

## ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS GRAVIMETRICOS. UNA HERRAMIENTA PARA REGULARIZARLOS

*M. Patricia Martínez<sup>1,2</sup>; Mónica Morvillo<sup>3</sup>; Mario E. Gimenez<sup>1,2</sup>;  
Federico Lince Klingner<sup>4</sup> y Francisco Ruiz<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto Geofísico Sismológico Volponi. FCEF.N. UNSJ. Avenida Ignacio de la Roza y Meglioli.  
5400. Rivadavia. San Juan. mpm@unsj-cuim.edu.ar

<sup>2</sup> CONICET. Rivadavia 1917. 1033. Capital Federal

<sup>3</sup> Departamento Geofísica. FCEF.N. UNSJ.

<sup>4</sup> Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

### RESUMEN

Se construyó una carta de anomalías de Bouguer para las provincias de San Juan y La Rioja a partir de una base de datos heterogénea. Se aplicó el método de Krige analizando previamente aspectos estadísticos como: a) distribución espacial de las muestras, b) análisis de la homogeneidad de la variable AB en el área geográfica, c) análisis del comportamiento espacial de los datos.

La visualización espacial de dos tendencias opuestas cuya línea de encuentro coincide con el eje andino forzó a separar la muestra de datos en dos sub-áreas. De esta manera, se trabajó en dos etapas: 1) estimación de los datos hacia el Oeste de la Cordillera de los Andes, 2) Estimación de anomalía de Bouguer hacia el Este de la Cordillera de los Andes, y 3) Unión de ambos archivos de datos y estimación del área total.

**Palabras Claves:** Regularización-Gravedad-Estadística-Krige

### ABSTRACT

The map of anomalies of Bouguer was built for San Juan and La Rioja provinces starting from a heterogeneous database. The method of Krige was applied analyzing statistical aspects previously as: a) space distribution of the samples, b) analysis of the variable's homogeneity in the geographical area, c) analysis of the data's spatial behaviour.

The spatial visualization of two opposed tendencies whose alignment coincides with the Andean axis, had forced to separate the sample of data in two sub-areas. The work was divided in two stages: 1) Estimate of the data toward the West of the Mountain range of the Andes, 2) Estimate of anomaly of Bouguer toward the East of the Mountain range of the Andes, and 3) Union of both files of data and estimate of the total area.

**Keywords:** Regularization-Gravity-Statistic-Krige

### INTRODUCCION

Es ya conocido el problema de regularización de los datos de cualquier tipo de muestreos, geológicos, topográficos, geofísicos, biológicos, astronómicos, etc. En

particular, en la confección de cartas gravimétricas para el territorio argentino, las primeras contribuciones importantes que se destacan son: la de Guspí *et al.* (1987), confeccionando mapas gravimétricos de la Provincia de Córdoba; Introcaso *et al.* (1992)

elaborando la carta gravimétrica de Precordillera y Sierras Pampeanas y Guspí *et al.* (1995) presentando la carta gravimétrica de la República Argentina entre los 31° y 42° de latitud Sur (utilizando el método de mínima curvatura, Briggs, 1974).

En principio se contó con la base de datos propios IFIR-IGSV (Instituto de Física de Rosario e Instituto Geofísico Sismológico Volponi) y del IGM (Instituto Geográfico Militar Argentino) que incluían datos gravimétricos hasta el año 1988 y se confeccionó una carta preliminar de la República Argentina utilizando el método del promedio ponderado (Guspí, 1990; Introcaso, 1990).

Posteriormente se añadió a esta base de datos: a- la carta sudamericana de anomalías de Bouguer de la Universidad de Leeds (Gran Bretaña) publicada por Green y Fairhead (1991), y b- en 1995 se obtuvo una base de datos de Chile cedida sin cargo al IFIR por el Licenciado Gonzalo Yañez de SERNAGEOMIN.

Con una gran cantidad de datos relevados entre 1995 y 1997 en el Valle del Tulum, Sierras Pampeanas y Precordillera, en 1999 se pre-sentó la carta gravimétrica de la provincia de San Juan (Robles *et al.*, 1995).

Entre 1998-2000 se realizaron campañas gravi-altimétricas en la provincia de La Rioja, incluyendo mediciones areales hacia el Norte y Sur de La Rioja y sobre la Sierra de Famatina cuyo primer producto fue la obtención de una Carta Gravimétrica de la provincia de La Rioja (Martínez *et al.*, 2000). Luego se intensificaron las mediciones sobre la Sierra de Velasco y sus alrededores, para confeccionar la Carta Gravimétrica de la Sierra de Velasco (Martínez *et al.*, 2001).

El presente trabajo refiere a la aplicación de los métodos estadísticos y geoestadísticos para la estimación en el espacio, de la variable "Anomalía de Bouguer (AB)" en una franja geográfica comprendida entre las latitudes

(-33°; -27,5013°) y longitudes (-71°;-65°). Esta franja geográfica abarca la porción de Chile e incluyen las Provincias de San Juan y La Rioja en la Argentina. Al efecto fue empleada la metodología de Krige (Krige, 1951; Matheron, 1962, 1963.a, 1963.b; Ribeiro, 1995), dado sus propiedades de estimador insesgado, varianza mínima y sensibilidad a las posiciones espaciales de las muestras.

## ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LOS DATOS

En la construcción del archivo base, se sumaron a nuestra base de datos (IGSV-IFIR), la base de datos de Chile y una treintena de puntos obtenidos por estimación lineal: gravedad vs elevación en la zona central de Argentina, siguiendo a Introcaso *et al.* (1995), como puede verse en la Figura 1. La muestra tomada consta de 4383 valores de anomalía de Bouguer (AB) asociados a las coordenadas espaciales longitud, latitud y cota topográfica. La aplicación del método de Krige requirió el análisis de algunos aspectos básicos:

### Distribución espacial de las muestras

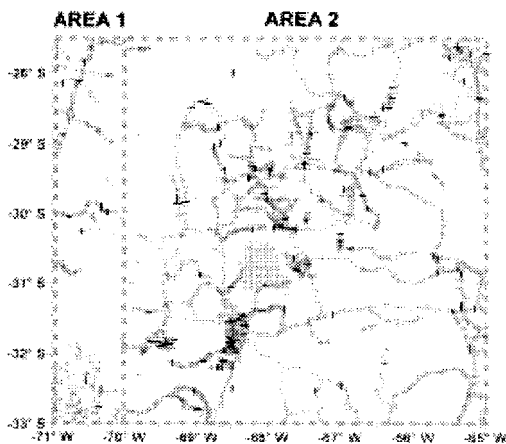


Figura 1. Distribución espacial de los datos. (Particiones: Área 1 y Área 2)

Este análisis tuvo el propósito de examinar la forma y densidad de las posiciones del muestreo, para adquirir criterio sobre sus implicancias tanto en el resumen descriptivo de la variable, como en la elección del radio de búsqueda de datos (vecindad) requerida para la estimación puntual según Krige.

En la Figura 1 observamos que los sondeos fueron tomados en forma irregular, definiendo zonas de mayor y menor densidad de información. Esta característica restringe la definición del entorno para los nodos de estimación, a radios no inferiores a la mitad del mayor espaciamento entre muestras vecinas. Caso contrario la estimación produce indeterminaciones en las zonas de menor densidad de datos.

**Análisis de la homogeneidad de la variable en el dominio o área geográfica:**

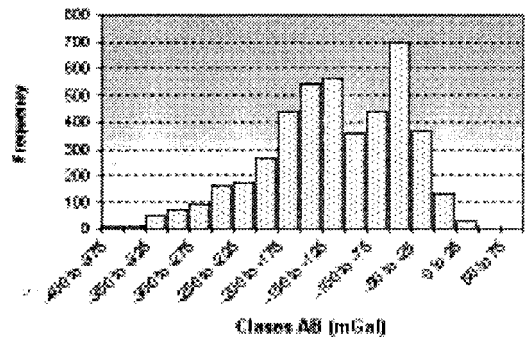
En este caso se examina el requisito de “continuidad espacial de la variable en el área de estimación”, enunciado por la Geoestadística. A efectos de no rechazar el supuesto se esperaba visualizar una distribución unimodal. La distribución de frecuencias (Tabla 1, Fig. 2) de los valores de anomalía, mostraron una depresión central con dos puntos de concentración.

El resultado advirtió la posibilidad de heterogeneidades que no son admitidas en el marco teórico de la aplicación. Esto debió ser examinado antes de continuar con la estimación, pues podía requerir la partición de la muestra, en sub-áreas de comportamiento homogéneo que permitieran la aplicación. Entre los aspectos que se investigaron, se consideraron: la presencia de discontinuidades, saltos y cambios irregulares en la tendencia espacial de la variable. Para ello fue necesario visualizar los datos en el espacio.

**Análisis del Comportamiento Espacial de los Datos**

**Tabla 1.** Tabla de frecuencia de los valores de anomalía de Bouguer

ANOM. BOUGUER	Frequency	Percent	Cumulative Percent
-400 to -375	7	0,16	0,16
-375 to -350	11	0,25	0,41
-350 to -325	47	1,07	1,48
-325 to -300	73	1,67	3,15
-300 to -275	92	2,10	5,25
-275 to -250	160	3,65	8,90
-250 to -225	173	3,95	12,85
-225 to -200	269	6,14	18,98
-200 to -175	438	9,99	28,98
-175 to -150	539	12,30	41,27
-150 to -125	562	12,82	54,10
-125 to -100	355	8,10	62,19
-100 to -75	438	9,99	72,19
-75 to -50	696	15,88	88,07
-50 to -25	363	8,28	96,35
-25 to 0	132	3,01	99,36
0 to 25	25	0,57	99,93
25 to 50	2	0,05	99,98
50 to 75	1	0,02	100,00



**Figura 2.** Histograma de anomalía de Bouguer

Este análisis tiene por objeto examinar los valores de la anomalía de Bouguer (AB) respecto a sus coordenadas espaciales por medio de un gráfico tridimensional, para detectar las distintas situaciones de heterogeneidad y definir los pasos a seguir en la estimación.

La deriva espacial es la presencia de una tendencia regular de los datos en una determinada dirección del espacio, esto es, que

sus valores disminuyan (o aumenten) en forma monótona según una superficie plana o cóncava (convexa). Su análisis es imprescindible para la aplicación del método de Krige, dado que cuando existe la deriva espacial, la estimación de la variable  $z$  está programada en forma indirecta, es decir a través de la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1)

$$Z_{new} = z - m_{(x,y)} \quad (1)$$

siendo:  $m(x,y)$ : la función que describe a la deriva. La omisión de tal aspecto podría generar un error insalvable en el proceso de regularización de los datos.

La representación 3D, diagrama de dispersión (Fig. 3) evidenció la existencia de dos tendencias que se interceptaban en una longitud de aproximadamente los  $-70^\circ$ . Desde el punto de vista geofísico esto fue totalmente aceptable debido a que los datos atraviesan la cordillera Andina. Se sabe que la morfología de los datos de AB acompañan la geometría de la raíz Andina.

Desde el punto de vista geoestadístico, el conjunto de datos no debe ser tratado en forma simultánea y precisa la partición en dos sub-áreas de pendiente única (Fig. 1, Área 1 y Área 2):

⟨Sub-área 1 correspondiente a los datos de coordenadas con longitudes  $\leq -70^\circ$ , y

Plot of AB vs Longitud and Latitud

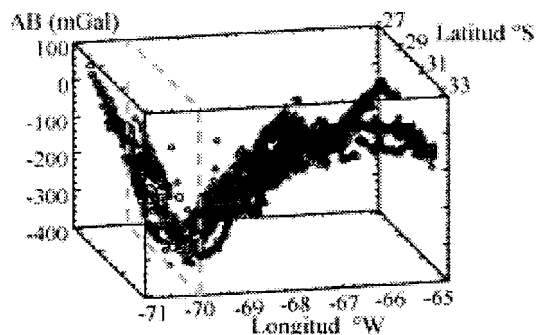


Figura 3. Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud.

Tabla 2.

Area 1	
ANOM. BOUGUER	Frequency
-400 to -350	4
-350 to -300	19
-300 to -250	35
-250 to -200	39
-200 to -150	42
-150 to -100	76
-100 to -50	139
-50 to 0	59
0 to 50	7
50 to 100	1

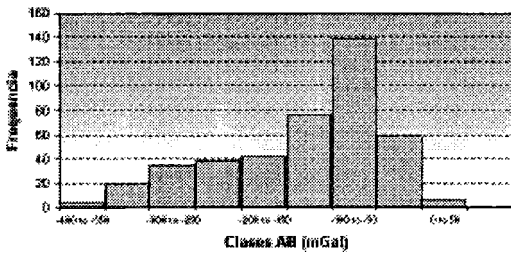
Tabla 3.

Area 2	
ANOM. BOUGUER	Frequency
-400 to -375	6
-375 to -350	9
-350 to -325	36
-325 to -300	65
-300 to -275	76
-275 to -250	142
-250 to -225	155
-225 to -200	249
-200 to -175	417
-175 to -150	518
-150 to -125	534
-125 to -100	307
-100 to -75	383
-75 to -50	612
-50 to -25	334
-25 to 0	102
0 to 25	20

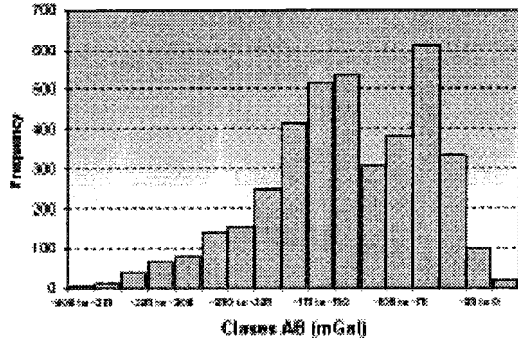
⟨Sub-área 2 correspondiente a los datos de coordenadas con longitudes  $> -70^\circ$ .

El análisis descriptivo de los datos por cada sub-área, dieron los resultados que se observan en las Tablas 2 y 3, y Figuras 4 y 5:

El histograma de AB para la sub-área 2 (Fig. 5), mantuvo la situación de bimodalidad del histograma general. Una vista tridimensional del sector permitió concluir que se debía

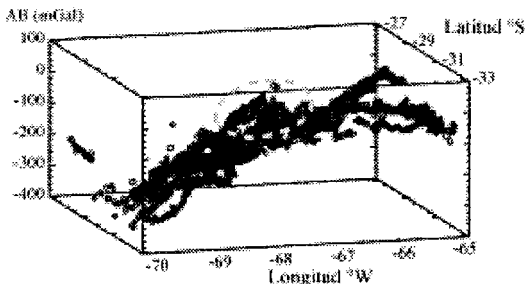


**Figura 4.** Histograma de la anomalía de Bouguer (Área 1)



**Figura 5.** Histograma de la anomalía de Bouguer (Área 2)

a un “pico” que emerge en la parte central del área y que corresponde al área de las Sierras Pampeanas de San Juan y La Rioja (Fig. 6). Existen suficientes antecedentes que señalan anomalías gravimétricas positivas en esta porción del continente (Introcaso y Huerta, 1972; Miranda e Introcaso, 1999; Introcaso y Lión, 1988 ; Gimenez *et al.*, 2000, etc).



**Figura 6.** Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud de la Sub-área 2

Si bien el accidente positivo es un cambio irregular en la tendencia general, el mismo no posee un área significativa como para justificar otra partición. Así la sub-área 2 fue tratada como de características homogéneas. Con esta suposición, se escapa de las nuevas teorías geológicas que hablan de la deriva continental y del rompecabezas de terranes amalgamados en esta región: Chilenia, Precordillera, Famatina, Pampeano (Ramos *et al.*, 2002).

### ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTIMACIÓN

Este punto comprende el cálculo del Semivariograma experimental, su ajuste a un modelo continuo y la estimación por el método de Krige. Las conclusiones del análisis exploratorio determinaron tres etapas para la estimación: las dos correspondientes a cada área y la tercera relacionada a la unión de ambas estimaciones, para obtener la estimación completa del área de estudio. A efectos que la unión de las estimaciones en cada área pudiera realizarse, se tuvo cuidado que las grillas geométricas aplicadas a cada área tuvieran la línea frontera con nodos comunes.

#### Primera Etapa: Obtención del Semivariograma y estimación en la Sub-Área 1

El resumen estadístico de los datos del área previo al cálculo del Semivariograma, confirmaron:

- a) Correlación alta entre AB(Z) y la variable Longitud (X)
- b) Significación de los coeficientes de un plano que ajusta la deriva espacial.
- c) Significación del coeficiente de determinación de la regresión lineal múltiple ( $R^2=0.726$ ).

Estos resultados implicaron derivar la estimación a través de la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1).

Para la deriva (función  $m(x,y)$ ), se puede optar entre una superficie lineal:

$$m(x,y)=AX+BY+C$$

y una superficie cuadrática:

$$m(x,y)=AX^2+BY^2+CX+DY+EY+F.$$

Atendiendo al diagrama de Dispersión (Fig. 7), se consideró que el modelo cuadrático ajustaba mejor al caso.

El cálculo del Semivariograma se limitó a una distancia máxima de 0.7 (expresada en la escala geográfica, décimas de grados), para la que se observó influencia. En el ajuste se optó por el modelo Cuadrático Racional. El método por mínimos cuadrados dio por resultado la función:

$$\gamma = 1579 [h^2 / (1 + h^2)] \quad (2)$$

Los parámetros de anisotropía fueron:

$$\theta \text{ (ángulo)} = 177,4 \text{ y } \lambda \text{ (razón)} = 1,2$$

El ángulo  $\theta$  es la dirección principal de mayor influencia o de menores cambios en la variable AB y a la cual corresponde el modelo ajustado. La razón, es la relación entre los alcances en la dirección principal y su ortogonal (dirección secundaria o de mayores cambios) y es el parámetro aplicado para adecuar el modelo al resto de las direcciones.

Las vistas de los semivariogramas en tales direcciones (Figuras 8.a y 8b), permiten comprender la versatilidad del modelo (en línea sin quiebres) descrita por los parámetros de anisotropía:

Cabe advertir que la menor pendiente del modelo esta dada en la dirección 177.4°,

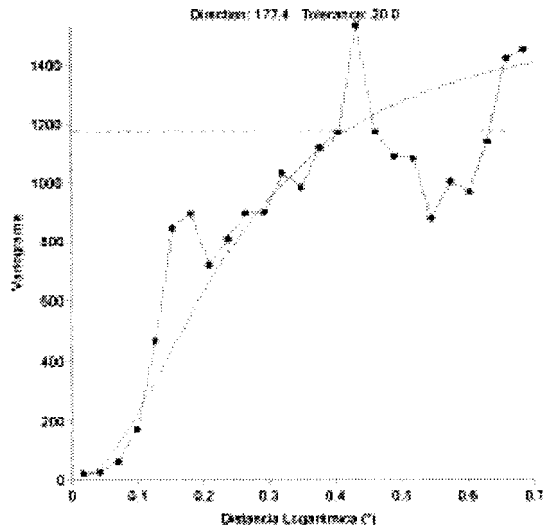


Figura 8.a. Semivariograma de la AB para el área 1, en la dirección  $\theta=177.4^\circ$

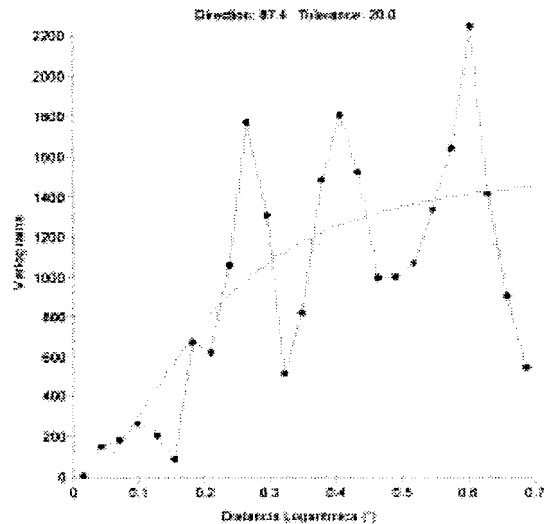


Figura 8.b. Semivariograma de la AB para el área 1, en la dirección  $\theta=87.4^\circ$

aunque la diferencia en las escalas aplicadas a cada gráfico aparente lo contrario. Por último se aplicó el criterio de Krige para estimar los valores de AB en 1900 nodos de una grilla formada por el trazado de 19 líneas equidistantes en el rango de Longitud y 100 líneas en el rango de Latitud.

El criterio adoptado fue el de Krigeado residual, que tomó de base el semivariogra-

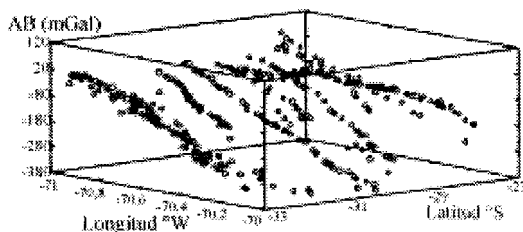


Figura 7. Diagrama 3 D. AB vs latitud y longitud de la sub-área 1

ma Cuadrático Racional obtenido para la variable residual definida por una deriva cuadrática. La estimación resultó aceptable luego de varias pruebas de ensayo y error, dado que la despareja distribución espacial de los datos del muestreo provocaba saltos y quiebres irreales o que no quedaban avalados por la variabilidad explicada en el semivariograma.

Entre las soluciones que se tuvieron que aplicar está la incorporación de 21 puntos auxiliares, externos a la muestra, cuyas coordenadas (x,y) fueron tomadas al azar en áreas de ausencia de datos y sus valores de z obtenidos por medio de la validación cruzada (cross validate). Estos puntos permitieron reducir los radios de búsqueda y la densidad de datos para el entorno de búsqueda en cada nodo y con ello, a los errores de estimación.

Otra situación que se atendió en la estimación, fue el filtrado de datos para reducir la densidad en las zonas aglomeradas, dado que este aspecto también aumentaba significativamente a los errores de estimación.

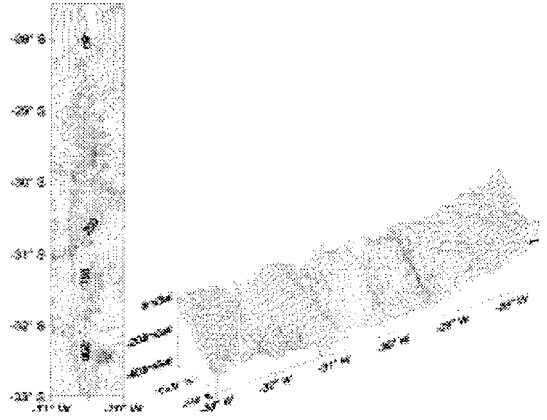
En síntesis, los parámetros para la búsqueda fueron:

-Filtrado de datos duplicados teniendo en cuenta una tolerancia mínima en longitud de:  $\Delta x = 0.025$  y en latitud de:  $\Delta y = 0.03$ , tomando del grupo aquel que posee la Me (mediana) de AB.

-Entorno elíptico con radios (0.5; 0.4) y ángulo de 177.4°.

-Selección de no más de 2 datos por sector elíptico (8 en total) y un mínimo de 2 datos, en cada entorno de nodo de estimación. La baja densidad de datos fue adoptada para asegurar estimaciones parecidas a los datos locales. La estimación se visualiza en un mapa de contornos y en un diagrama 3D, Figura 9.

Durante el proceso de estimación se creó además el archivo de las desviaciones de cada estimación, cuyas estadísticas se observan en la Tabla 4. Los valores estimados nodo a nodo en la Sub-área 1, fueron



**Figura 9.** Sub-Área 1. Izquierda, mapa de contornos resultado de la aplicación del método de Krige. Isonómalas cada 20 mGal. Derecha, diagrama 3D.

convertidos a un archivo de datos para ser complementados con los estimados para la Sub-área 2.

**Segunda Etapa. Obtención del Semivariograma y estimación en la Sub-área 2**

**Tabla 4.** Análisis estadístico de los datos estimados en la Sub-área 1. No se han tomado las desviaciones de 754 nodos que han quedado indeterminadas. Sin embargo, las estadísticas permiten dimensionar los posibles errores cometidos en cada nodo de estimación, como consecuencia de la variabilidad espacial existente.

Valid cases	1146
Minimum	0,080607916
Maximum	199802,2223
1st percentile	0,413762188
5th percentile	1,66053961
10 <sup>th</sup> percentile	3,415317237
25 <sup>th</sup> percentile	8,95753049
Median	22,96252896
75 <sup>th</sup> percentile	91,85824772
90th percentile	5781,23253
95 <sup>th</sup> percentile	13018,0358
99 <sup>th</sup> percentile	66928,95385
Geom. mean	47,96463377

Análogamente al análisis anterior, las estadísticas previas correspondiente a la sub-área 2, son:

- a) Correlación alta entre AB(Z) y la variable Longitud (X)
- b) Significación de los coeficientes de un plano que ajusta la deriva espacial.
- c) Significación del coeficiente de determinación de la regresión lineal múltiple ( $R^2=0.6473$ ).

El cálculo del semivariograma se aplicó, en consecuencia a la variable residual  $Z_{new}$  (ecuación 1); asimilando  $m(x,y)$  a una superficie cuadrática, dada la característica curvilínea del diagrama de Dispersión en el área (Fig. 6).

La distancia máxima para el cálculo del semivariograma experimental fue de 0.7, el que se ajustó al modelo lineal:  $\gamma = 9,35 \cdot h$ , con parámetros de anisotropía  $\lambda = 2.5$  y  $\theta = 107,5$ .

En este caso las direcciones de menor y mayor variabilidad son de  $107.5^\circ$  y  $17.5^\circ$  respectivamente. En las Figuras 10.a y 10b observamos las vistas de la función Variograma en tales direcciones:

Para la estimación espacial en el área se aplicó también el Krigeado residual, tomando de base el semivariograma lineal de

la variable residual originada en la deriva cuadrática. La grilla de estimación quedó formada por la intersección de 91 líneas equidistantes en el rango de Longitud y 100 líneas en el rango de Latitud.

En síntesis, los parámetros para la búsqueda fueron:

- Entorno elíptico con radios (1.2;0.6) y ángulo de  $107.5^\circ$ .
- Selección de no más de 6 datos por sector elíptico (24 en total) y un mínimo de 4 datos, en cada entorno de nodo de estimación.

La estimación se visualiza en un mapa de contornos y en un diagrama 3D (Fig. 11). Las desviaciones de la estimación quedan resumidas en la Tabla 5:

**Tercer Etapa: Estimación en el área total**

La estimación para el área completa, resulta finalmente de la unión de las estimaciones obtenidas en cada área. La operación de unión implicó las siguientes tareas:

- 1º- Transformación de cada archivo de estimación con formato gráfico en un archivo de datos.
- 2º- Unión de ambos archivos en un solo archivo de datos. Este contiene los valores estimados para todo el área y a 100 pares de valores diferentes (duplicados) correspondientes a los

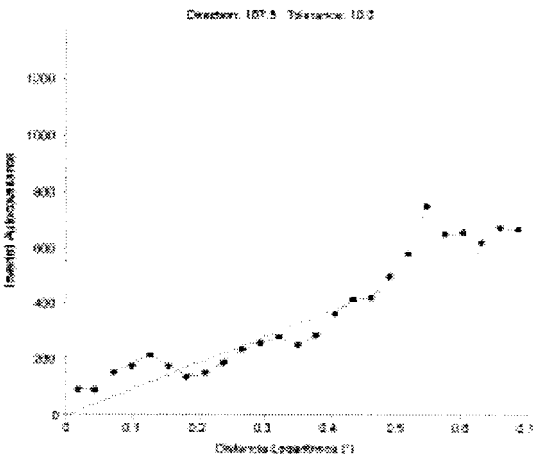


Figura 10.a. Semivariograma de la AB para el área 2, en la dirección

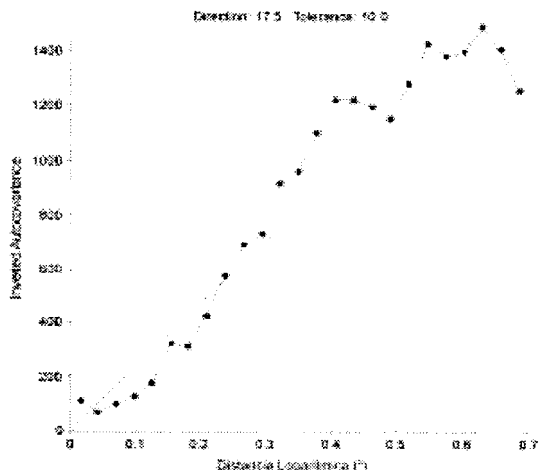
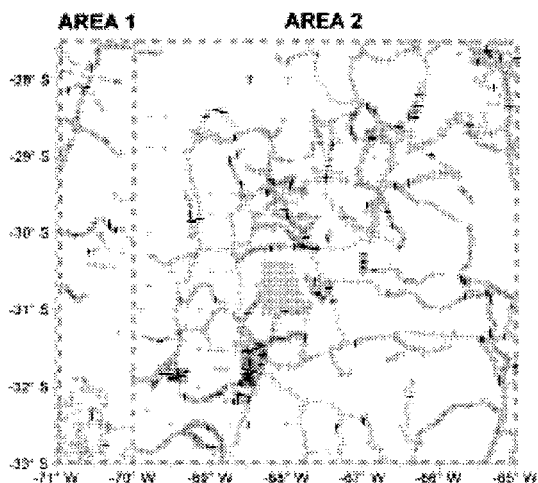


Figura 10.b. Semivariograma de la AB para el área 2, en la dirección 107.5°





**Figura 11.** Método de Krige aplicado a la Sub-Área 2. Grilla 91 X 100. Izquierda, estimación en el plano de la variable AB. Isoanómalas cada 20 mGal. Derecha, estimación 3D de la variable AB.

nodos ubicados sobre la línea (Longitud= $-70^{\circ}$ ) de intersección entre ambas grillas geométricas.

**Tabla N° 5.** Análisis estadísticos de los datos estimados para la Sub-área 2. El resumen permite concluir que la estimación para la sub-área 2 ha resultado más precisa que la obtenida para la sub-área 1, producto de una menor variabilidad espacial.

	<b>VARI</b>
Valid cases	9047
Mínimum	0,518170332
Maximum	51371,0183
Range	51370,50013
Sum	987287,0536
1st percentile	3,27976802
5th percentile	5,193032854
10th percentile	6,434300393
25th percentile	9,512164333
Median	14,60895395
75th percentile	24,41805
90th percentile	66,0994469
95th percentile	178,3285009
99th percentile	1297,325075
Geom. mean	18,27489887

3°- Transformación del archivo de valores estimados, en un archivo de estimación gráfico. Esto se consiguió aplicando el método de Krige a una grilla geométrica cuyos nodos coincidieron con las construidas en cada área y tomando como dato sólo al estimado en el nodo (krigeado singular). La duplicación en la línea longitud  $-70$ , se resuelve aplicando una selección aleatoria en la operación de estimación.

La coincidencia de los datos en los nodos de intersección, confirma que este método disminuye los problemas de borde. Las isolíneas en el área completa y su representación tridimensional se ven en la Figura 12.

## CONCLUSIONES

Se aprovechan aspectos estadísticos para la construcción de una carta de anomalías de Bouguer para las provincias de San Juan y La Rioja. Se aplica el método de Krige en una base de datos heterogénea en el que el diagrama de dispersión señala tendencias opuestas, coincidiendo el límite entre ellas con el eje andino.

De esta manera, se trabaja en tres etapas: 1) estimación de los datos hacia el Oeste de la Cordillera de los Andes, 2) estimación de anomalía de Bouguer hacia el Este de la Cordillera de los Andes, y 3) Unión de ambos archivos de datos y estimación del área total. En las dos primeras etapas, se determinó el semivariograma experimental con sus parámetros de anisotropía y se lo aplicó a la variable residual asimilando la función a una superficie cuadrática, dadas las características curvilíneas de los diagramas de Dispersión en ambas áreas. En la tercera etapa, unión de sub-bases de datos, la coincidencia de los datos en los nodos de intersección, confirma que este método disminuye los problemas de borde.

Cabe comentar que la estimación obtenida es parte de un conjunto infinito de posibilidades y que su nivel de acierto queda

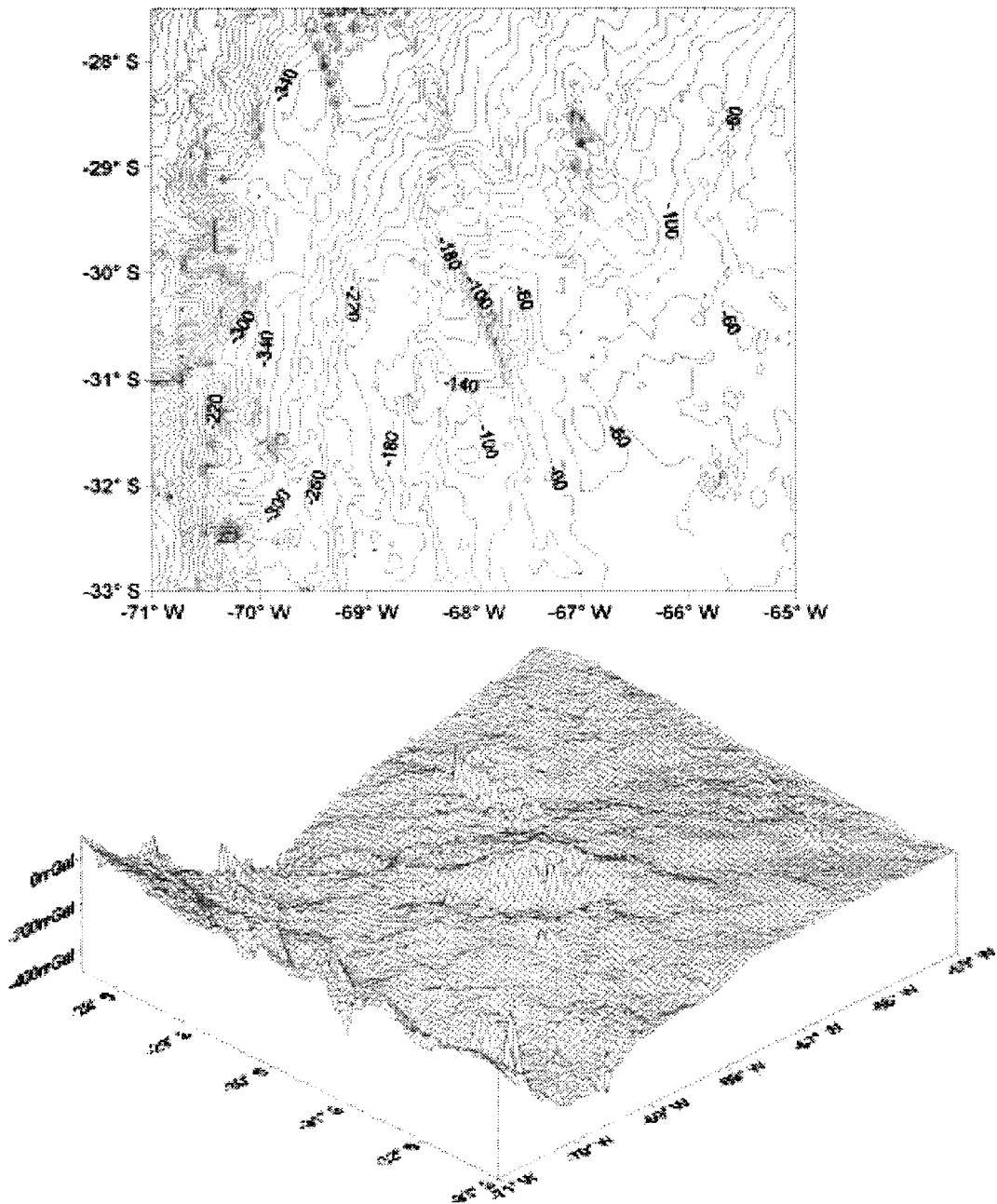


Figura 12. Estimación de toda la base de datos. Arriba, isolíneas de AB cada 20 mGal. Abajo, vista 3D de la estimación que produce el método de Krige.

supeditado tanto a la distribución espacial de las muestras (levantamiento de los datos), como al conocimiento y experiencia de quienes deciden la aplicación.

**Agradecimientos:** Los autores agradecemos a CONICET por haber subsidiado el presente trabajo a través del PIP N° 6044. Al FONCYT por su aporte con el proyecto PICT REDES 2003 N° 283, como asimismo al CICITCA por el proyecto N°21/E 624.

**REFERENCIAS**

- Briggs, I.C. 1974. Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics* 39, 39-48.
- Gimenez, M., M.P. Martinez, and A. Introcaso. 2000. A Crustal Model based mainly on Gravity data in the Area between the Bermejo Basin and the Sierras de Valle Fértil-Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 13 (3): 275-286.
- Green C.M. and J.D Fairhead. 1991. The South American Gravity Project, in: *Recent Geodetic and Gravimetric Reserch in Latin America*, W. Torge; A.G. Fletcher and J.G. Tanner, eds, Springer, Vienna.82-95.
- Guspi, F., A. Lion, A. Nocioni y H. Fraga. 1987. Mapas gravimétricos de Córdoba. Instituto de Física de Rosario, pp. 7.
- Guspi, F. 1990. Versión de partida para una carta gravimétrica de la República Argentina. 16<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Bahía Blanca.
- Guspi, F., A. Introcaso y M.C. Pacino. 1995. Carta Gravimétrica Argentina 1995: Su Construcción. Actas 1<sup>o</sup> Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas. 9<sup>o</sup> Congreso Nacional de Cartografía, Buenos Aires: 88 -93.
- Introcaso, A. y E. Huerta. 1972. Perfil gravimétrico trascontinental sudamericano (32°S). *Rev. I.P.G.H.*, 21(22): 133 159.
- Introcaso, A. y A. Lion. 1988. Modelos gravimétricos preliminares sobre las Sierras Pampeanas de Pie de Palo, de La Huerta y Chepes. V Congreso Geol. Chileno. Tomo II, F11 F24.
- Introcaso, A., 1990. Cartas gravimétricas de la república Argentina. Estado actual y futuro del proyecto. 16<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Bahía Blanca.
- Introcaso, A., F. Guspi, A. Robles, P. Martinez y S. Miranda. 1992. Carta gravimétrica de Precordillera y Sierras Pampeanas entre 30° y 32° de Latitud Sur. 17<sup>a</sup> Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodesias, Buenos Aires.
- Introcaso, A., M.C. Pacino, y F. Guspi. 1995. Relaciones anomalías de gravedad-elevaciones en Sudamérica por debajo de los 22° de Latitud Sur. Sus posibilidades predictivas. Actas 1<sup>o</sup> Congreso Argentino de Geociencias y Geotécnicas. 9<sup>o</sup> Congreso Nacional de Cartografía. Buenos Aires: 94-101.
- Krige, D.G., 1951. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. *Journal South African Institute. Minning Metttal*, n. 52, p. 119-139.
- Martinez, M.P., M.E. Gimenez, A. Introcaso, F. Ruiz, M. Hünicken y B. Introcaso. 2000. Carta Gravimétrica de la Provincia de La Rioja (1999). Anomalías Simples de Bouguer. Publicación del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Séptimo Volponi. UNSJ. FCFEN.
- Martinez, M.P., M.E. Gimenez y A. Introcaso. 2001. Carta Gravimétrica de la Sierra de Velasco (2000). Publicación del Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. Séptimo Volponi. UNSJ. FCFEN.
- Matheron G. 1962. *Traite de geostatistique appliquee*, Tome I. Momoires du Bureau De Richerches Geologiques Et Minieres, 14, Editions Technip, Paris.
- Matheron, G. 1963.a. *Traite de geosestatistique appliquee*. Tome II. Le krigeage. memoires du bureau de richerches geologiques et minieres, 24, Editions Bureau de Recherches Geologiques Et Minieres, Paris.
- Matheron, G. 1963.b. *Principles of Geosestatistics*. *Economic Geology*, 58, 1246-1266.
- Miranda, S. y A. Introcaso. 1999. Cartas Gravimétricas de la Provincia de Córdoba. Interpretación de la estructura profunda de la Sierra de Córdoba. República Argentina. Colección de Temas de Geociencias N°1. Instituto de Física de Rosario. pp 48.
- Ramos, V.A., E.O. Cristallini and D.J. Pérez. 2002. The Pampean Flat-Slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences*. 15: 59-78.
- Ribeiro Júnior, P.J. 1995. Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Robles, J.A., A. Introcaso, S. Miranda, M. Gimenez, M.P. Martinez, F. Ruiz, F. Guspi, J. Sisterna y D. Richarte. 1995. Carta de Anomalías de Bouguer de la Provincia de San Juan, 1994. Publicación Instituto Geofísico Sismológico Ing. F. S. Volponi.