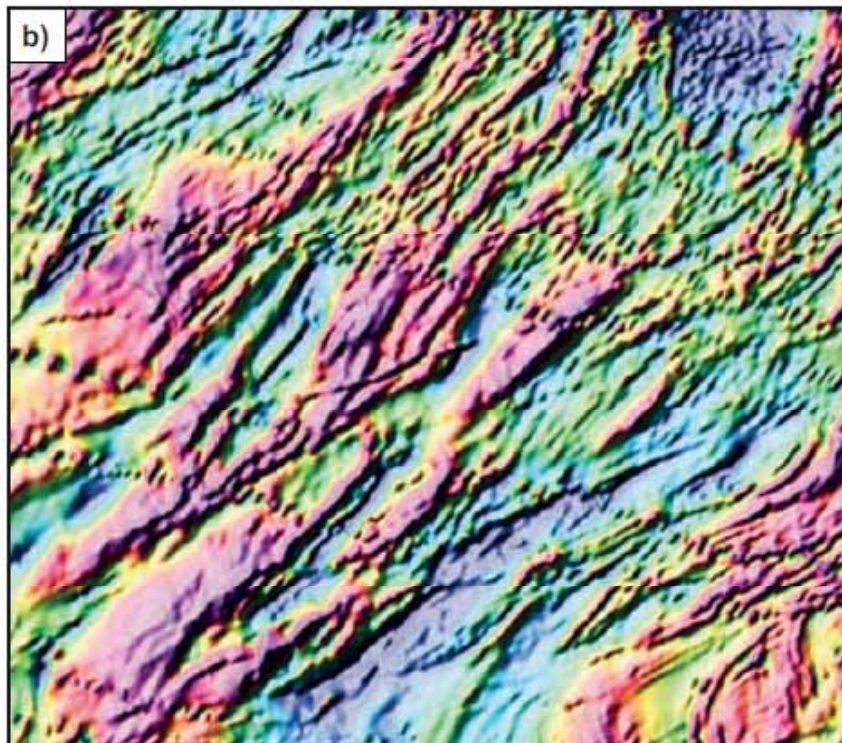
*La mayor parte de ellos son similares a los aplicados en gravimetría, ya que se basan en la física de los campos de potencial:*

- Gradientes: *derivadas direccionales, primera y segunda derivada, señal analítica*
- Continuación ascendente y descendente
- Reducción al polo ( o al ecuador)
- Pseudogravedad
- Susceptibilidad aparente
- Filtros de frecuencias, *paso alto , paso bajo, paso de banda*
- Suavizado: ej. *ventanas móviles*
- Escalamiento de amplitud: *control de ganancia automática (AGC)*
- Filtros direccionales

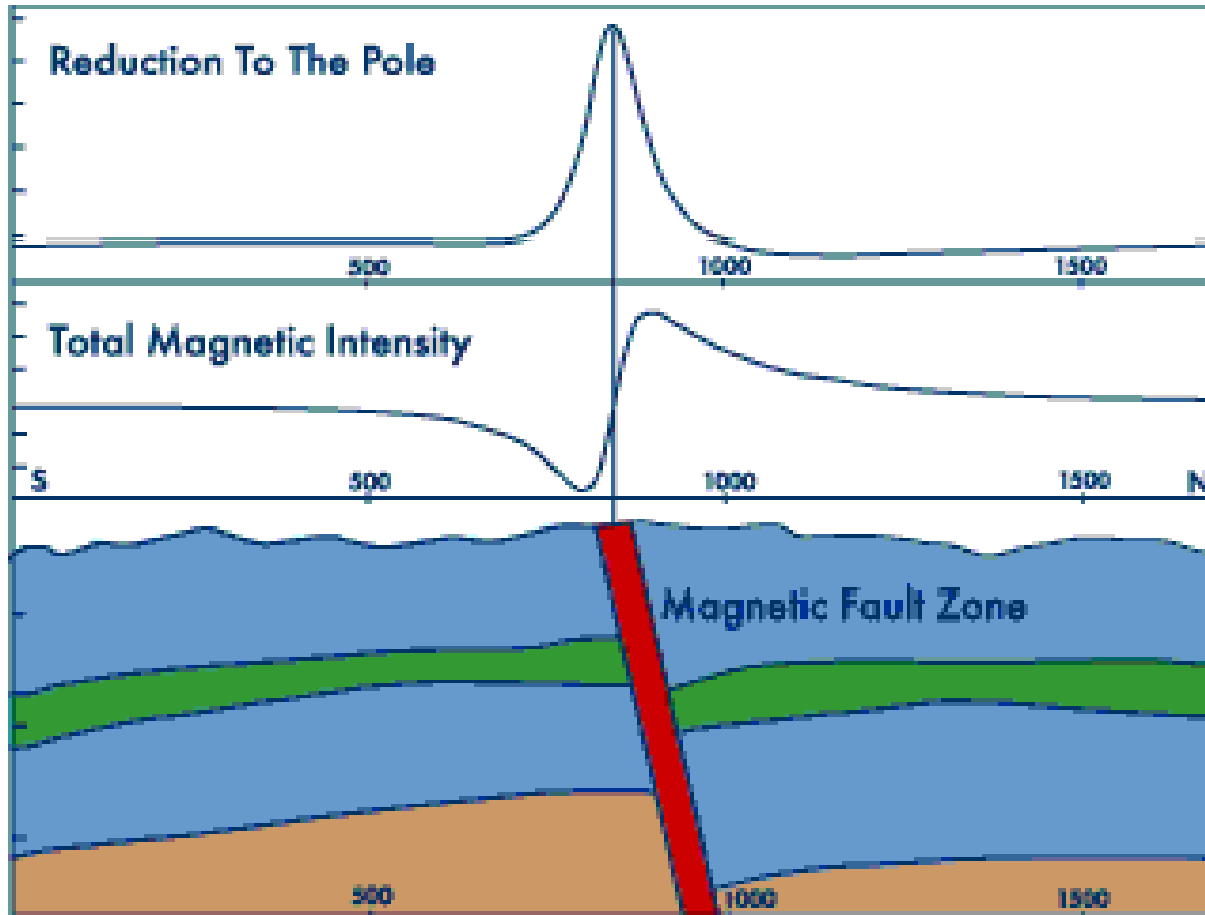




Filtrado direccional



## Reducción al polo

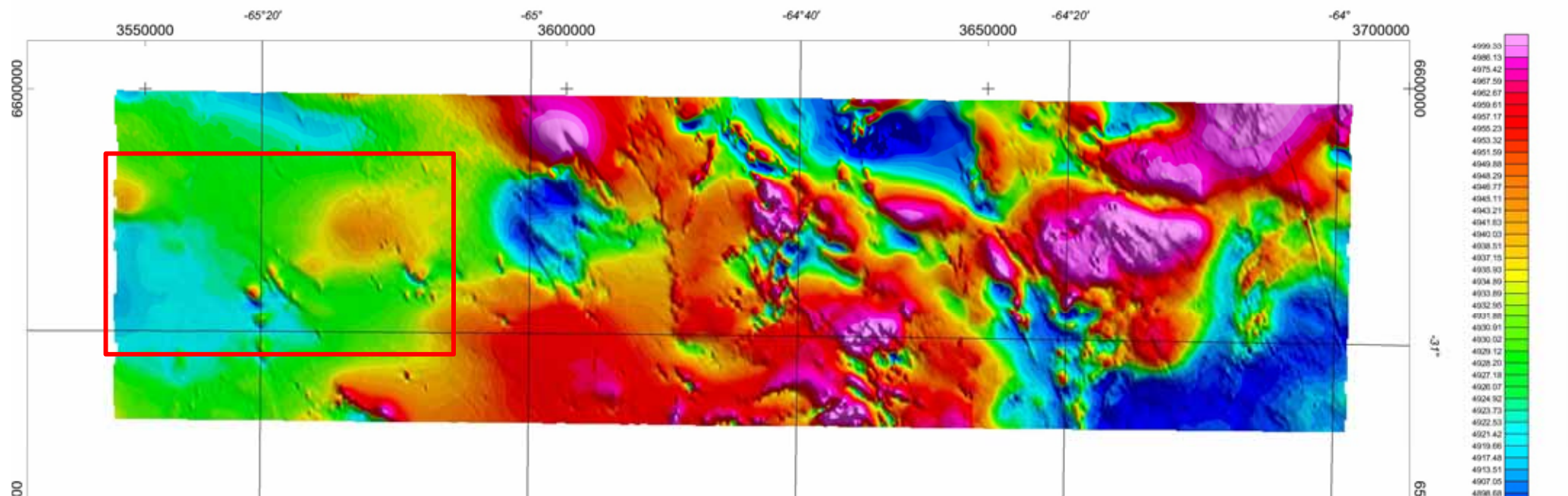


Transforma a las anomalías producidas por magnetización inclinada, en aquellas que se hubieran producido si la magnetización hubiera sido vertical (como en los polos).

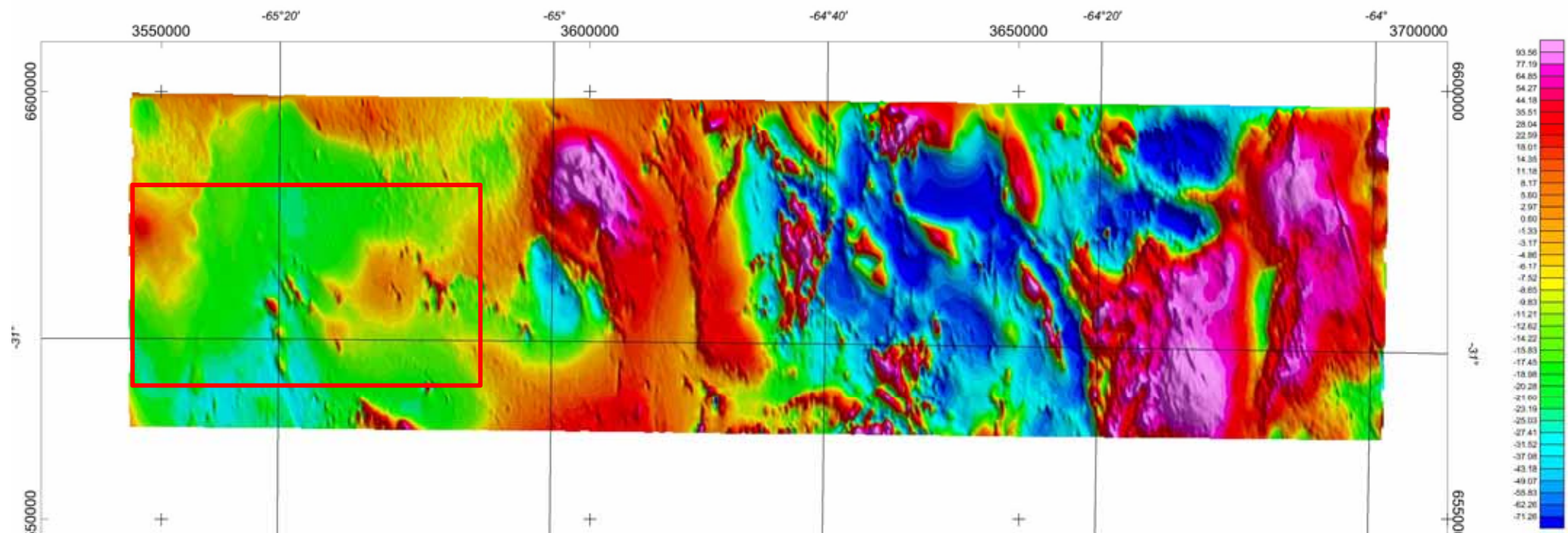
*Simplifica las anomalías y las sitúa sobre la fuente*



**BLOQUE CÓRDOBA**  
**Proyecto Sierras Pampeanas (AGSO - WGC)**  
**CAMPO MAGNÉTICO TOTAL**



**BLOQUE CÓRDOBA**  
**Proyecto Sierras Pampeanas (AGSO - WGC)**  
**CAMPO MAGNÉTICO TOTAL REDUCIDO AL POLO (RTP)**





TMI

## Reducción al polo

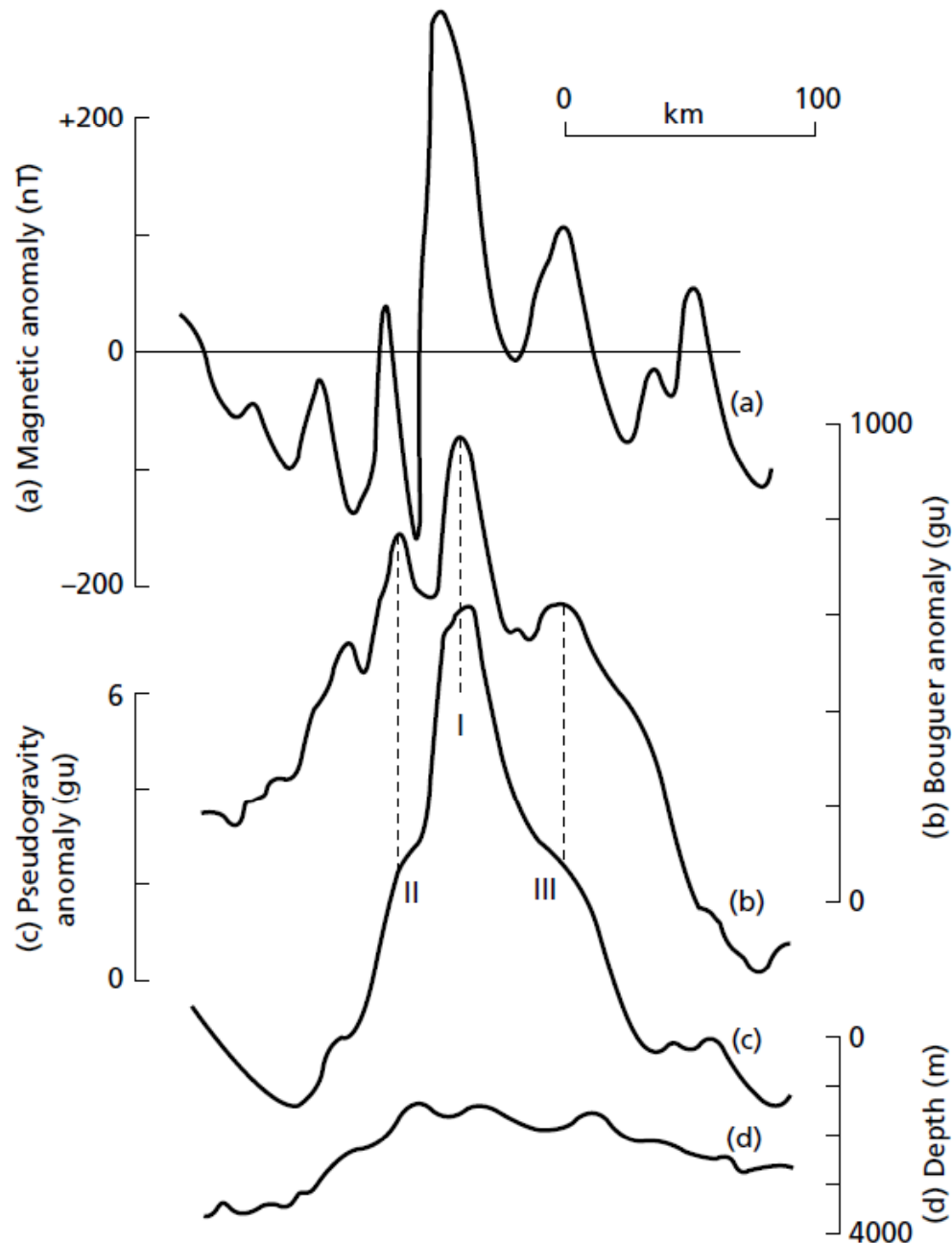
Transforma a las anomalías producidas por magnetización inclinada, en aquellas que se hubieran producido si la magnetización hubiera sido vertical (como en los polos).

Reducido al polo

*Simplifica las anomalías y las sitúa sobre la fuente*

*Se asume que la magnetización es inducida*

# Pseudogravedad



Transforma la anomalía magnética en la respuesta gravitatoria que se habría obtenido si la fuente magnética hubiera tenido una distribución similar de masas. Es decir, la densidad está relacionada con la magnetización.

*Se asume que la magnetización es inducida*

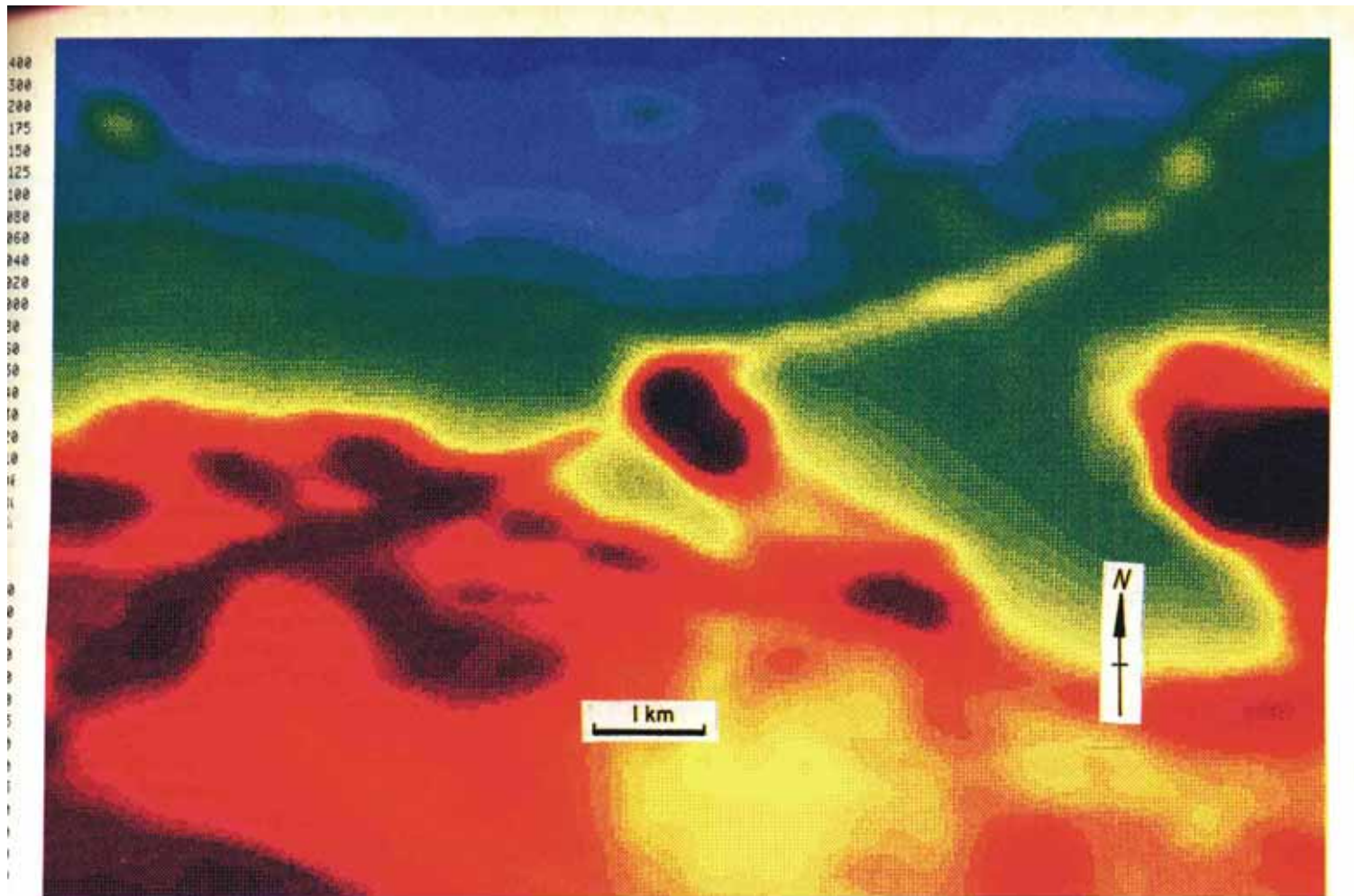
*Es útil comparar pseudogravedad con gravedad*

*No todas las masas anómalas son magnéticas*

Kearey et al. 2002

## Susceptibilidad aparente

Surge de asumir que la respuesta magnética se origina en un conjunto de prismas que se extienden infinitamente en la vertical. La magnetización en cada prisma es inducida. La profundidad al techo de los prismas es constante.



TMI

FIG. 11. Application of data enhancement methods to geologic interpretation of aeromagnetic data in the Northwest Territories, Canada. (a) Total magnetic field. Line spacing 400 m, height 150 m. 59 000 nT removed.



## Susceptibilidad aparente

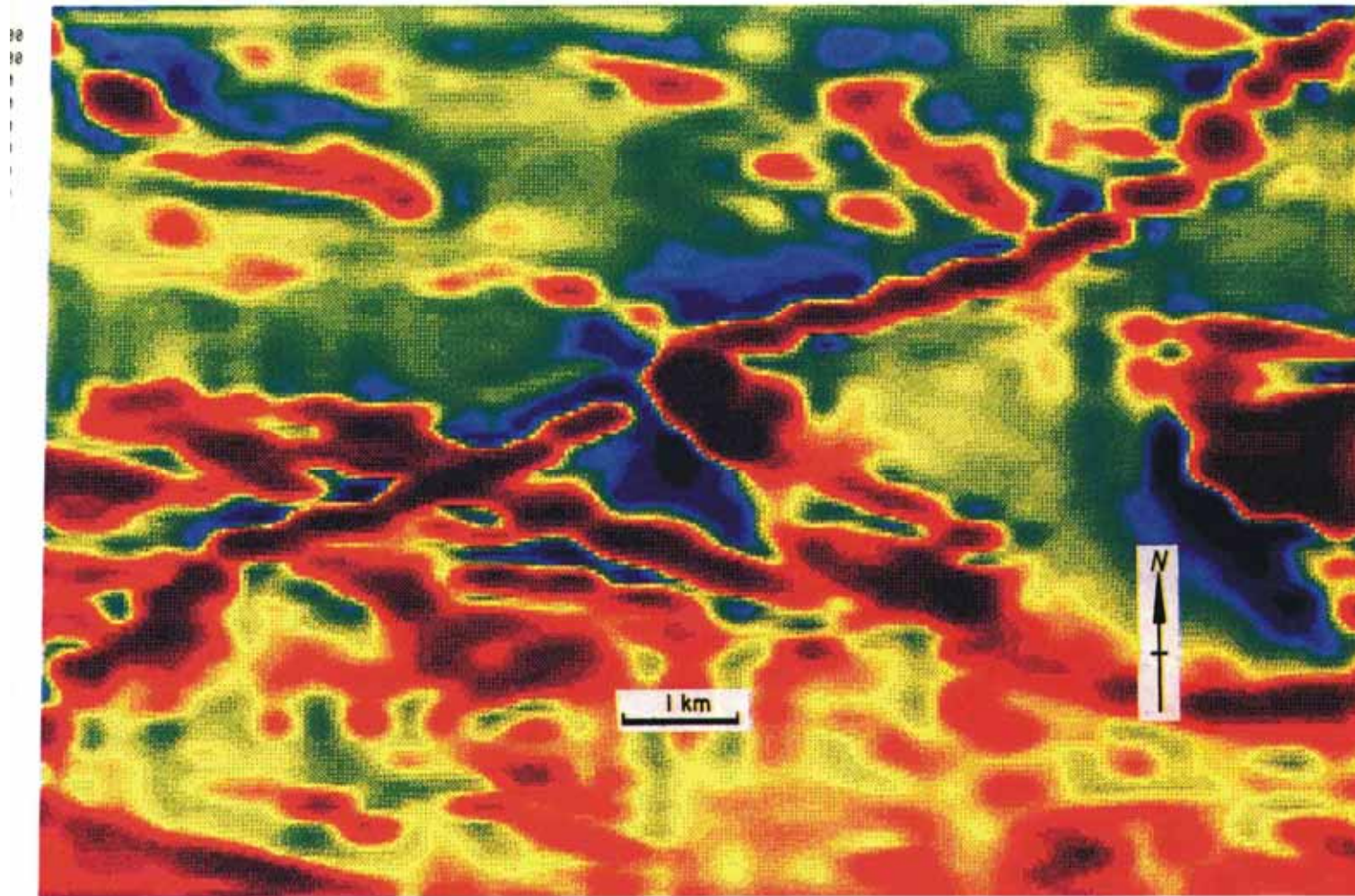


FIG. 11b. Apparent magnetic susceptibility obtained for vertical prismatic sources at ground surface.

Aplicable cuando puede asumirse que las fuentes magnéticas se encuentran a cierta profundidad constante, ej. Roca cristalina cubierta por hielo o por sedimentos no magnéticos

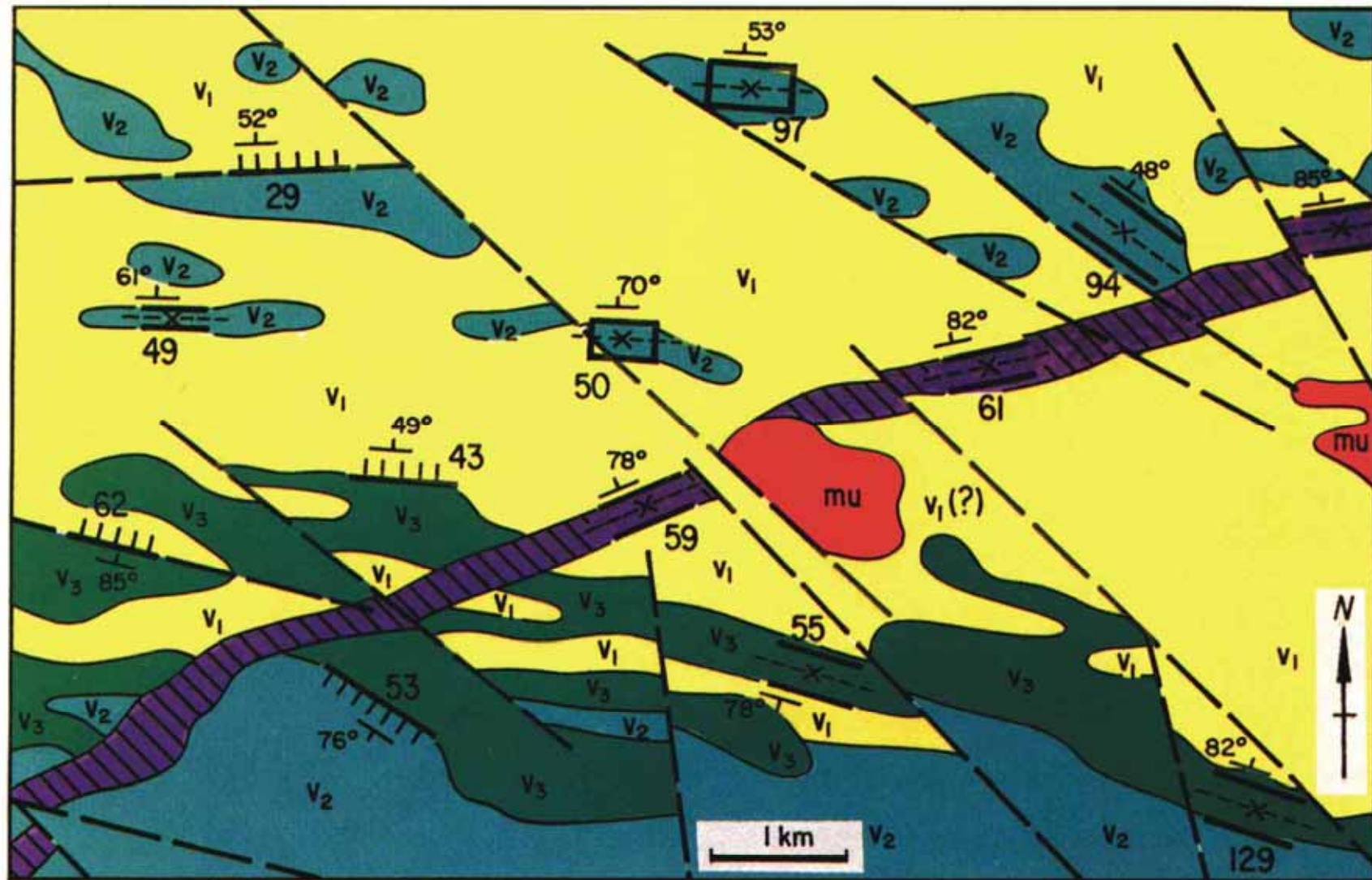
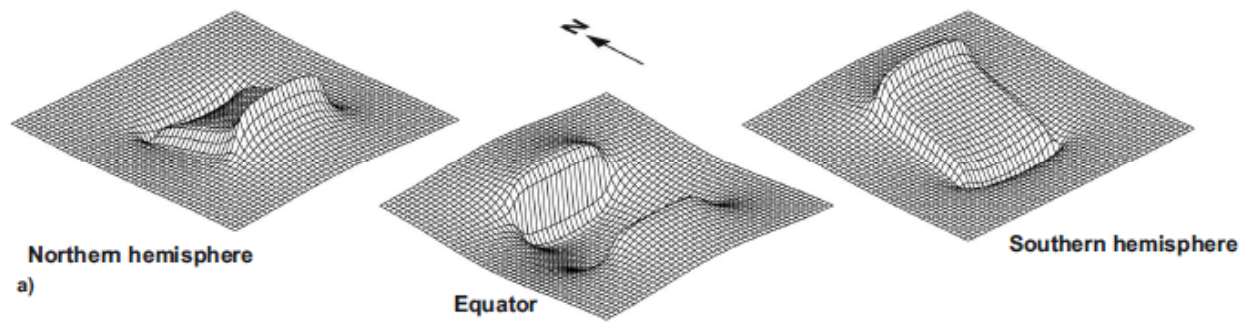


FIG. 11c. Map of pseudolithology and structure derived from (b) with the aid of selective inverse modeling.

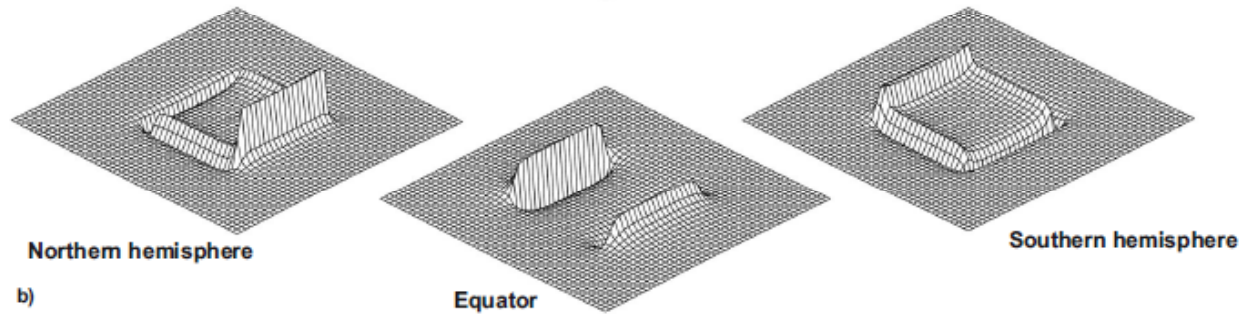
Mapa pseudolitológico a partir de susceptibilidad aparente



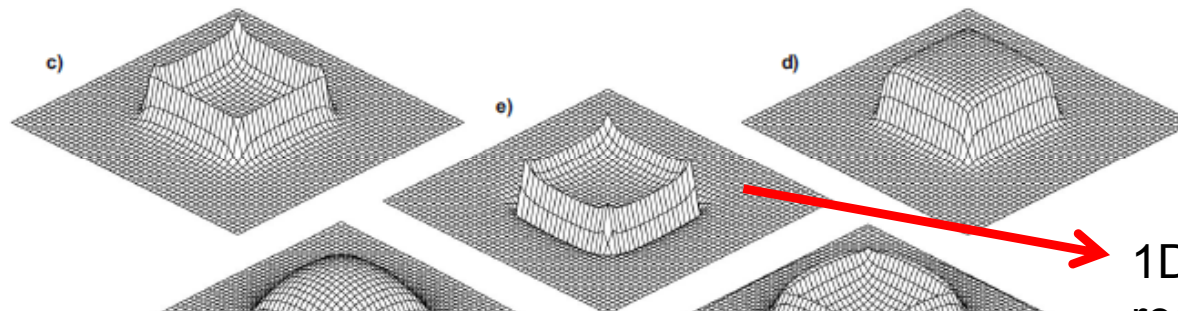
TMI



Primera derivada vertical del TMI

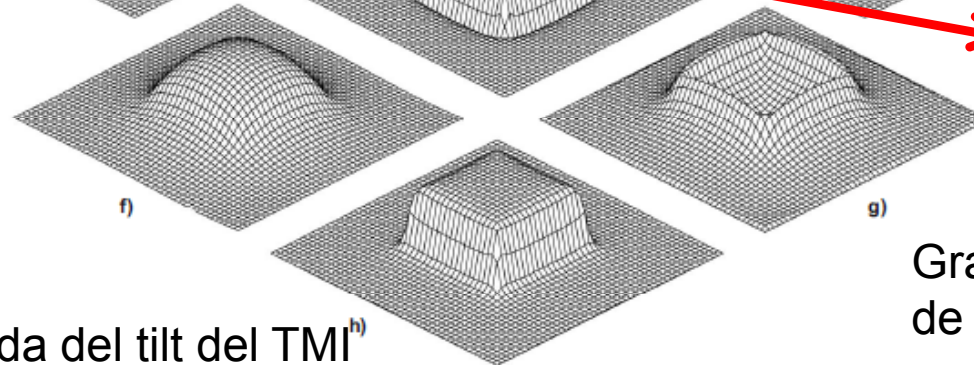


Señal analítica



TMI reducido al polo

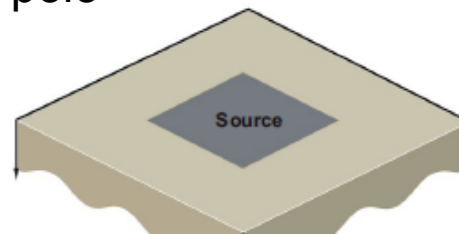
Pseudogravedad



1DV del TMI reducido al polo

Gradiente horizontal de la pseudogravedad

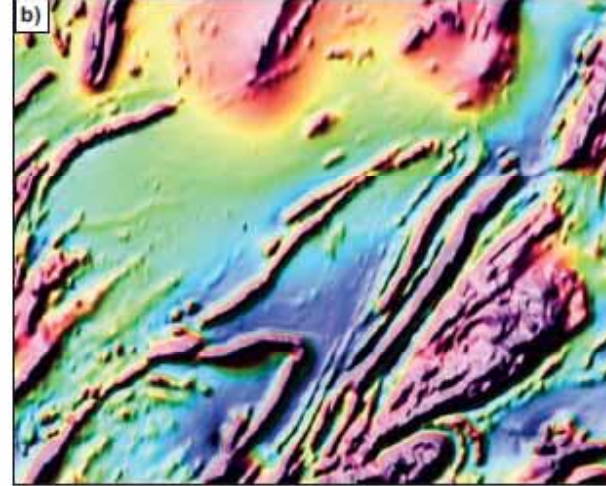
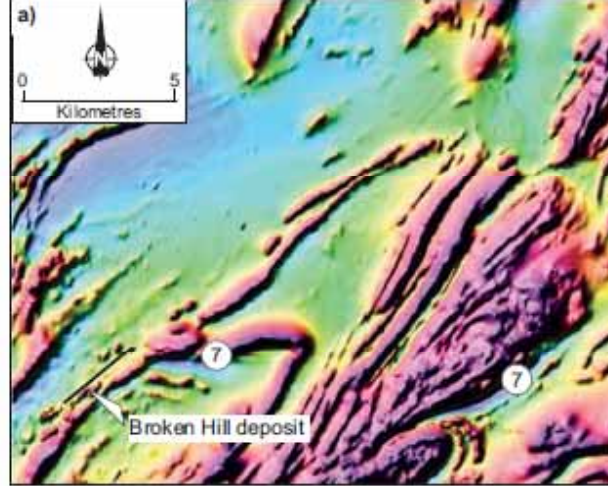
Derivada del tilt del TMI<sup>h)</sup> reducido al polo





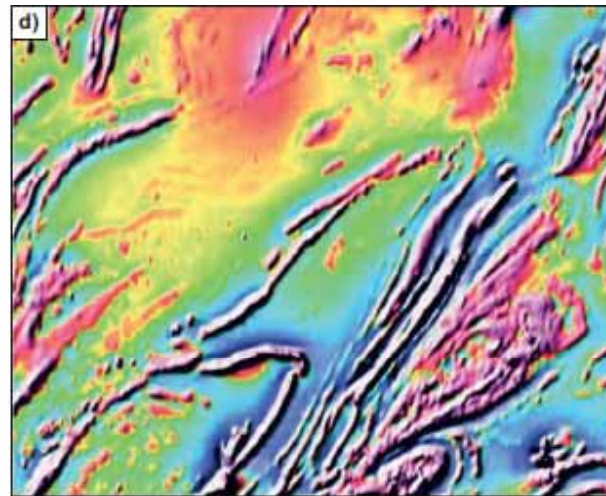
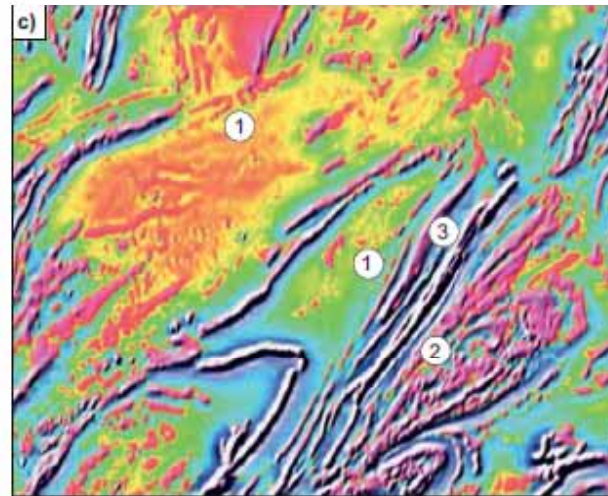
Broken Hill,  
Australia

TMI



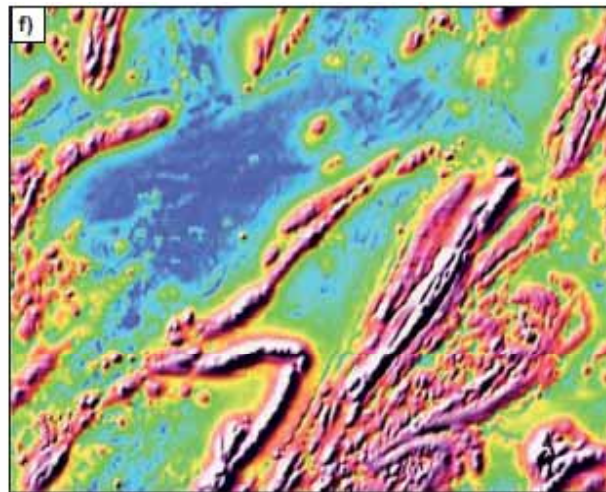
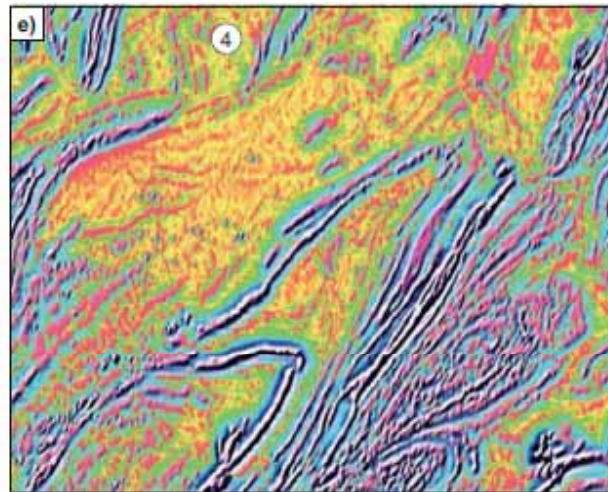
TMI  
reducido al  
polo

Primera  
derivada  
vertical del  
TMI



1DV del  
TMI  
reducido al  
polo

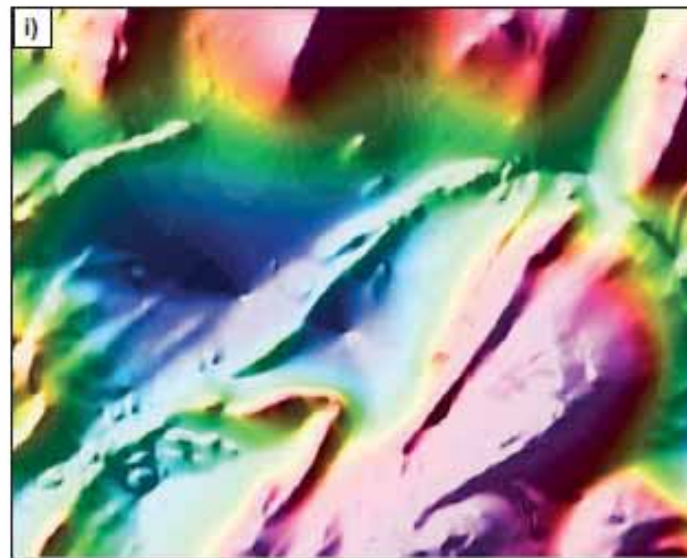
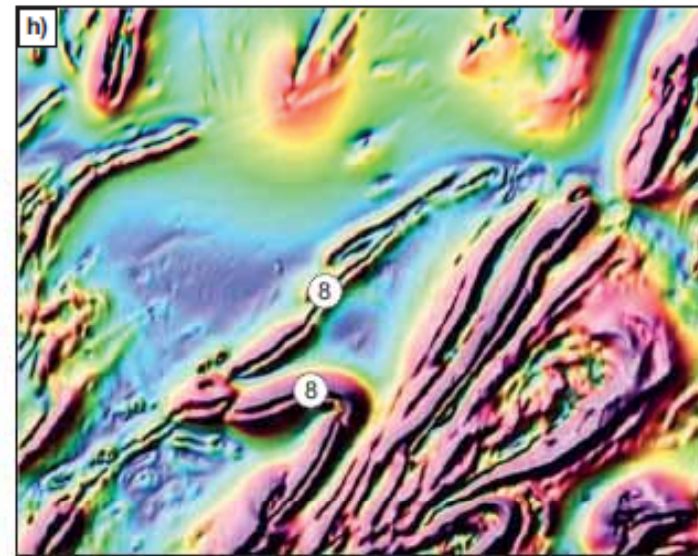
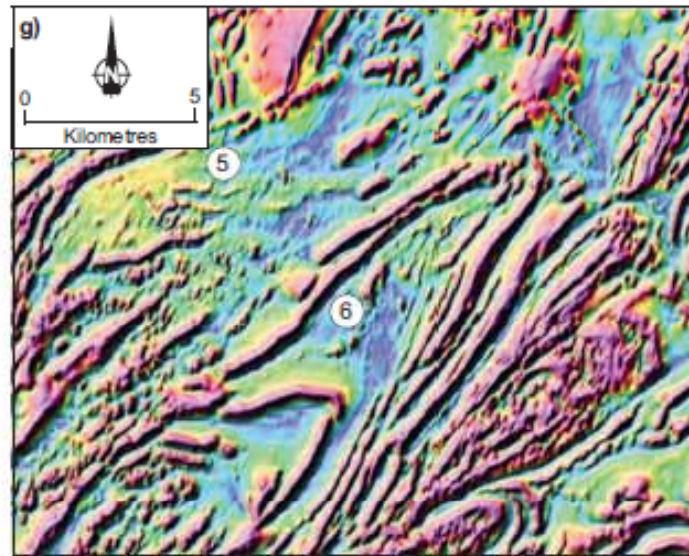
Segunda  
derivada  
vertical (*más  
resolución,  
más ruido*)



Señal  
analítica  
(*picos en  
los  
contactos*)



Derivada del tilt  
(*independiza de  
la amplitud*)



Gradiente  
horizontal total de  
la pseudogravedad  
(*picos en los  
contactos*)

Pseudogravedad

# Interpretación geológica

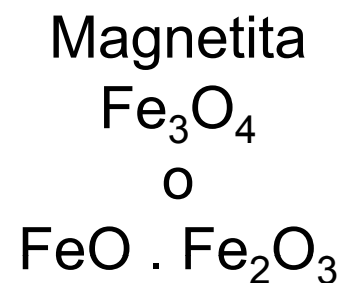
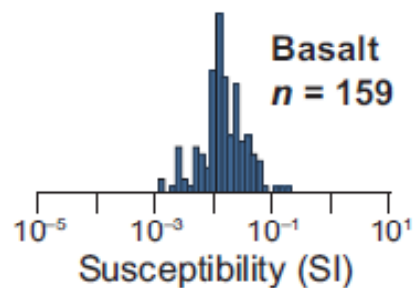
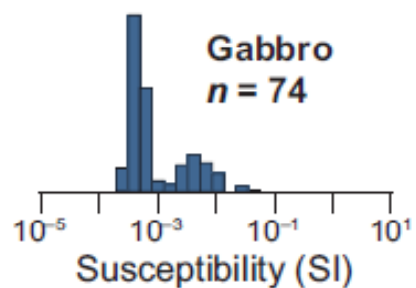
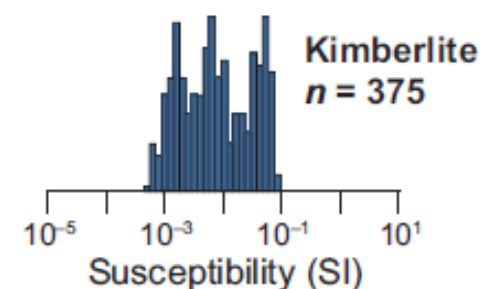
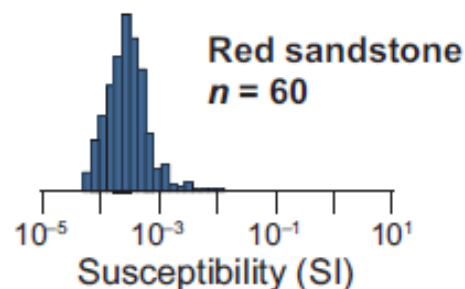
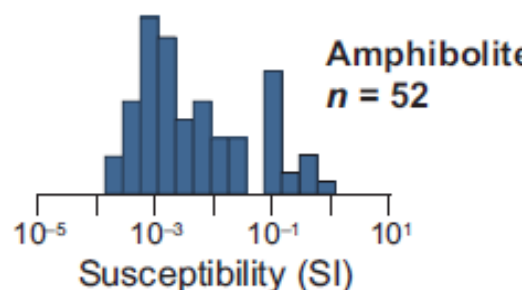
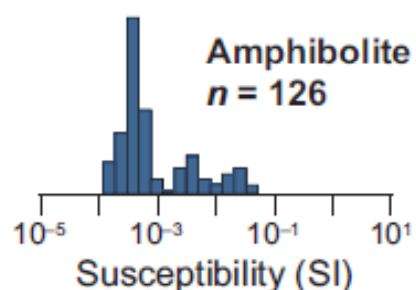
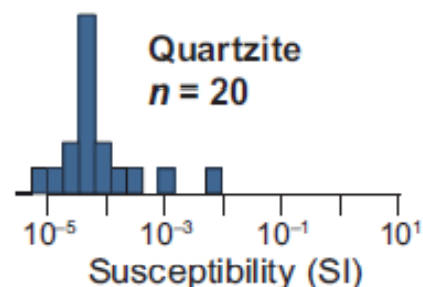
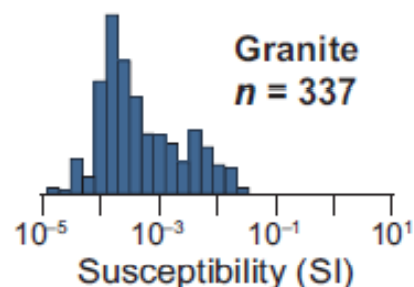
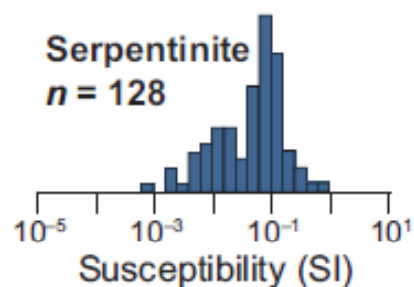
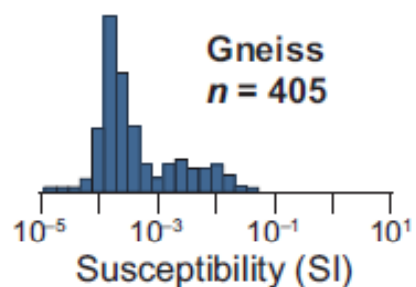
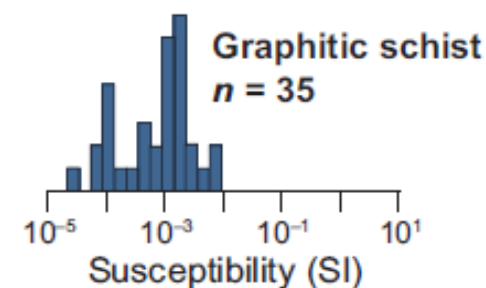
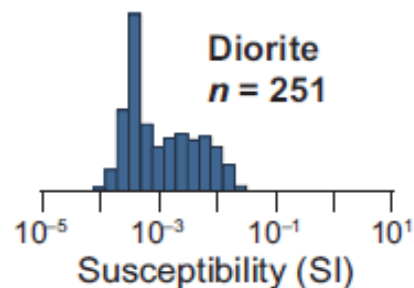
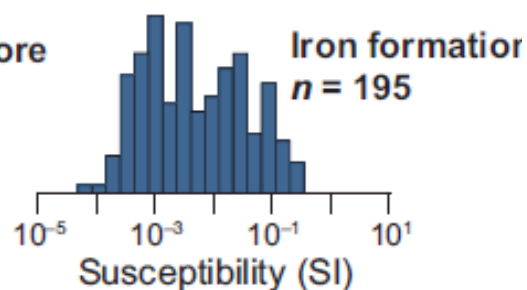
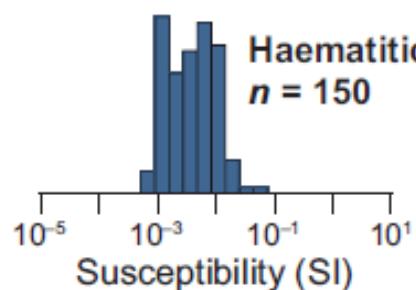
Es más difícil que en gravimetría, entre otras razones porque:

- + Las anomalías magnéticas tienen formas complejas por el carácter dipolar del CMT.
- + La densidad es un escalar y la magnetización es un vector.
- + La magnetización depende de la abundancia, tamaño y forma de los minerales ferromagnéticos, que son accesorios en la roca.

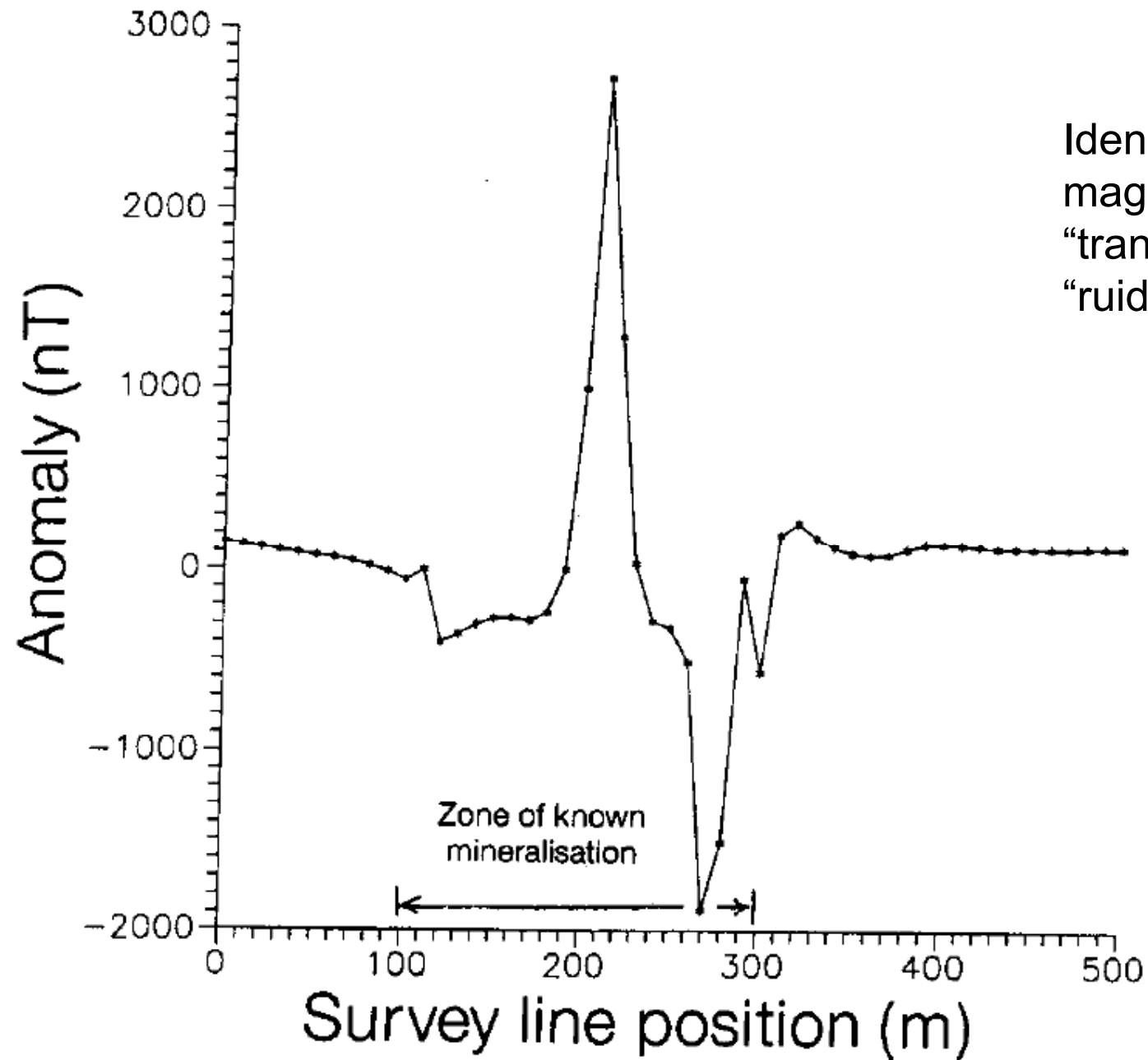
- **Cualitativa:** identificación de zonas tranquilas vs. ruidosas. En mapas: identificación de texturas, longitudes de onda, rasgos lineales.

- **Cuantitativa:** determinación de profundidad, forma y tamaño de fuentes.

- Modelos 2D, 2,5D y 3D
- Análisis espectral
- Deconvolución de Euler

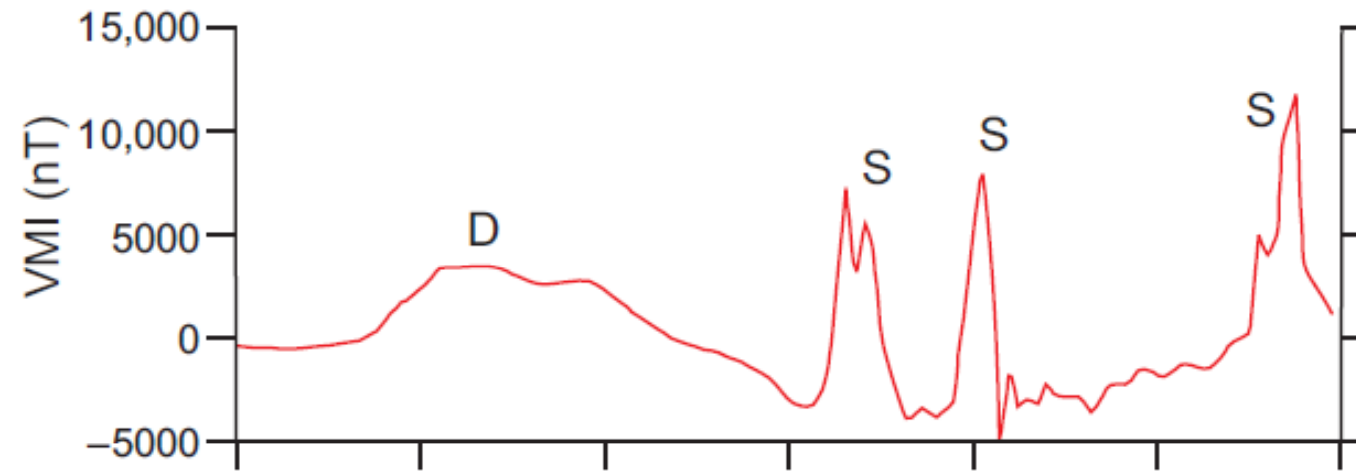


## Interpretación cualitativa



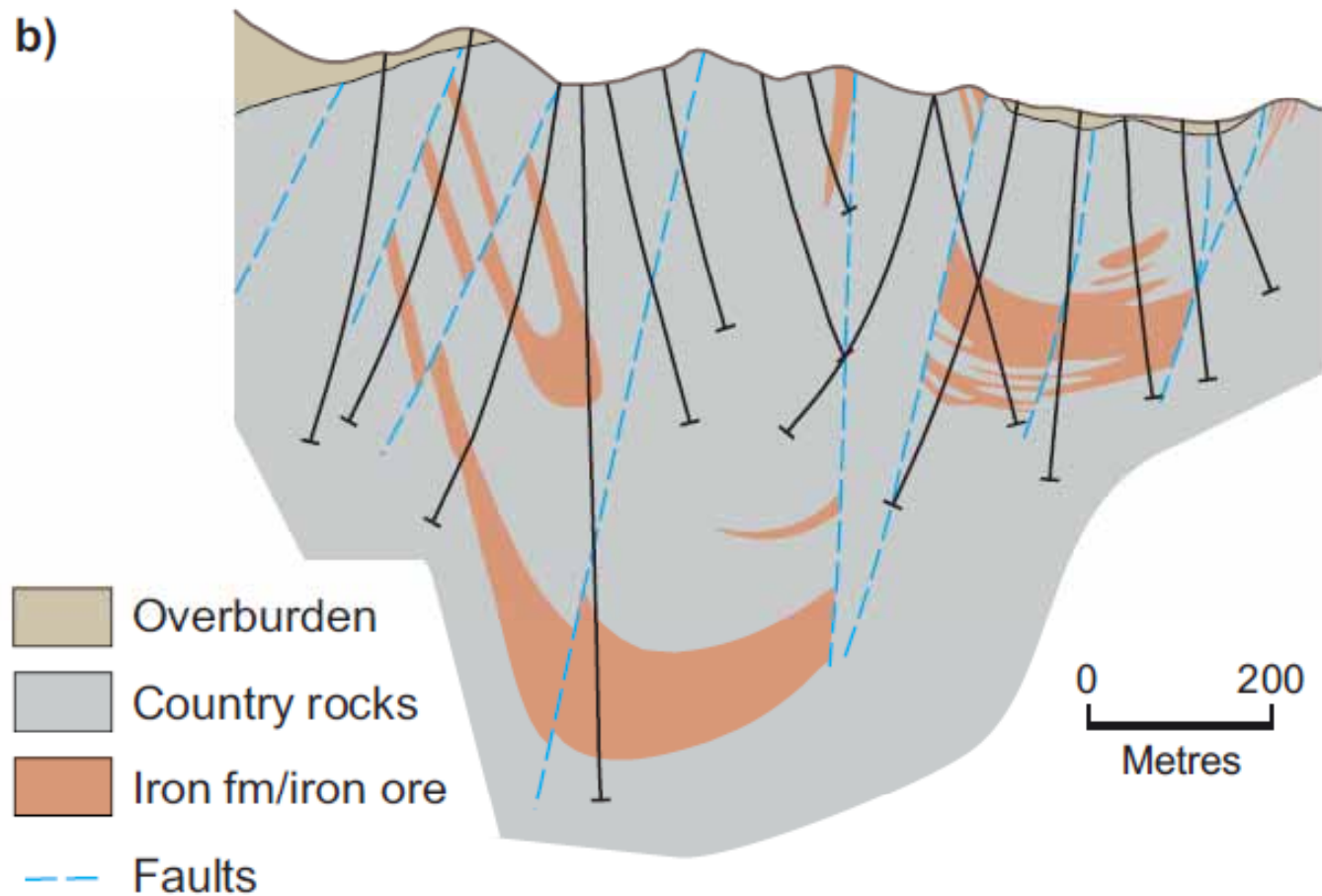
Identificación de zonas  
magnéticamente  
“tranquilas” vs.  
“ruidosas”

a)



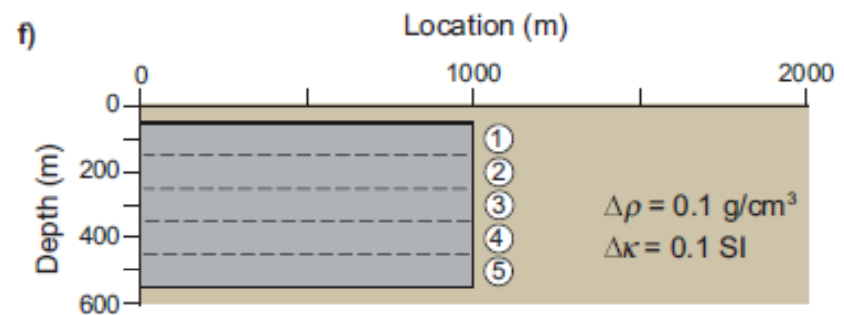
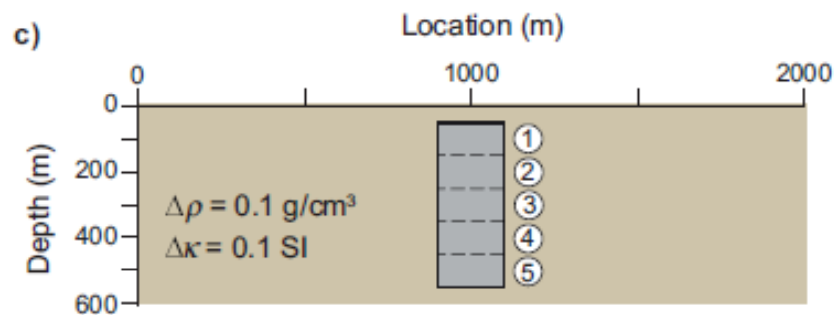
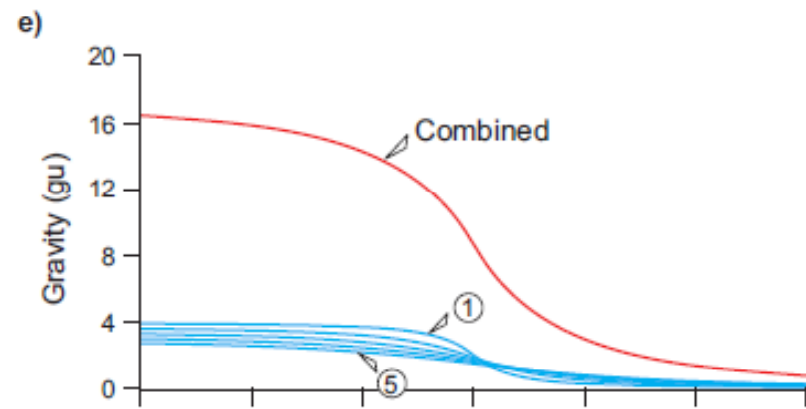
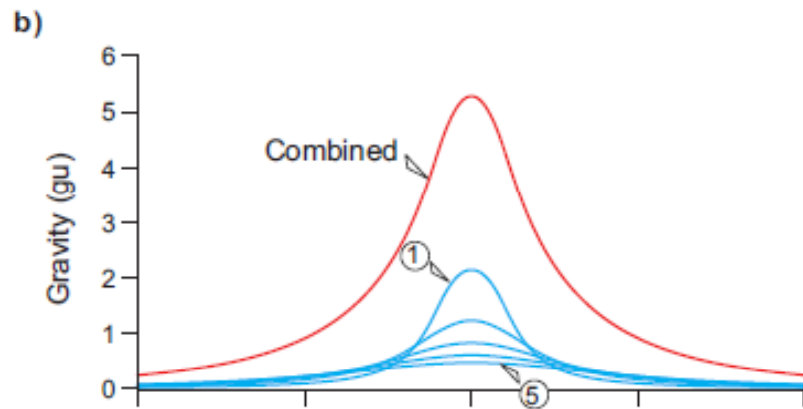
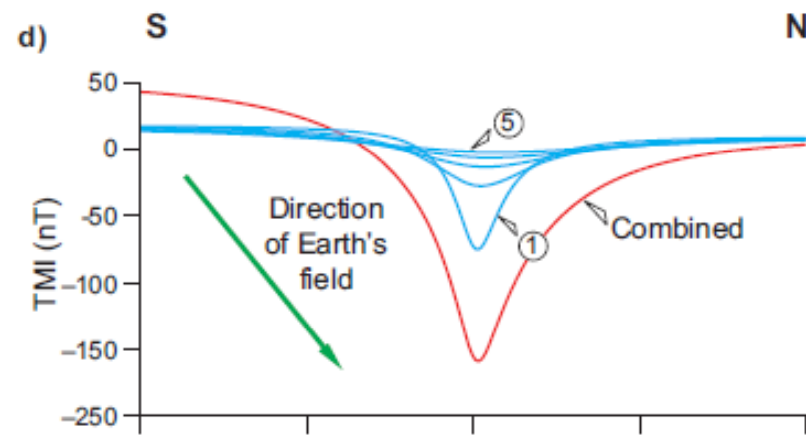
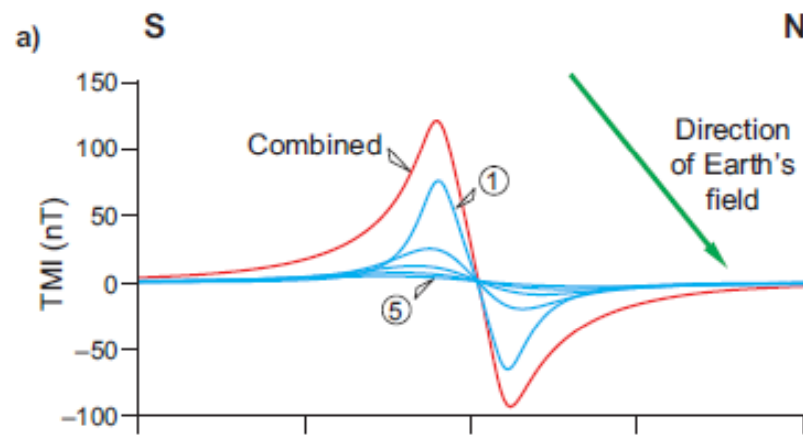
Cambios en  
amplitud y  
longitud de  
onda indican  
cambios en  
profundidad de  
la fuente

b)



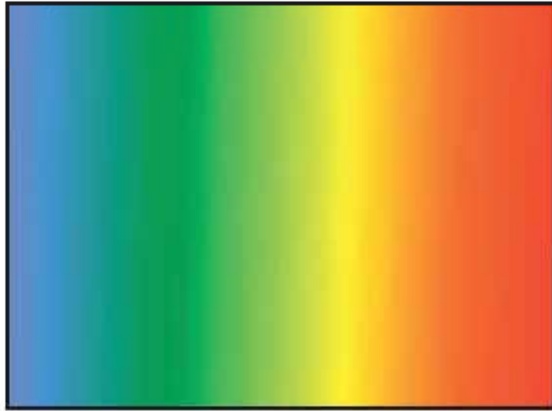
D: fuentes profundas  
S: fuentes someras



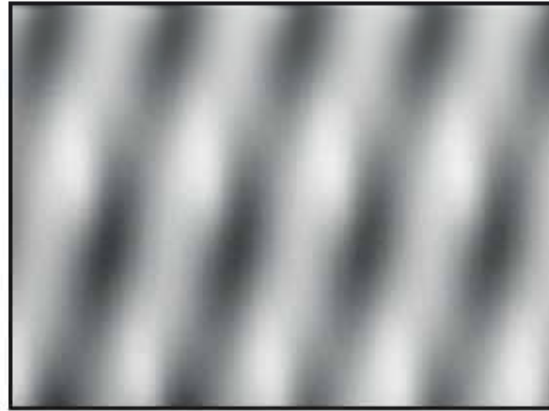


Existen diferencias en la dependencia señal/profundidad para magnetismo y gravedad. La respuesta magnética disminuye más rápido con la distancia.

**Tone**

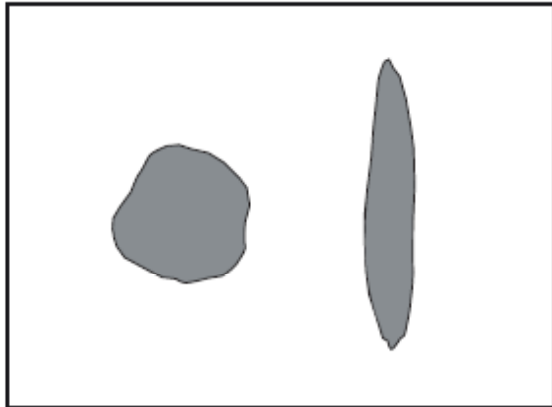


**Texture**

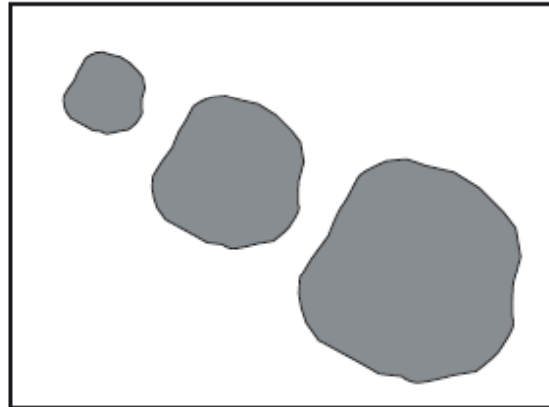


Elementos para el  
análisis de  
imágenes

**Shape**

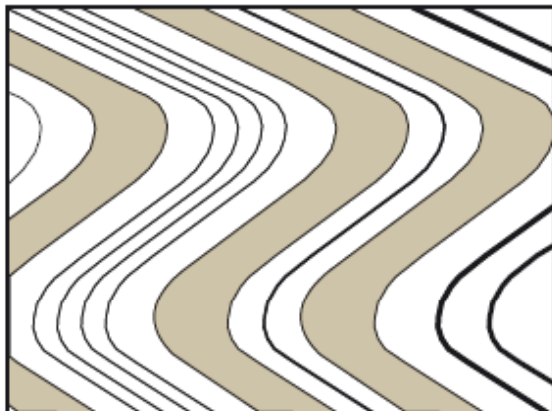


**Size**

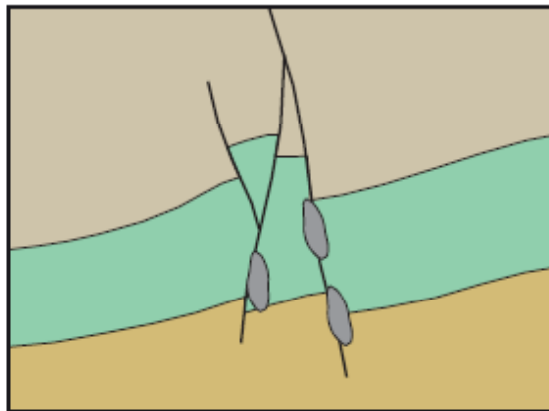


En mapas:  
identificación de  
texturas, longitudes  
de onda, rasgos  
lineales.

**Pattern**

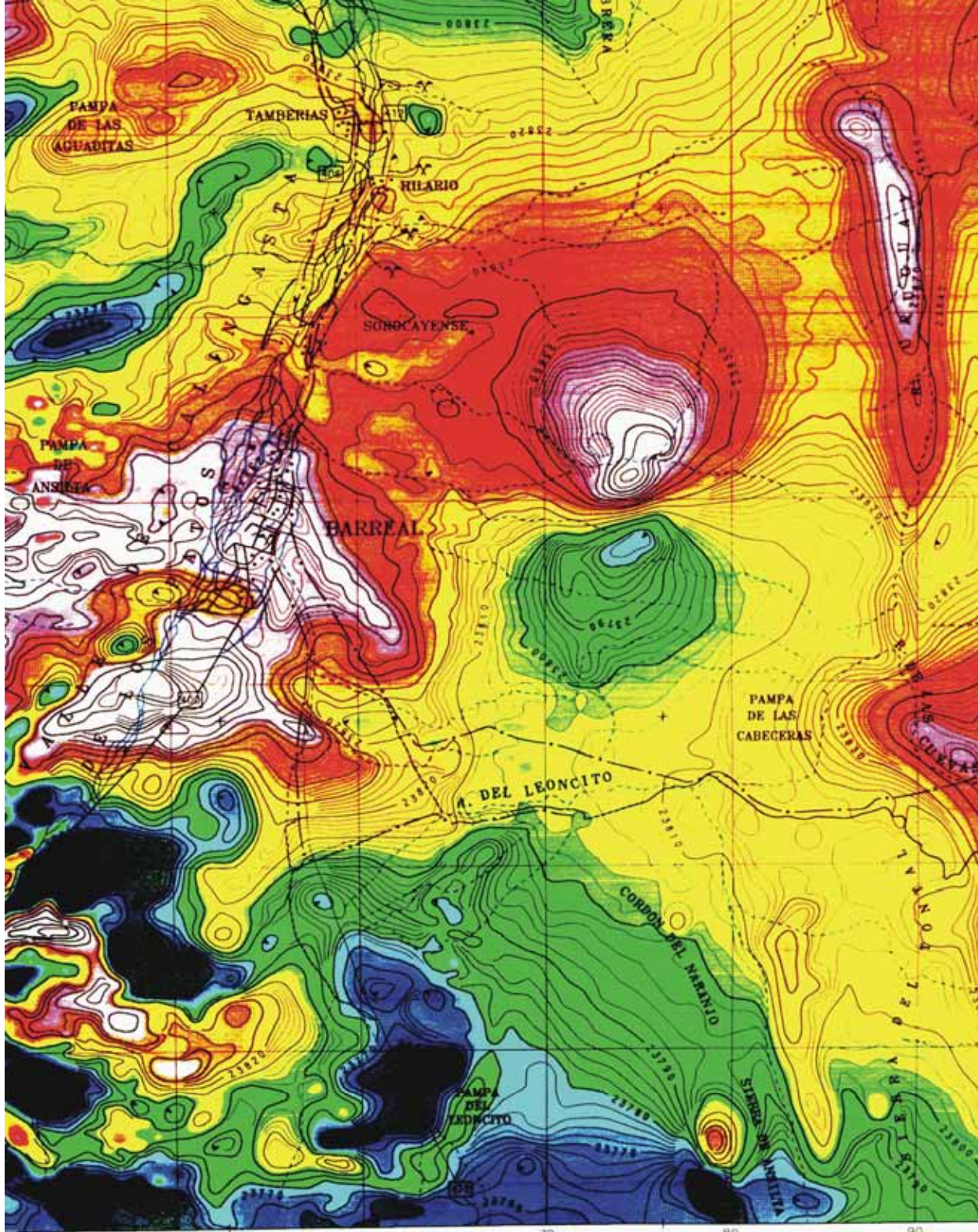


**Context**

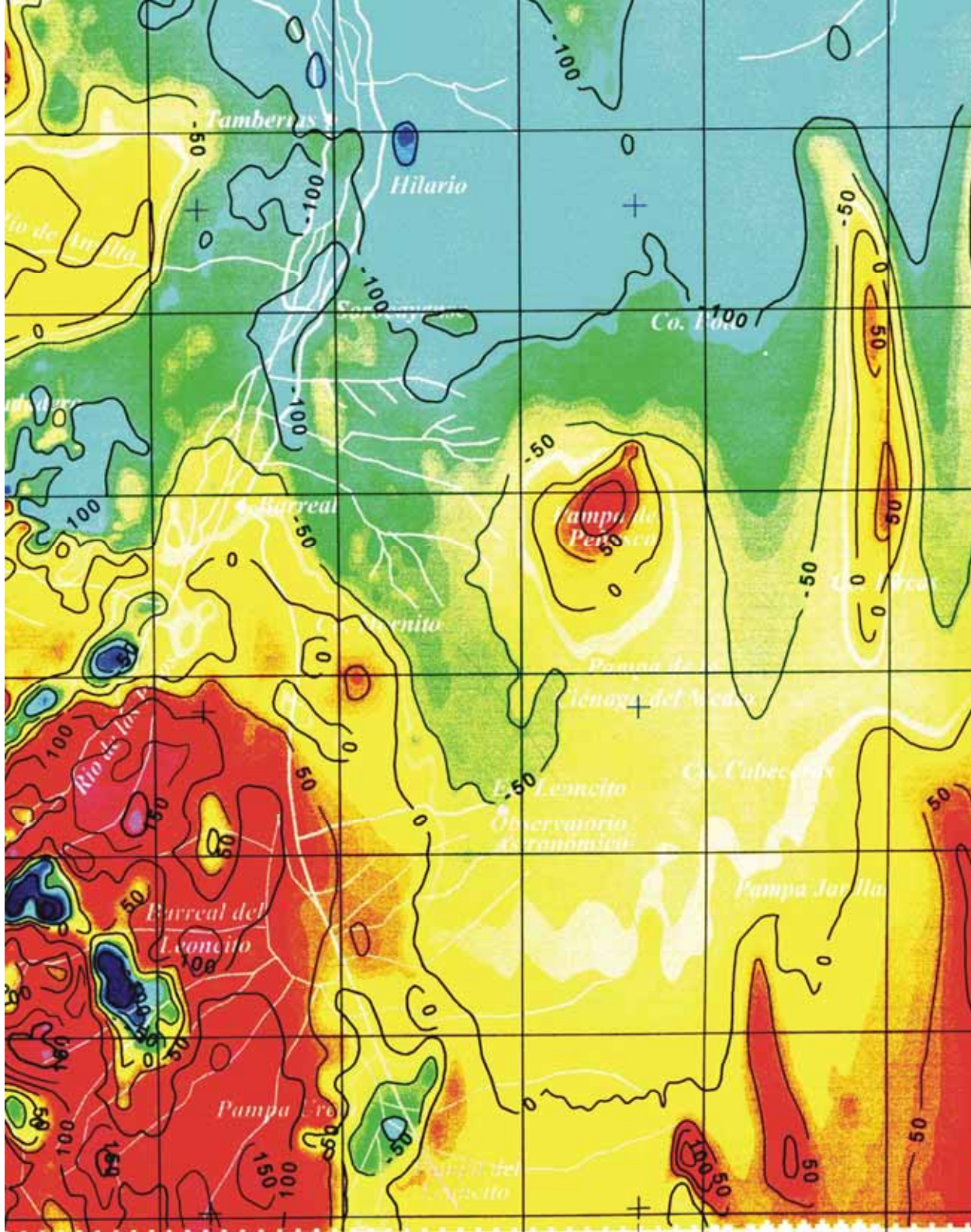




Mapa aeromagnético  
campo total de la región  
de Barreal (San Juan)

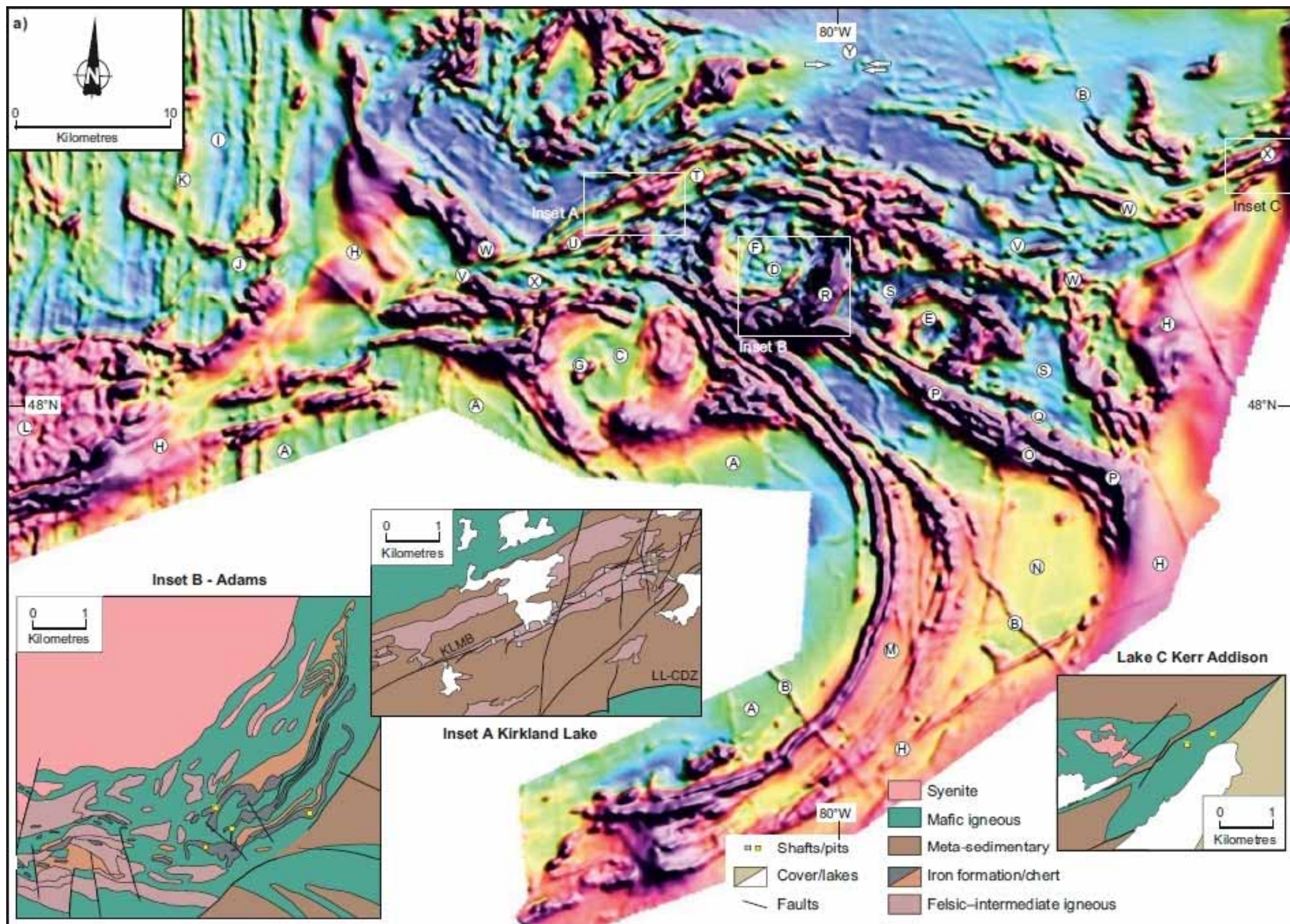




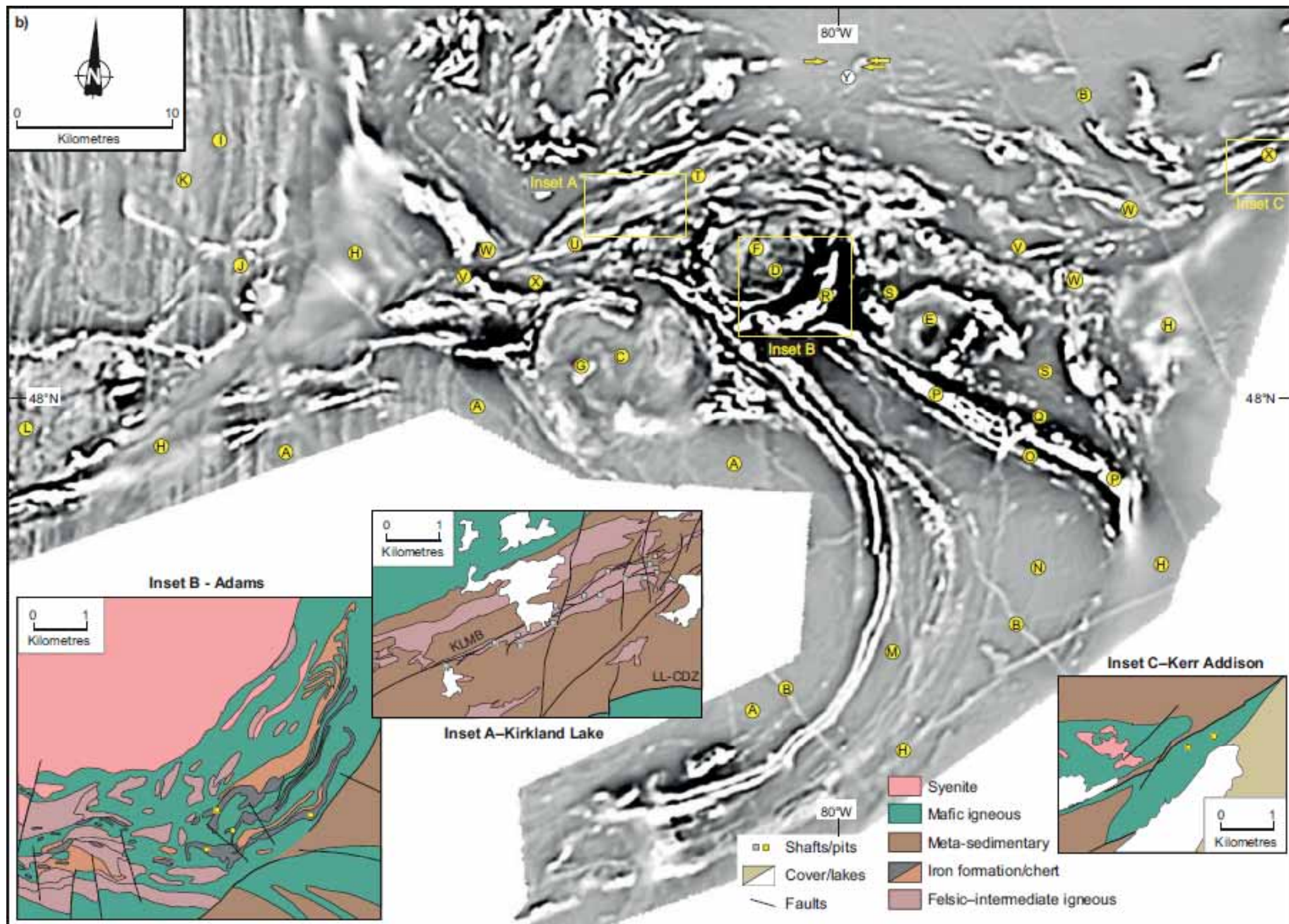


Mapa aeromagnético  
campo total de la región  
de Barreal (San Juan)  
Reducido al Polo

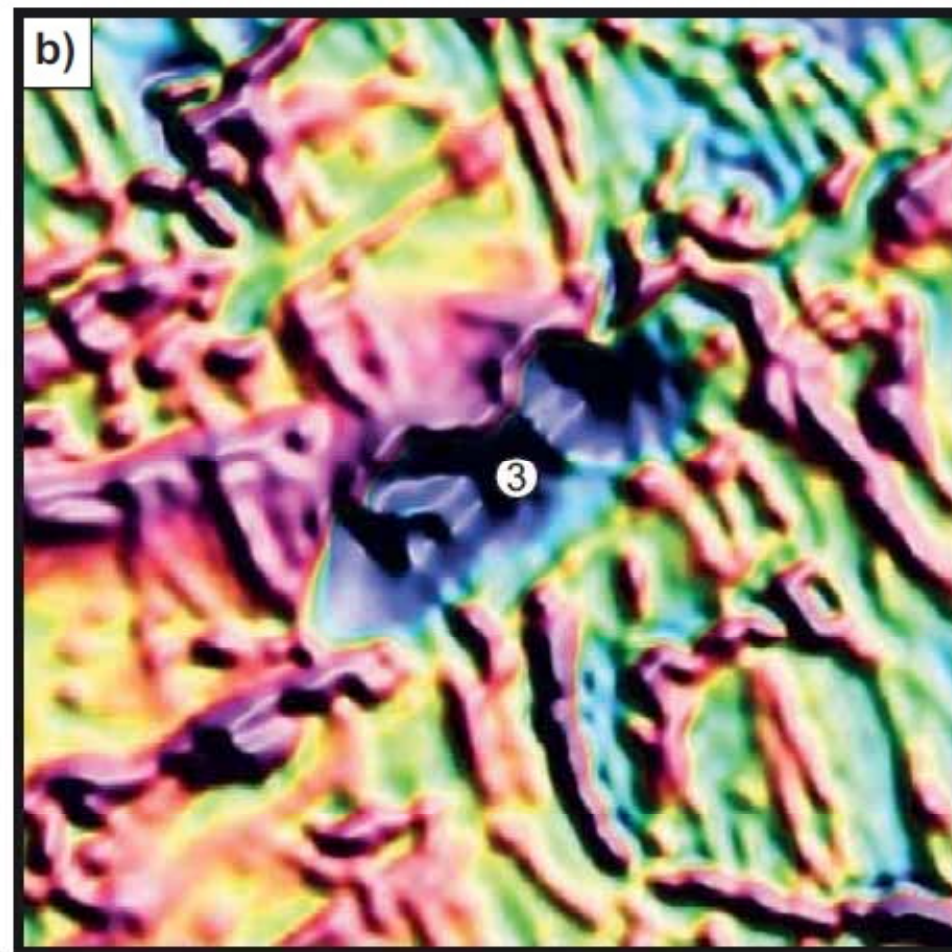
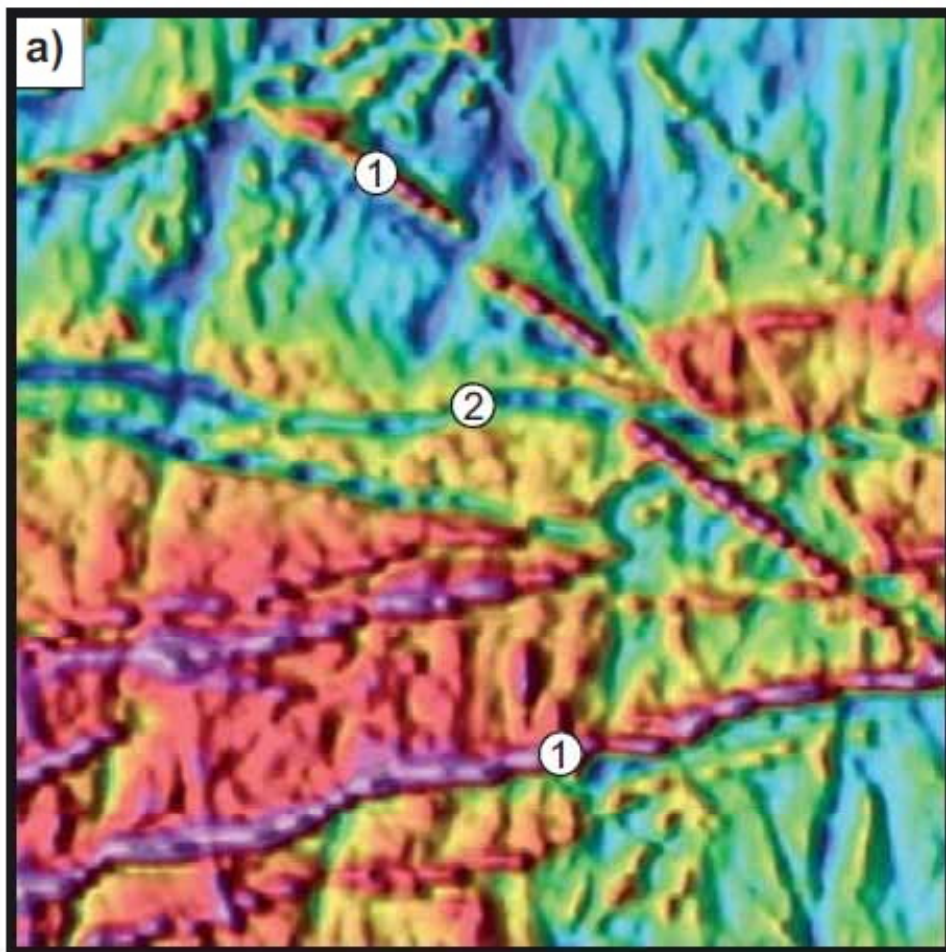












0 5  
Kilometres

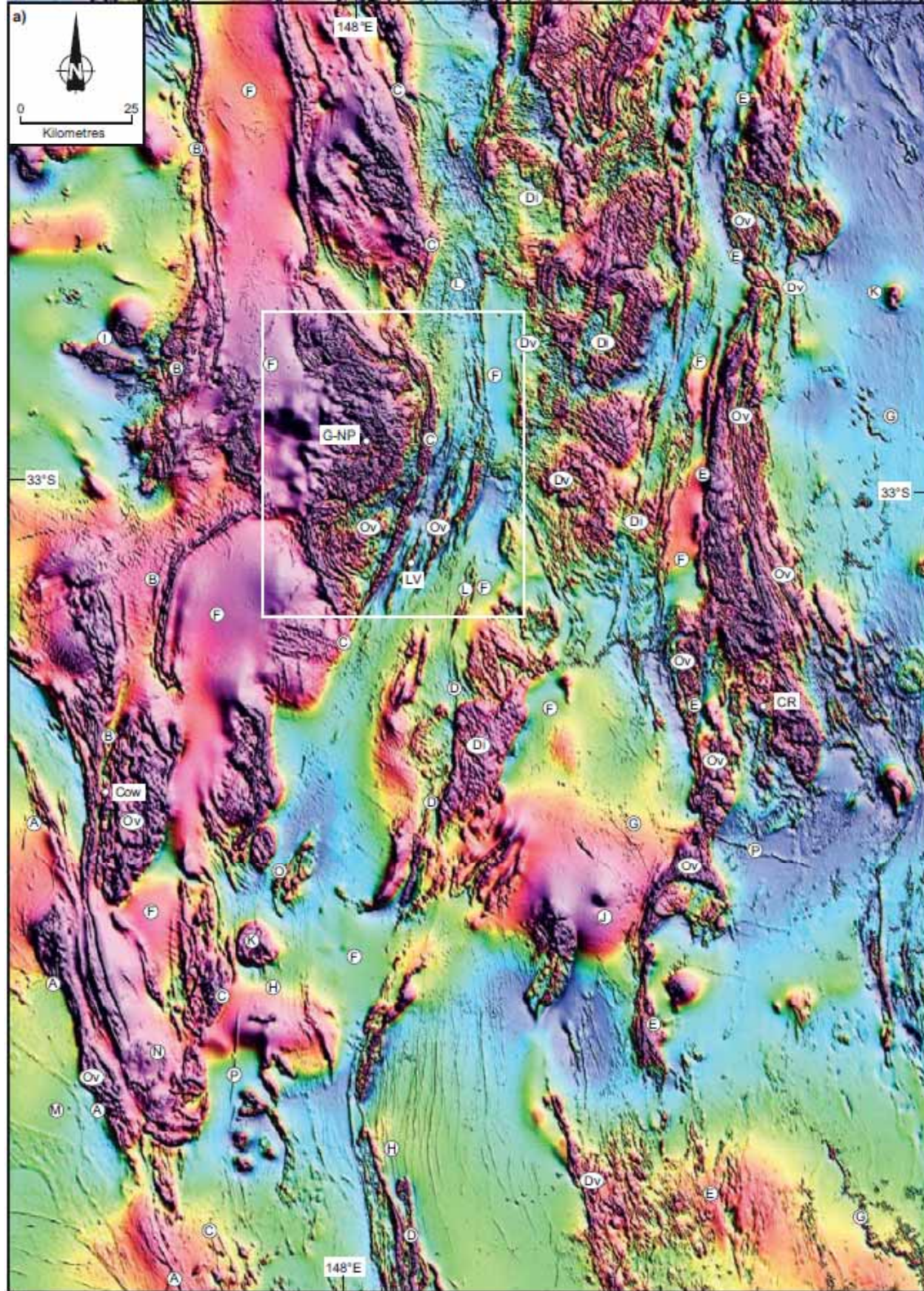


Diques con polaridad normal y  
reversa. Altura del sensor 40 m

Intrusivo con polaridad reversa.  
Altura del sensor 70 m

El espaciado de líneas en ambos casos es de 200 m

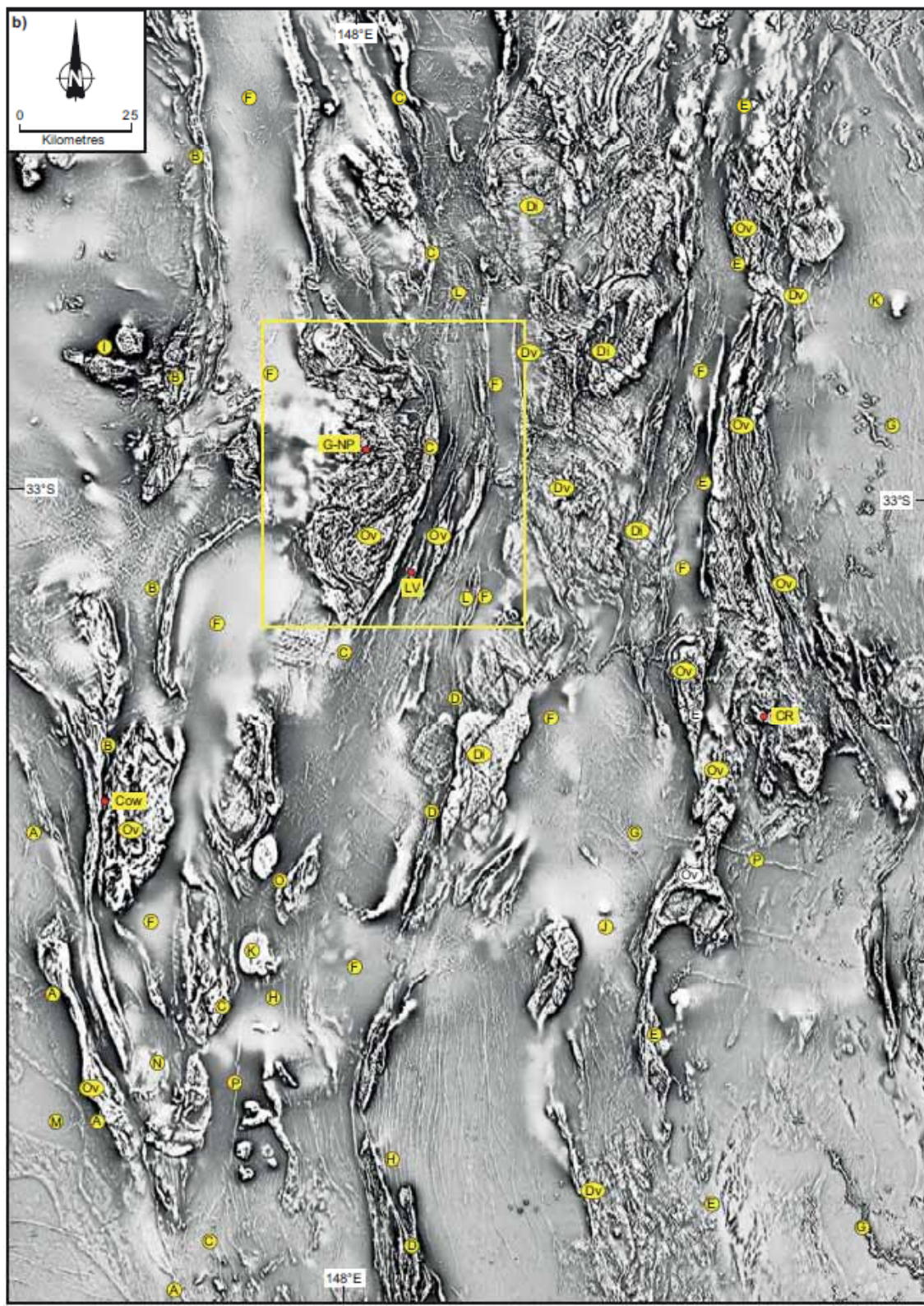




## Lachlan Fold Belt (Australia)

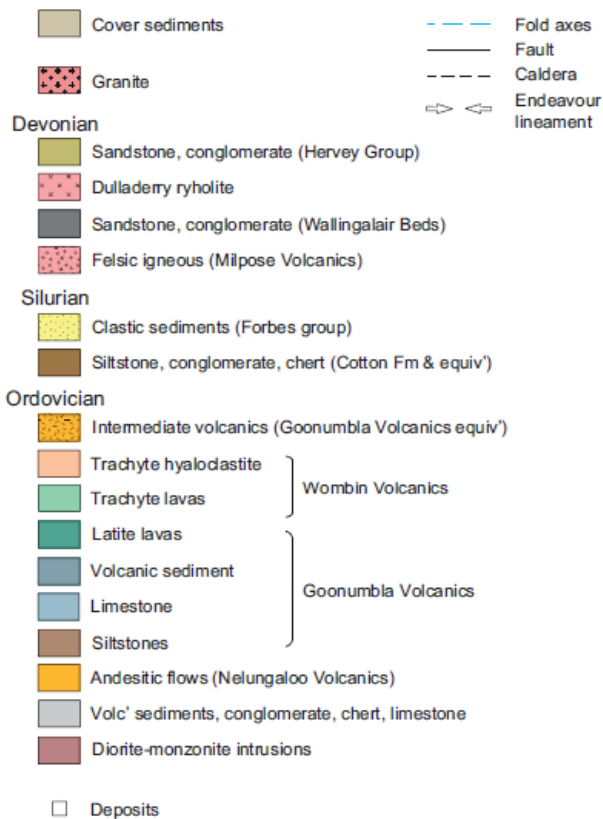
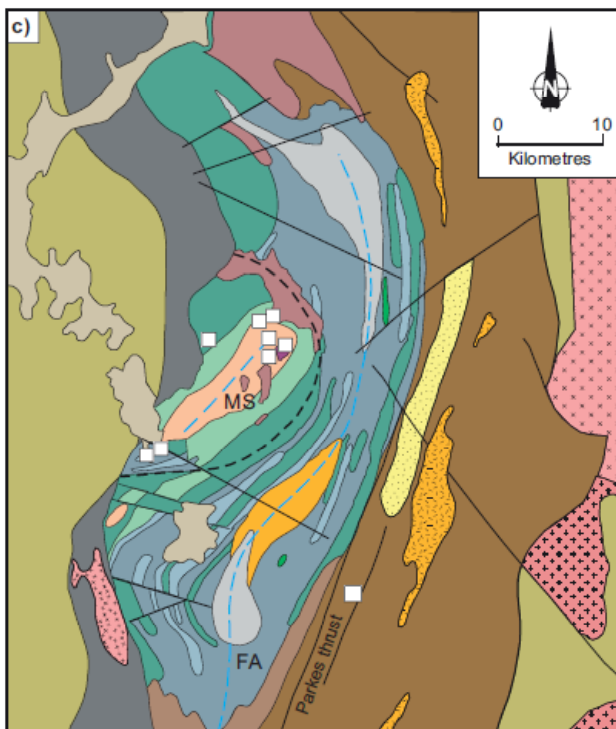
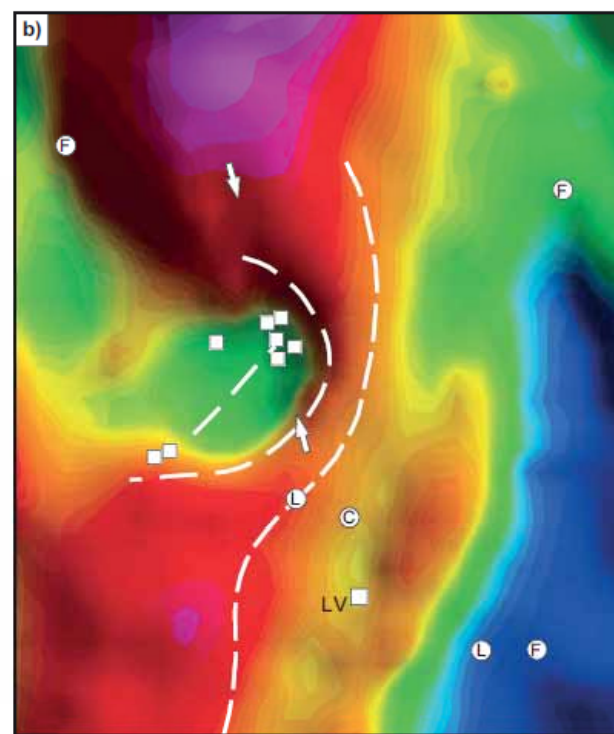
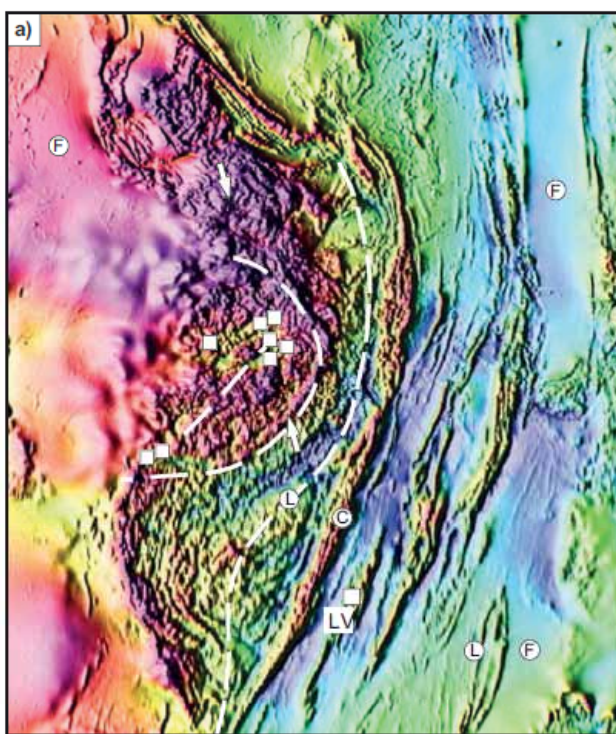
### TMI





Lachlan Fold Belt (Australia)  
1DV



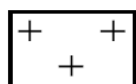




*Tertiary volcanics*



*Carboniferous and  
younger sediments*



*Granitic rocks*



*Metamorphic rocks*



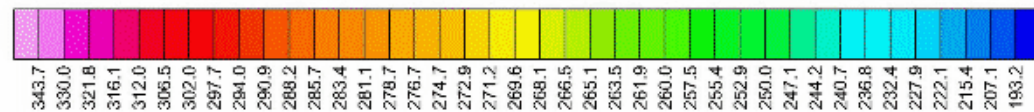
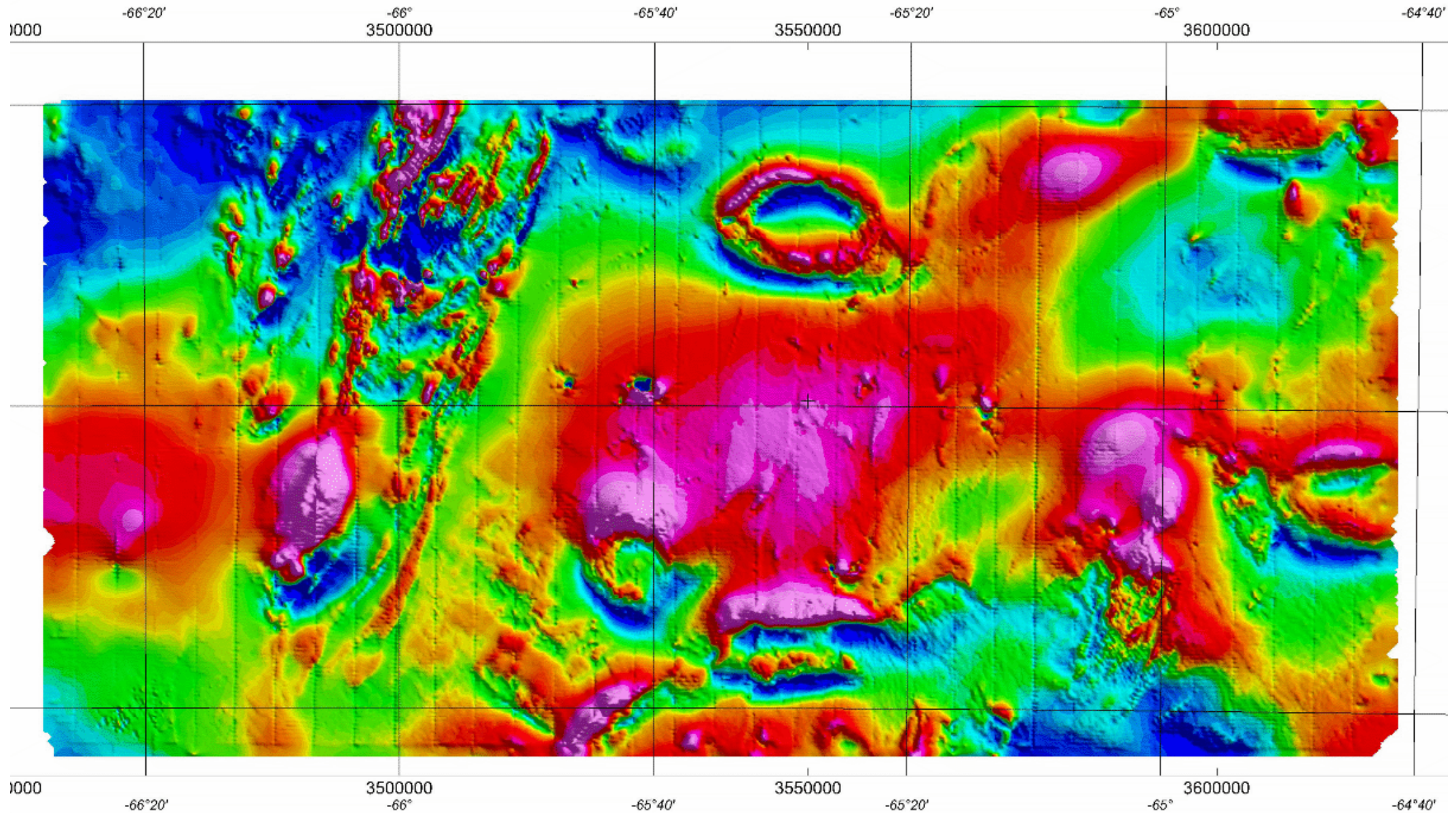
*Mafic/ultramafic rocks*

0

80 km

Sector austral de las sierras de San Luis y  
Comechingones (San Luis y Córdoba)



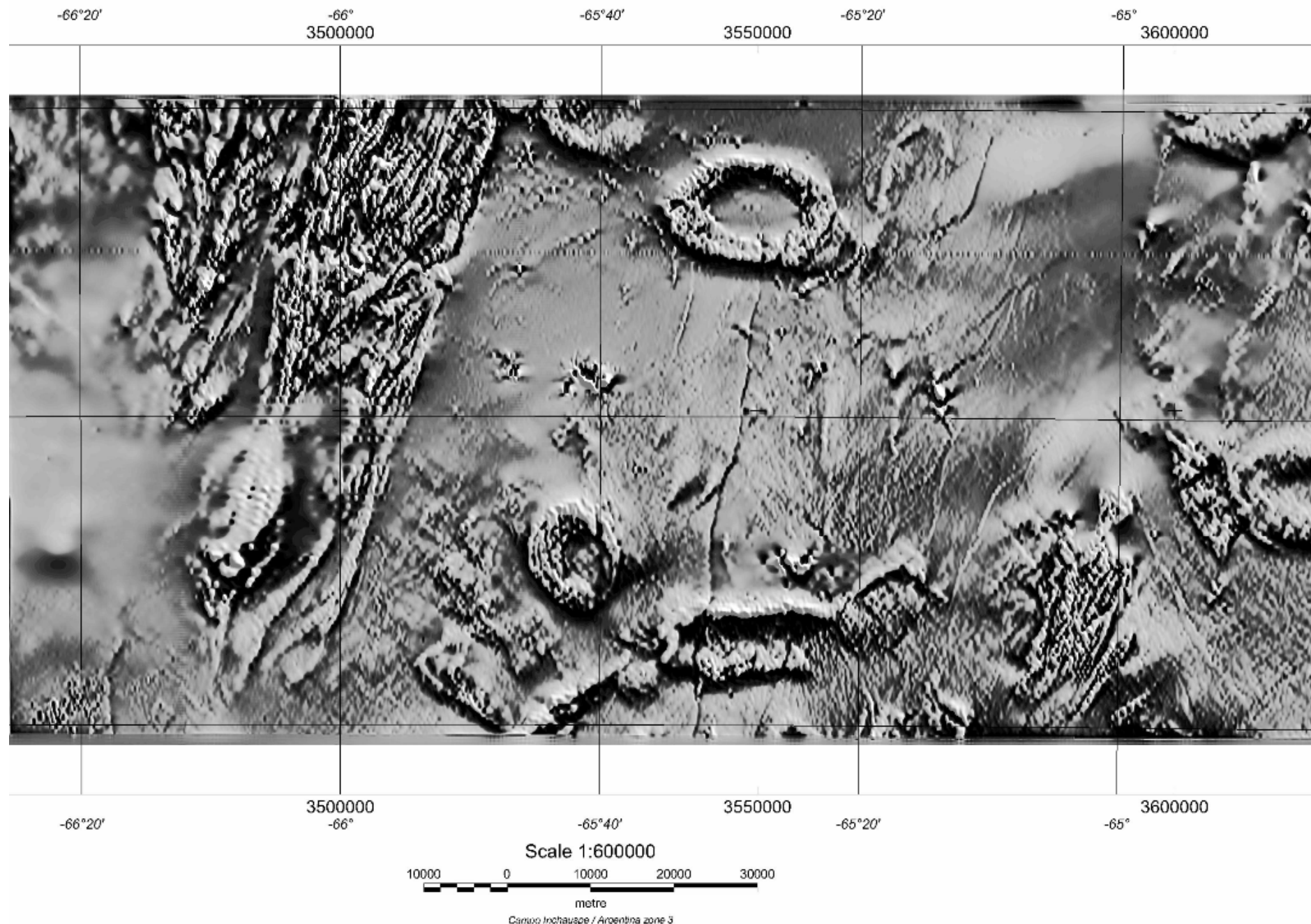


nt

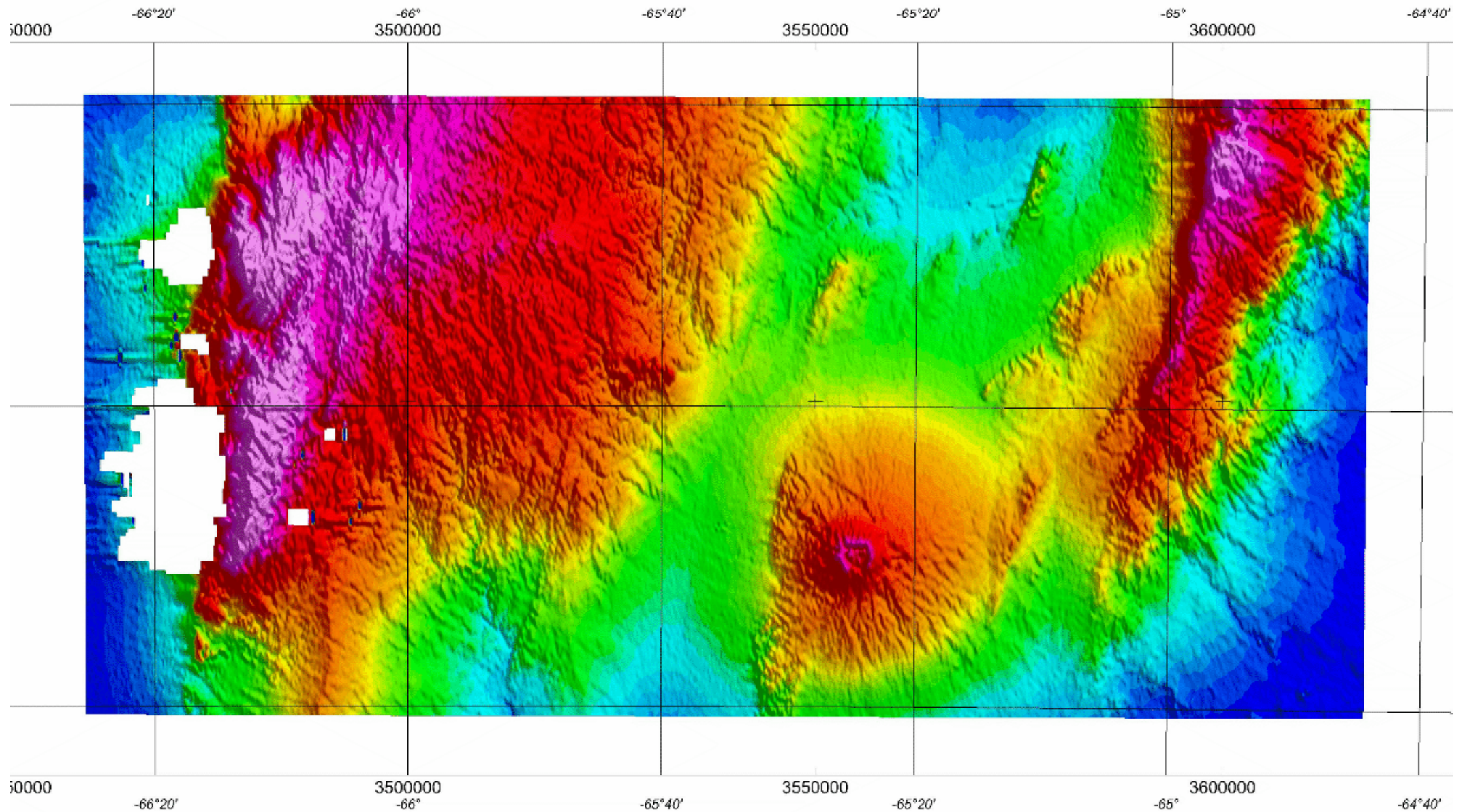


# BLOQUE SAN LUIS

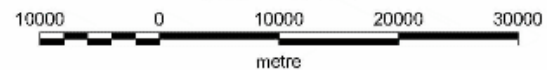
1° DERIVADA VERTICAL DEL CAMPO MAGNÉTICO TOTAL REDUCIDO AL POLO (1DV)



**BLOQUE SAN LUIS**  
**MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL**

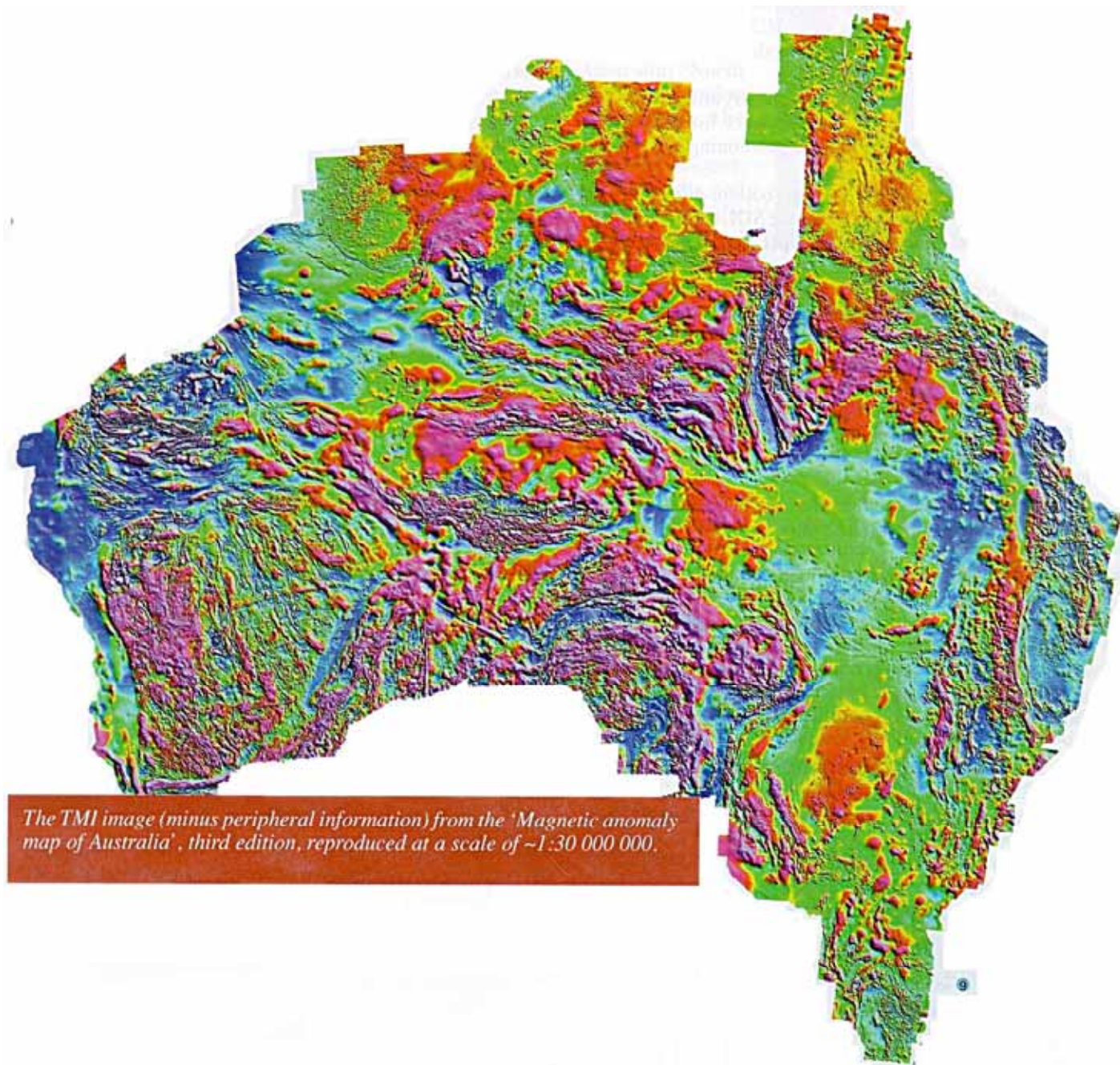


Scale 1:600000



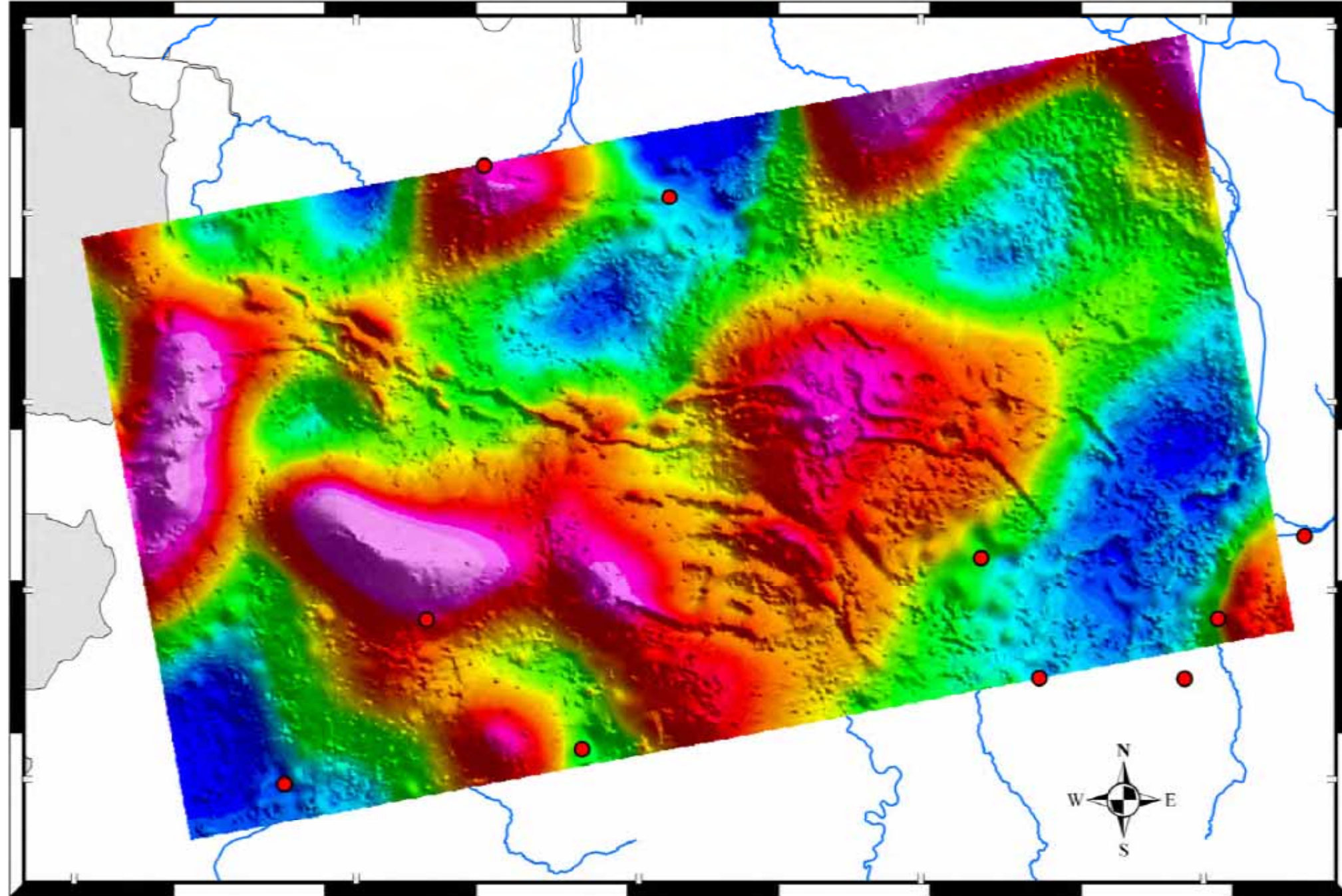
Caripo Inchauspe / Argentina zone 3





Un mapa magnetométrico a nivel continental permite reconocer las provincias geológicas principales





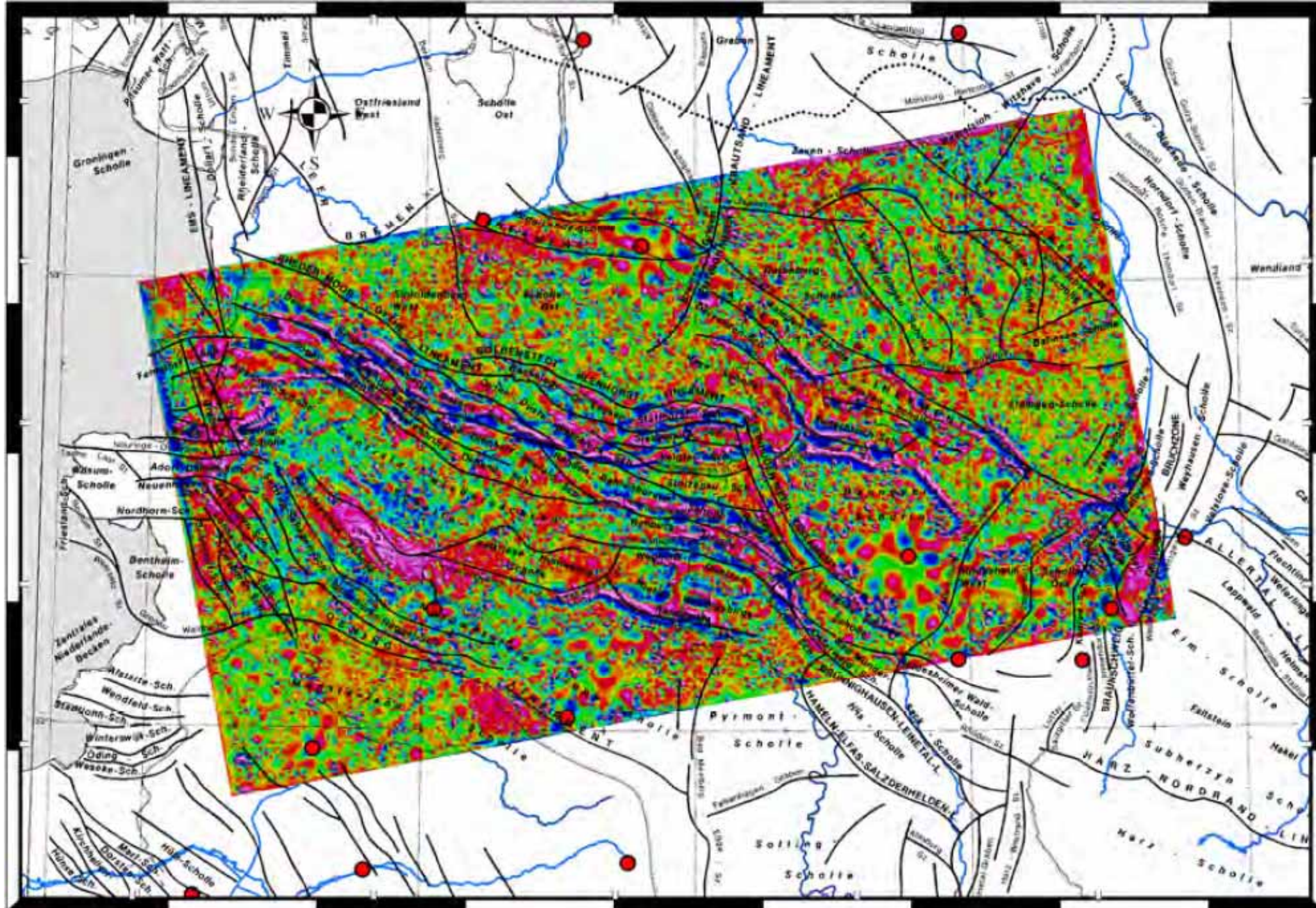
0 10 20 40 60 80  
Kilometers

**Total magnetic intensity**  
[nT]

*Reducido al polo*  
*Müller 2009*



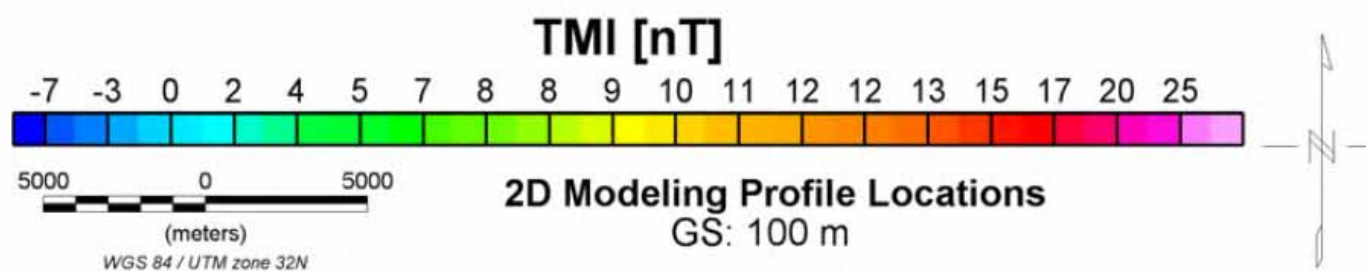
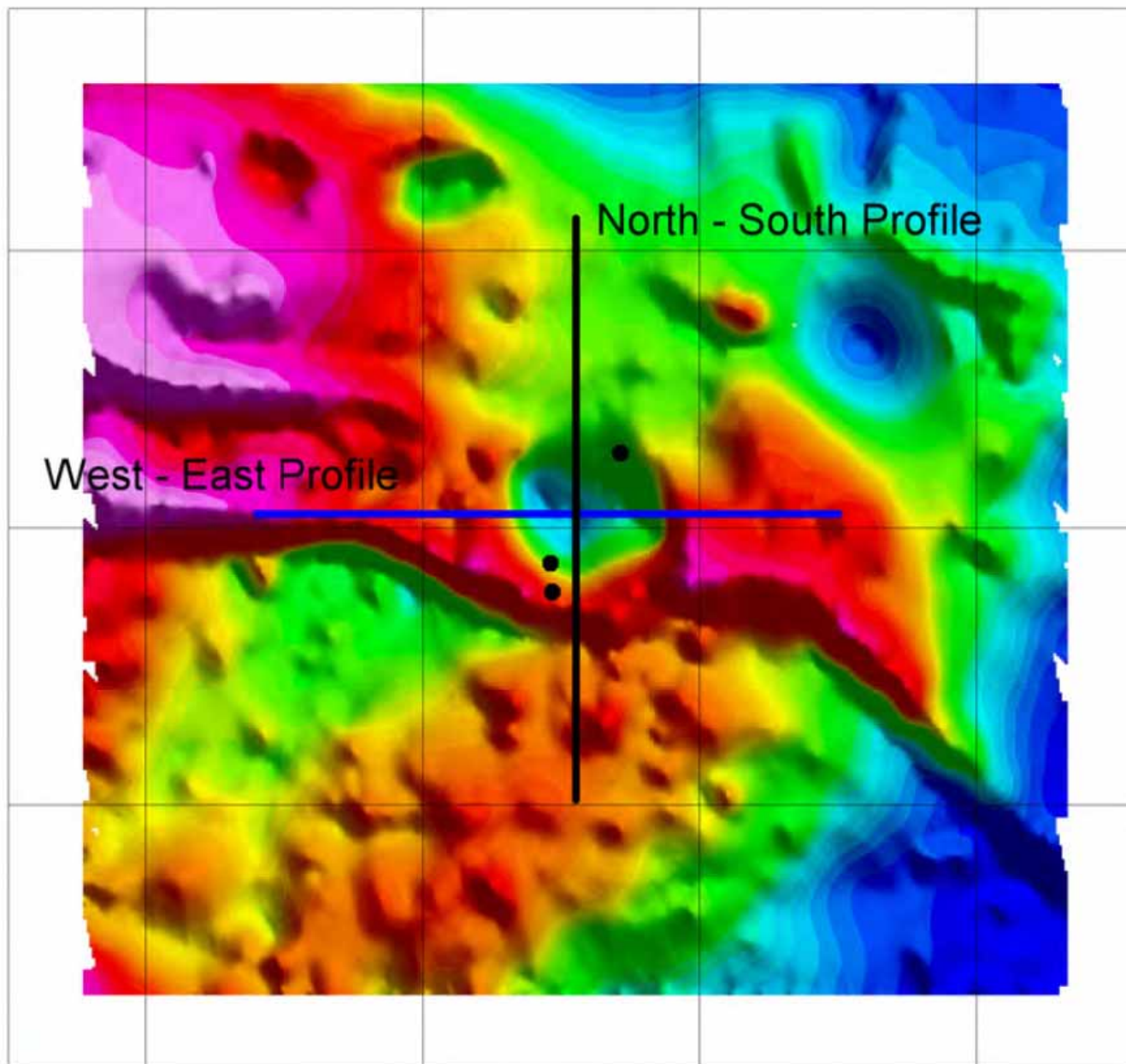




0 12.5 25 50 75 100 Kilometers

First Vertical Derivative (RTP) and Fault Structures in basement  
block pattern (after R. Baldschuhn, U. Frisch & F. Kockel: BGR Hannover 1997)

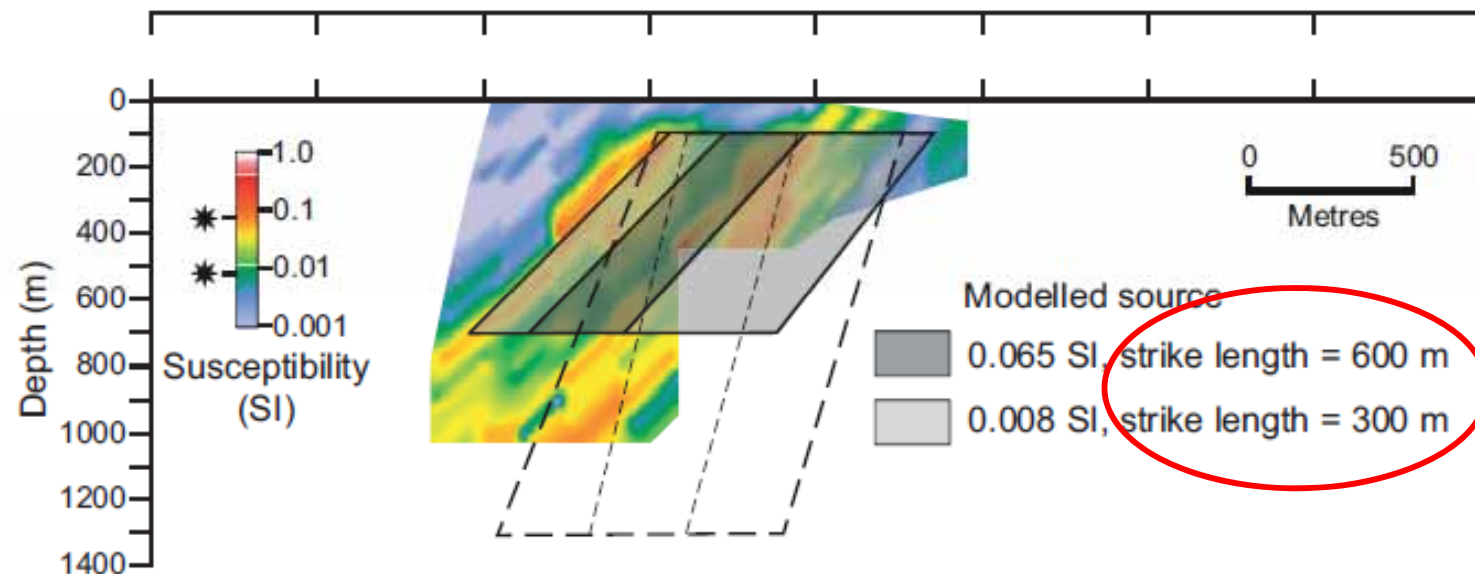
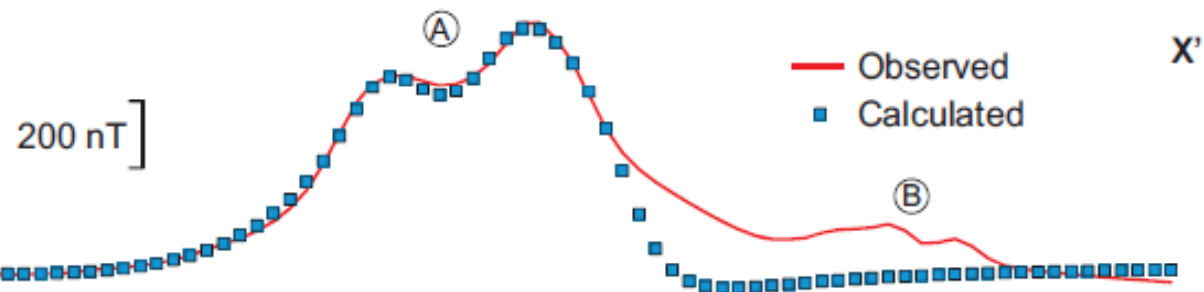
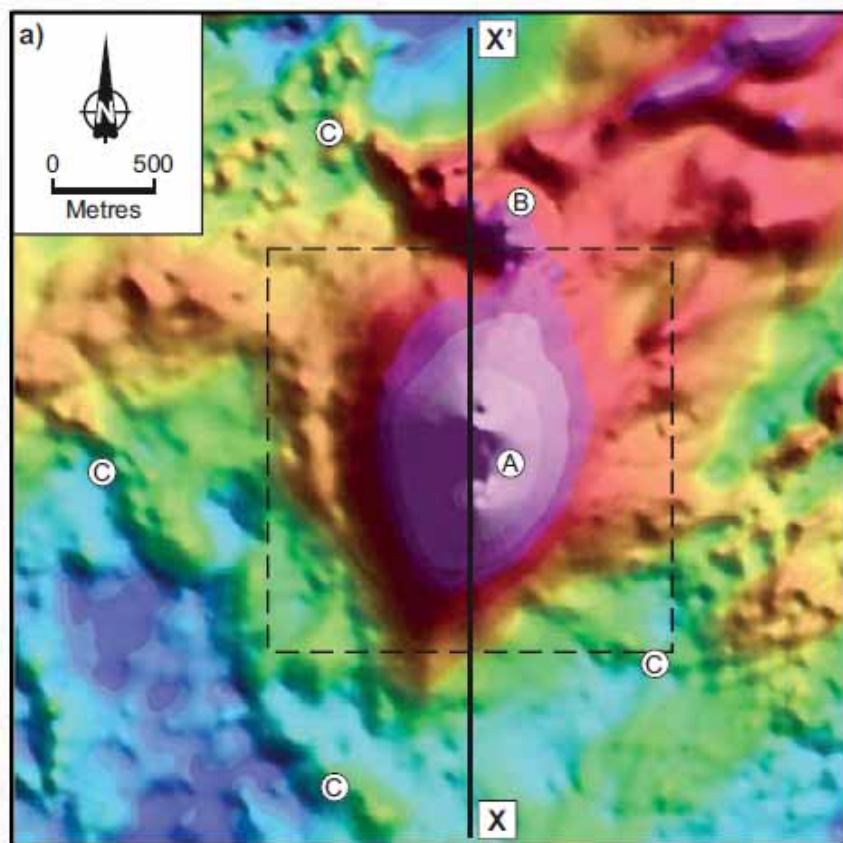




# Interpretación cuantitativa

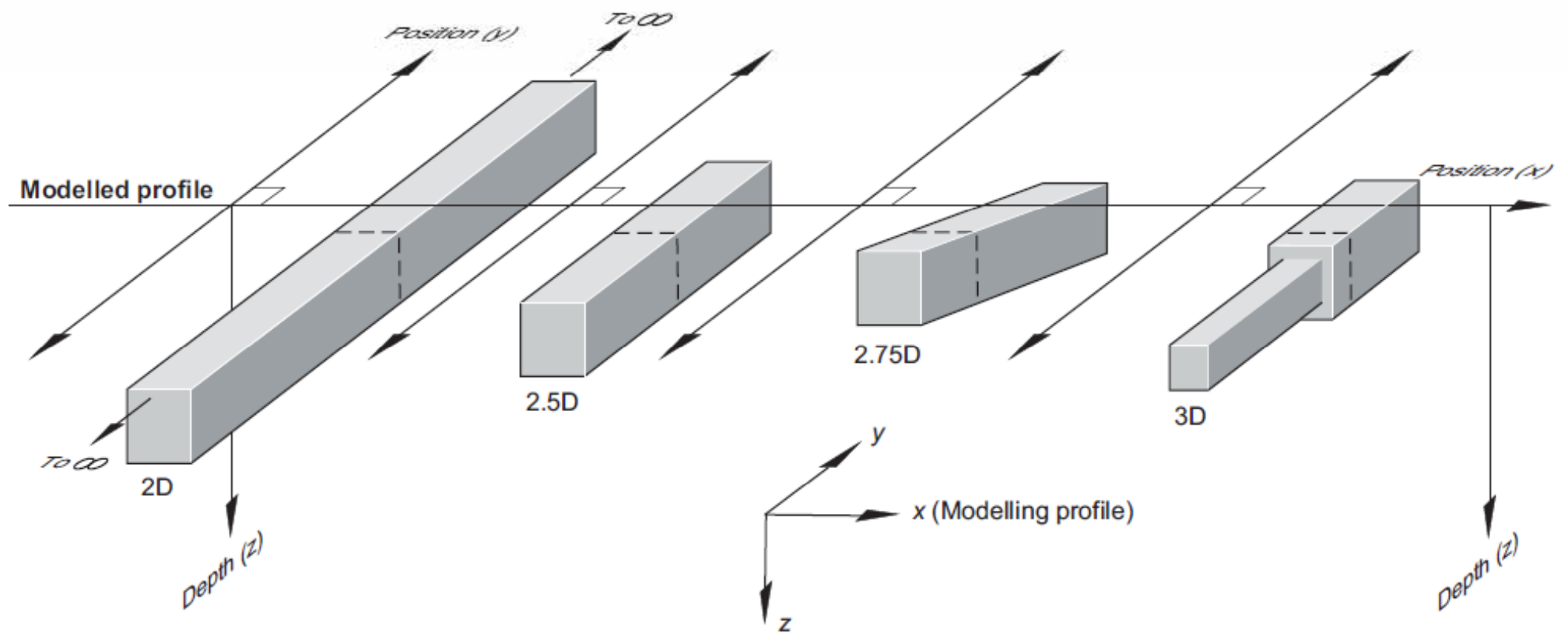
Implica determinación de profundidad, forma y tamaño de fuentes.  
Se aplica a sectores de interés particular.

- Modelos 2D, 2,5D y 3D
- Análisis espectral
- Deconvolución de Euler



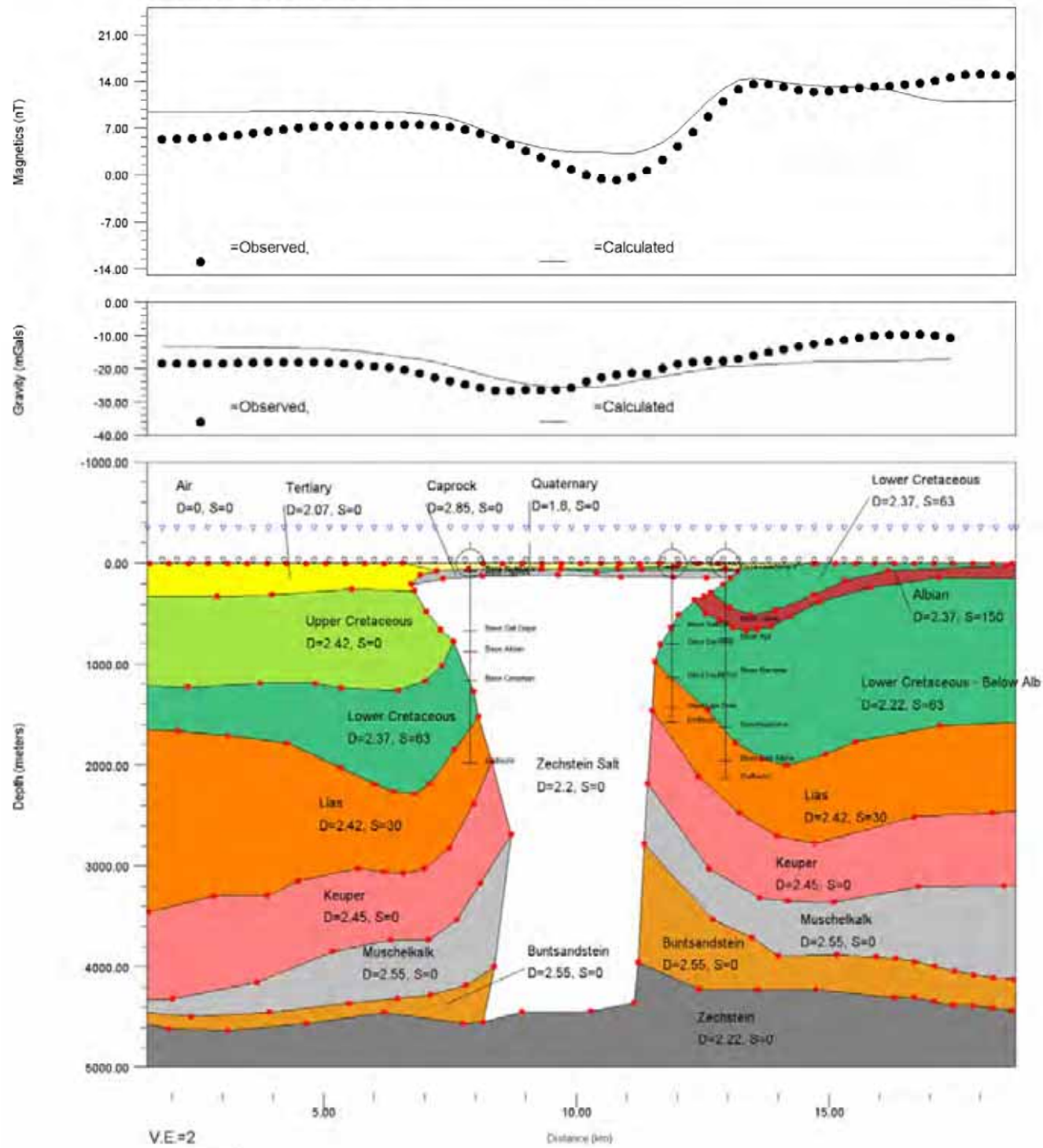
Wallaby, Australia

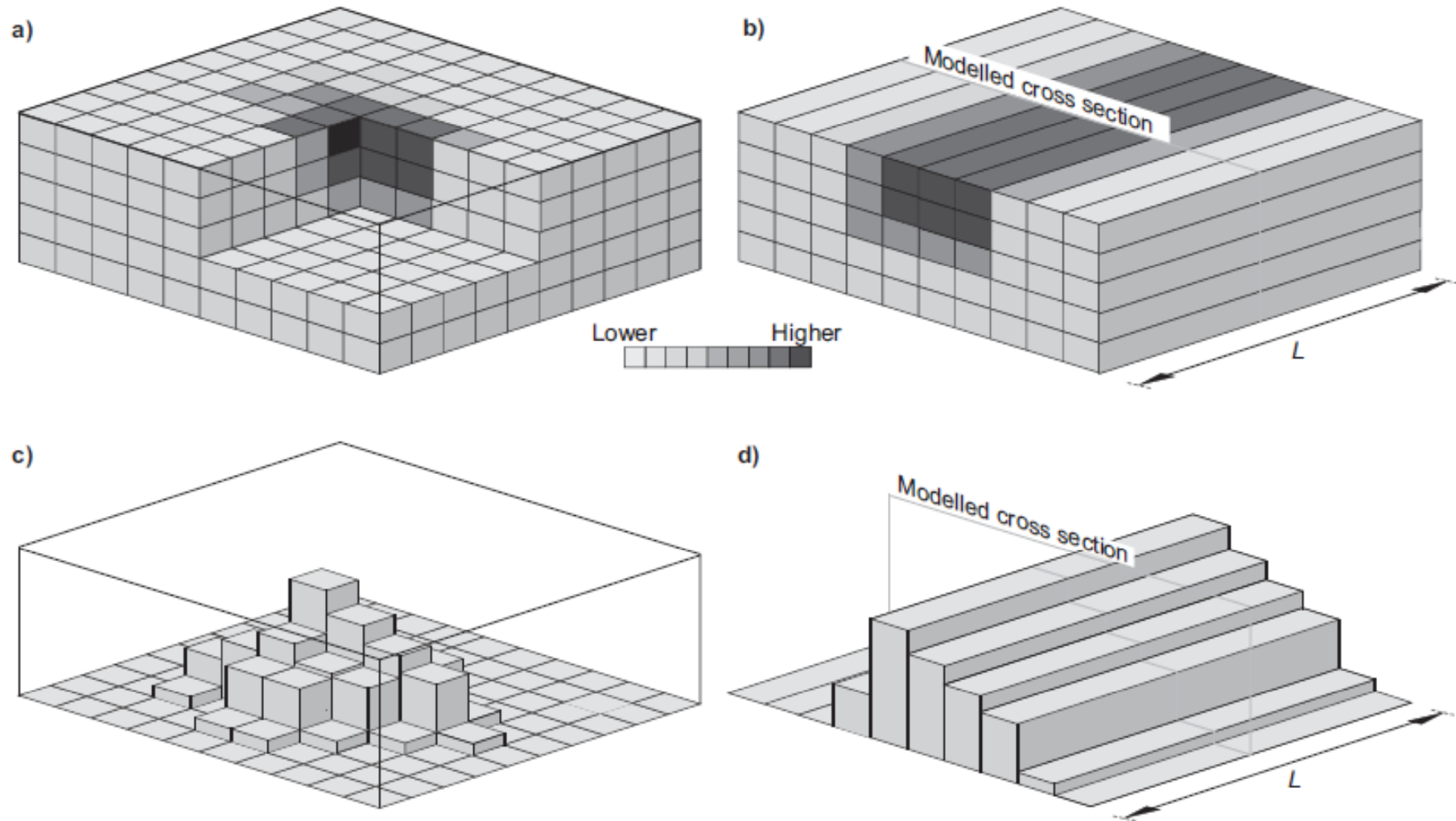




# 2D Model of North - South Section across salt dome

Generated with GM-SYS by Moritz Müller

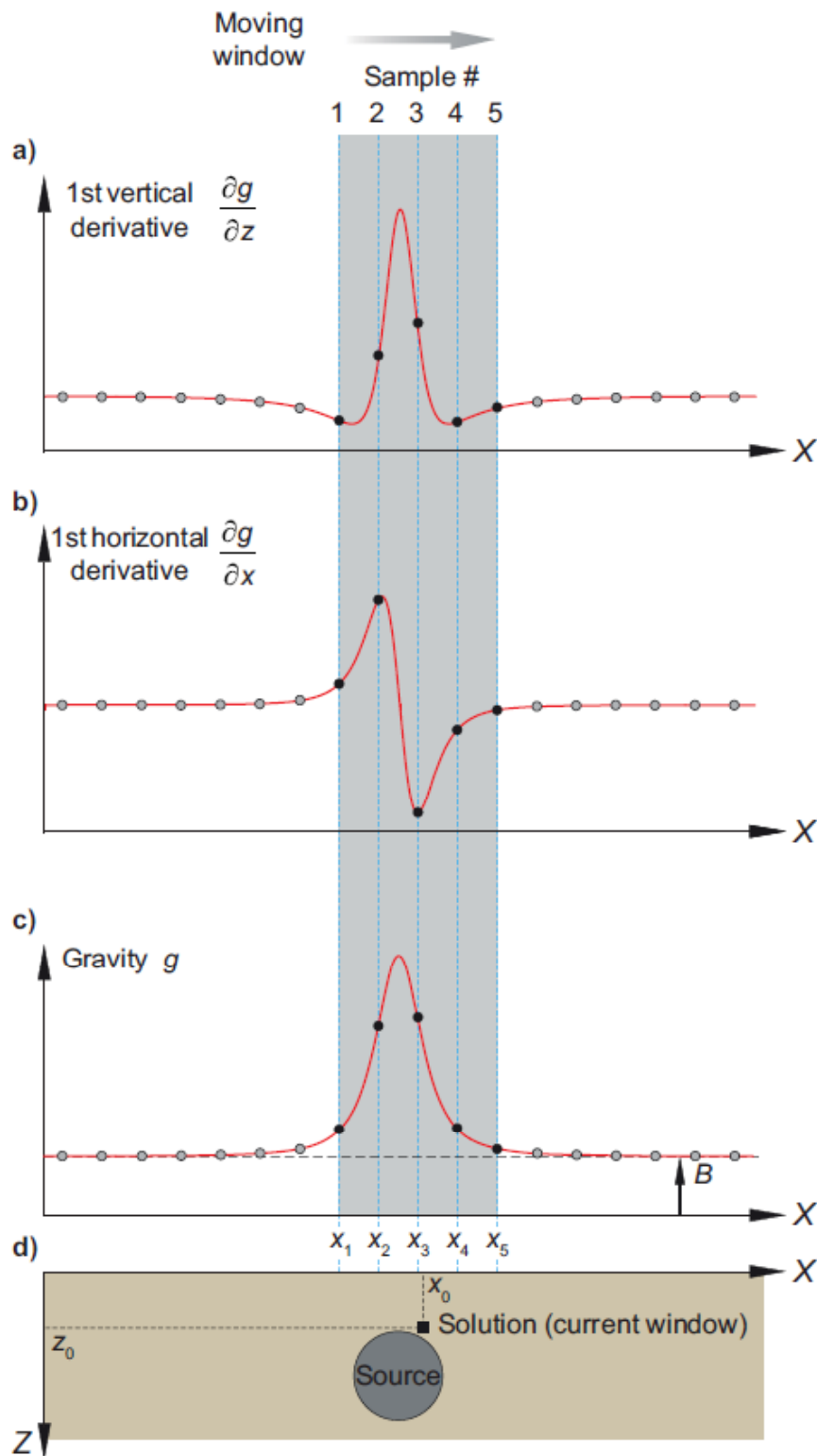




**Figure 2.45** Cell-based models. (a) The model comprises a series of voxels of the same size, with the magnitude of the physical property specified for each voxel; (b) 2D or 2.5D version of (a) depending on length  $L$ ; (c) 3D cell-based model where one dimension of each cell is varied; and (d) 2D or 2.5D version of (c) depending on length  $L$ . The shading depicts variation in the magnitude of the physical property.



## Deconvolución de Euler

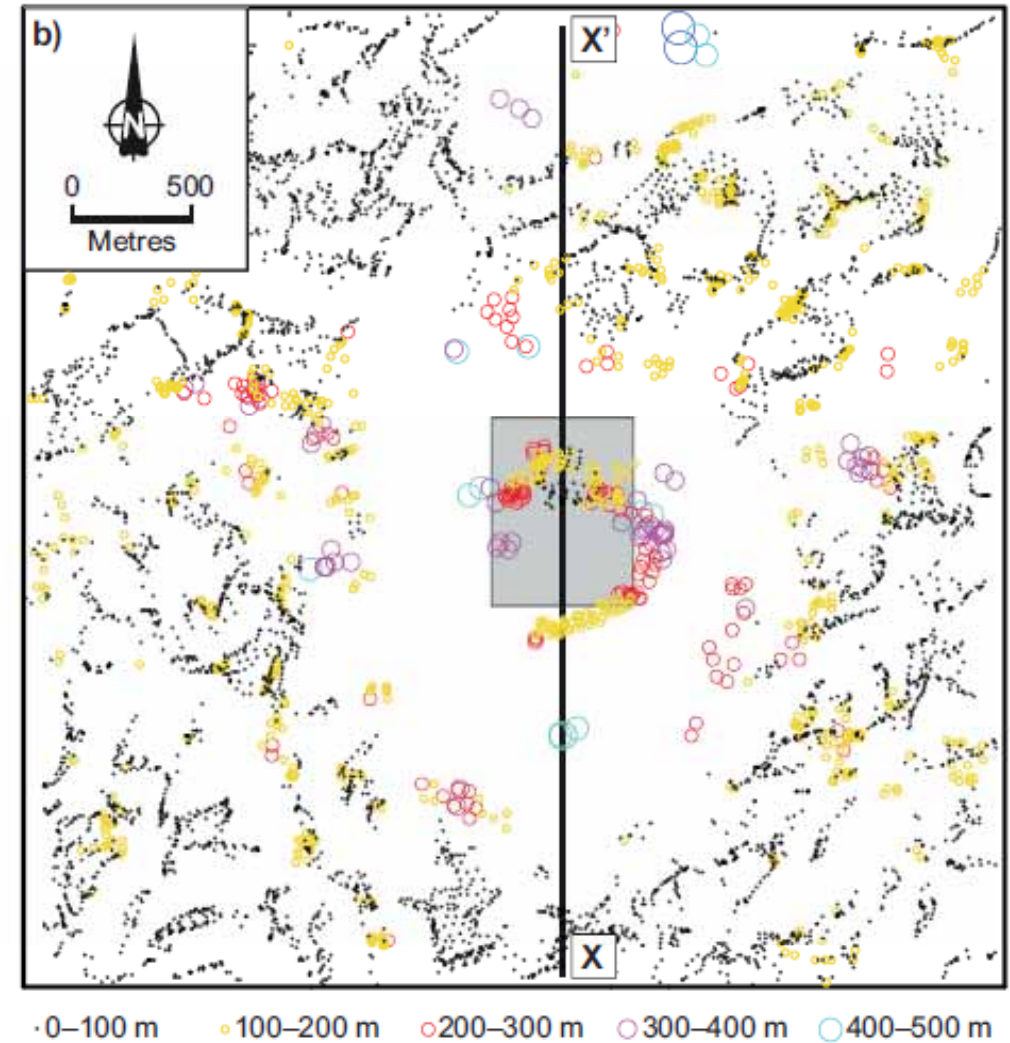
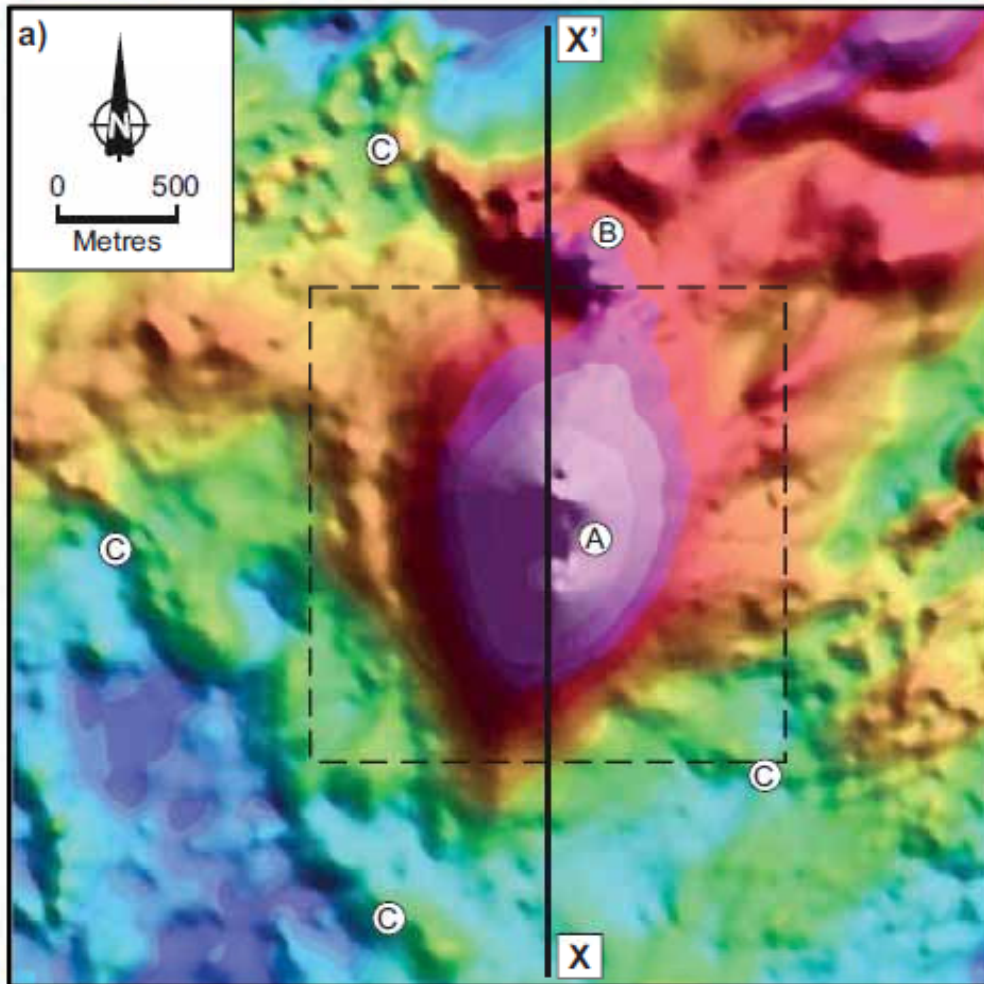


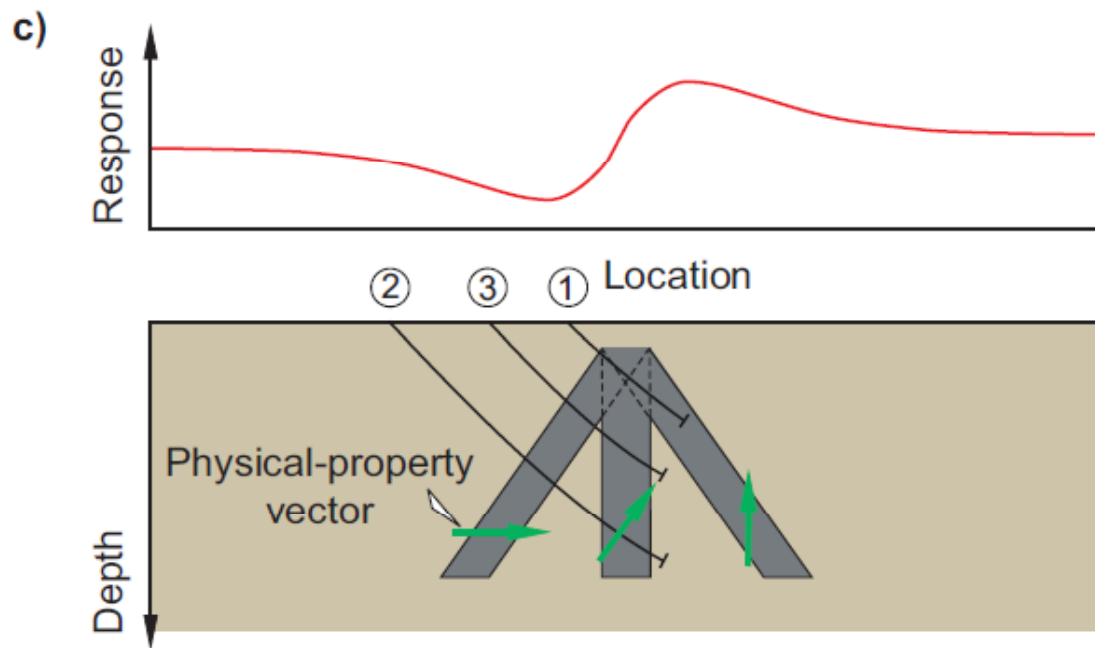
$$(x - x_0) \frac{\partial f}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial f}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial f}{\partial z} = N(B - f)$$

Se calcula la profundidad de la fuente para cada punto, a partir del gradiente de la anomalía en varias ubicaciones de una ventana que circunda a dicho punto.

## Soluciones de Euler

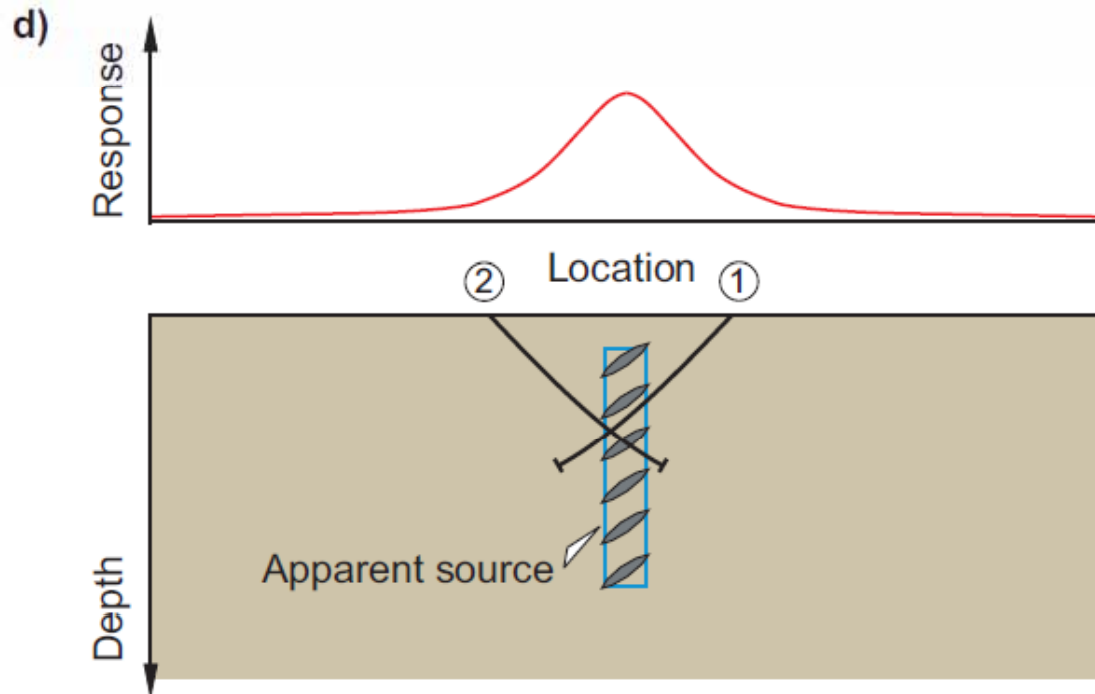
Ventana de 11 puntos, índice estructural 1,5





Más causas de ambigüedad:

Inclinación del cuerpo, versus inclinación del vector magnetización



Interpretación incorrecta por falta de resolución



## Petrofísica

La ambigüedad se restringe si se cuenta con datos sobre petrofísica, que puedan aplicarse al modelado.

En magnetometría, los datos petrofísicos relevantes son:

- Susceptibilidad magnética:
- Remanencia magnética

## Susceptibilidad magnética



**Bartington MS2.** Frecuencias 465 y 4650 Hz.  
Rango  $2 \times 10^{-6}$  a 26 SI





La susceptibilidad magnética medida en el campo será una estimación mínima, debido a:

- La superficie de apoyo del instrumento nunca es totalmente plana
- La alteración meteórica en superficie tiende a reducir el valor de  $\kappa$

$$\kappa \text{ (SI)} = 4 \pi \kappa \text{ (cgs)}$$

- Los contrastes de  $\kappa$  de interés en prospección geofísica suelen implicar más de un orden de magnitud de diferencia



**Remanencia magnética**

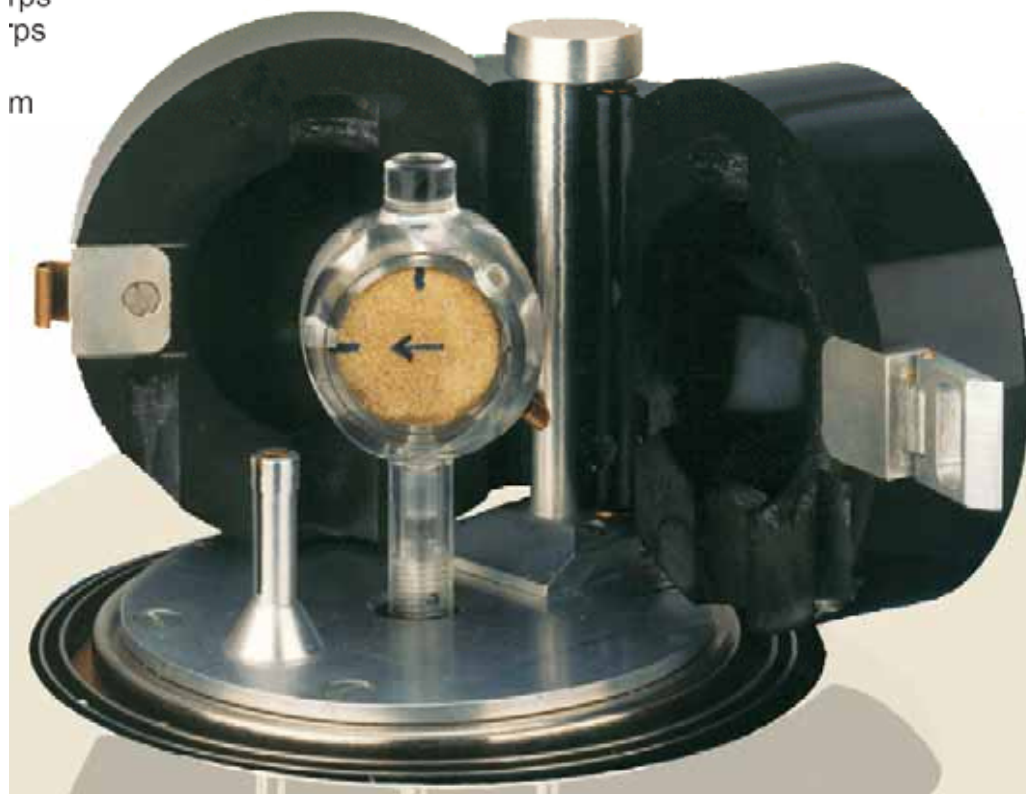




La remanencia magnética se puede medir en laboratorio, con magnetómetros especialmente diseñados. Esto requiere obtener muestras orientadas



rpm  
ps  
m



Magnetómetro  
rotativo JR6

<i>Parámetro físico medido</i>	Intensidad del CMT, o alguna de sus componentes, o su gradiente
<i>Unidades</i>	Nanoteslas (nT)
<i>Propiedad física relevante</i>	Susceptibilidad magnética y magnetización remanente
<i>Fuente de anomalías</i>	Contraste de susceptibilidad magnética, magnetización remanente o ambas
<i>Profundidad de investigación</i>	Desde la superficie hasta la isoterma de Curie
<i>Detección directa</i>	Menas de magnetita, hierro bandeado
<i>Ejemplos de detección directa</i>	Olympic Dam
<i>Detección indirecta</i>	Oro en paleoplaceres, cromita, diamantes en kimberlitas, metales base en BIF
<i>Costos aproximados</i>	5-20 u\$s/km en plataformas aéreas, 1 u\$s/estación (150u\$s/km) en relevamientos terrestres



## Algunas observaciones:

- Método de aplicación rápida y bajo costo.
- Clásico en etapas tempranas de prospección.
- Estructuras del basamento cristalino, exploración minera, entre muchas otras aplicaciones.
- Interpretación requiere datos geológicos regionales, información de perforaciones, combinación con otros métodos.

## Aplicaciones:

Relevamientos geológicos regionales (Servicios Geológicos)

Exploración de hidrocarburos (etapas iniciales)

Exploración o prospección minera

Estudios ambientales (basureros, cañerías, plumas de HC)

Arqueología

Estudios académicos: Tectónica, geología estructural

Otros...