

LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE SEÑAL ANALÍTICA A LAS ESTRUCTURAS DE LA CUENCA DE LAS SALINAS

Edgardo A. AZEGLIO¹, Mario E. GIMÉNEZ¹ y Antonio INTROCASO²

¹ Instituto Geofísico y Sismológico Fernando Volponi - Universidad Nacional de San Juan, Av. J. I. de la Roza y Meglioli S/N, Rivadavia, San Juan, (5400). Emails: mgimenez@unsj-cuim.edu.ar y estudioazeglio@yahoo.com.ar

² Instituto de Física de Rosario, Av. Peregrini 250 Rosario (2000). Email: geofisic@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN

El área en estudio se ubica aproximadamente entre los paralelos 31°17'S y 32°40'S y los meridianos 66°38'W y 67°48'W en las cercanías de la localidad de Marayes, en la denominada cuenca de las Salinas, en el centro occidental de Argentina. En el presente trabajo se muestran los resultados del procesamiento de datos gravimétricos pertenecientes a la cuenca de las Salinas y zonas aledañas donde se aplicó la técnica de señal analítica a la anomalía de Bouguer en cuatro perfiles orientados perpendiculares al eje principal de la cuenca que se extienden desde la sierra de Ulapes al este, hasta la sierra de Guayaguas al oeste, y uno longitudinal que comienza en el norte de la cuenca de Mascasín y se extiende hasta las cercanías de la dorsal de San Pedro al sur. Los resultados muestran a escala regional, la localización y extensión en profundidad del sistema de fallas al este de la sierra de Guayaguas y al oeste de la sierra de Ulapes. A escala local, se distinguen dos fallas, que podrían corresponder a los bordes de la cuenca. Además se insinúa en el centro de la cuenca un posible fallamiento en el basamento de dirección preponderante norte - sur. Las zonas de soluciones dispersas localizadas al este y representada por elipses en los perfiles 2, 3 y 4 podrían estar asociadas a sistemas de fallas escalonadas en el basamento no aflorantes al oeste de la sierra de Ulapes; esto es justificado con la coincidencia de la anomalía de Bouguer positiva que abarca toda la zona de Ulapes y se extiende al este tal como se observa en la carta de anomalía de Bouguer.

Palabras clave: *Métodos potenciales, Gravimetría, Señal analítica, Fallamiento.*

ABSTRACT: *Application of the analytical signal techniques to the structures of the Salinas Basin.* The area under study is located between the geographic coordinates of 31°17' and 32°40' South latitude; and 66°38' and 67°48' West longitude, in the neighborhood of the locality of Marayes in Las Salinas basin, central western Argentina. In the present work the results of gravimetric data processing from this basin and surrounding region are shown. We had applied analytic signal techniques to the Bouguer anomaly along four profiles oriented perpendicular to the main axis of the basin, which extends from Sierras de Ulapes to the east up to Sierra de Guayaguas to the west, and over one profile nearly parallel to the basin main axis with a north-south trend, located from the northern part of the Mascasín basin to the southern part, near San Pedro structural high. Regional scale results show the location and depth of the main fault system to the east of Sierra de Guayaguas, and to the west of Sierra de Ulapes. At local scale, two faults were identified, that could be associated with the basin edges, and also one probable base fault with north-south dominant direction. The areas of dispersed solutions located on the eastern zone of the area, and represented with elliptic marks on profiles 2, 3 and 4 could be related with a stepped fault system in the buried basement, located to the west of Sierra de Ulapes. This setting is justified based on a positive Bouguer anomaly nucleus located in Ulapes and the surrounding zone.

Keywords: *Potential methods, Gravimetric survey, Analytic signal, Faults.*

INTRODUCCIÓN

Rasgos geológicos y estructurales

La cuenca de las Salinas está ubicada en la parte noroeste de la provincia de San Luis, se extiende entre las cuencas de Valle Fértil y los Llanos en las direcciones oeste y este respectivamente. Limita al sur con la dorsal de San Pedro y se prolonga hacia el norte alcanzando la parte

sur de la provincia de La Rioja (Fig. 1).

La estructura principal corresponde a una serie de anticlinales asimétricos de rumbo nor-noreste con limbo occidental corto y más inclinado asociados a la propagación de fallas inversas buzantes al este, dentro de un estilo de piel gruesa, producto de la inversión de estructuras extensionales mesozoicas (Schmidt *et al.* 1995, Gardini *et al.* 1999, 2002) este pro-

ceso es observado en la fracturación inversa y profunda que eleva rocas mesozoicas y terciarias a nivel de superficie (Criado Roque *et al.* 1981).

Los estudios sísmicos, realizados por YPF y otras empresas en la zona, muestran que estas estructuras anticlinales falladas delimitan por lo menos cuatro bloques por medio de fracturas longitudinales. Estos bloques afectan la cubierta

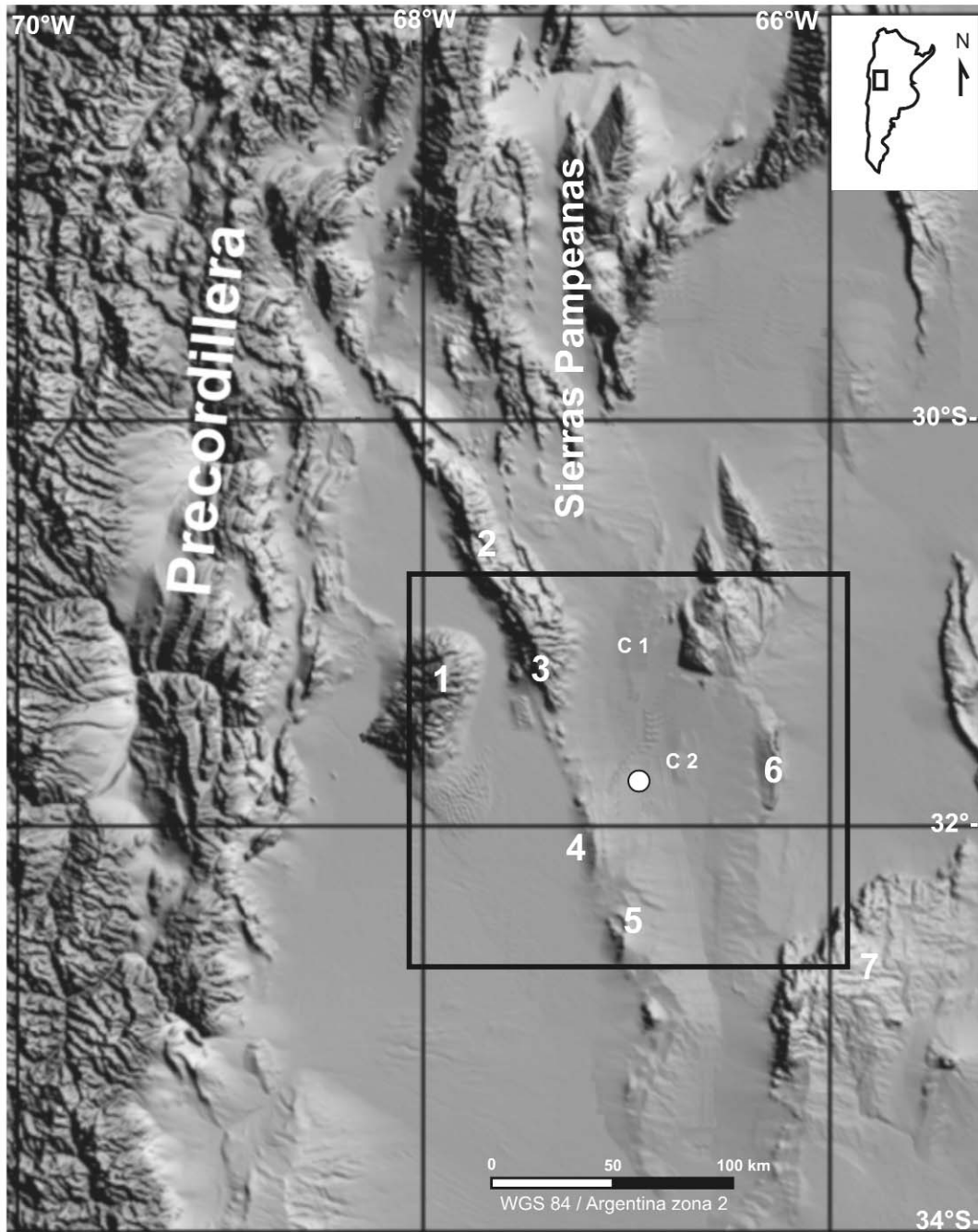


Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio. C1: cuenca de Marayes, C2: cuenca de Las Salinas, círculo: Pozo SJ.LT.x1, 1) Sierra Pié de Palo, 2) Sierra de Valle Fértil, 3) Sierra de la Huerta, 4) Sierras de Guayaguas y Catantal, 5) Sierra de las Quijadas, 6) Sierra de Ulapes y 7) Sierra de San Luís.

sedimentaria, que en el extremo norte sobrepasa los 3.500 m de espesor. La región muestra un acortamiento por compresión de la cuenca que afectó a la cubierta sedimentaria (Criado Roque *et al.* 1981).

Otro elemento estructural a tener en cuenta es la dorsal de San Pedro que forma el límite sur de la cuenca de las Salinas, separándola de la cuenca de Beazley. La dorsal de San Pedro como es-

tructura es un umbral que se encuentra activado, por lo menos desde el Cretácico, y que ha controlado la sedimentación de las cuencas adyacentes. Tiene rumbo este-oeste y está formada por dos bloques pequeños limitados por dos fallas: la falla de General Roca y otra más pequeña, paralela a esta, localizada al este (Criado Roque *et al.* 1981).

En el presente trabajo, se analizan e interpretan los resultados de un relevamiento

gravimétrico que cubre ampliamente la cuenca de Las Salinas, obteniéndose claramente la geometría de la misma y los principales rasgos tectónicos que dominan la región.

METODOLOGÍA

Se contó con una base de datos gravimétricos relevados que abarca ampliamente el área de la cuenca sedimentaria de Las

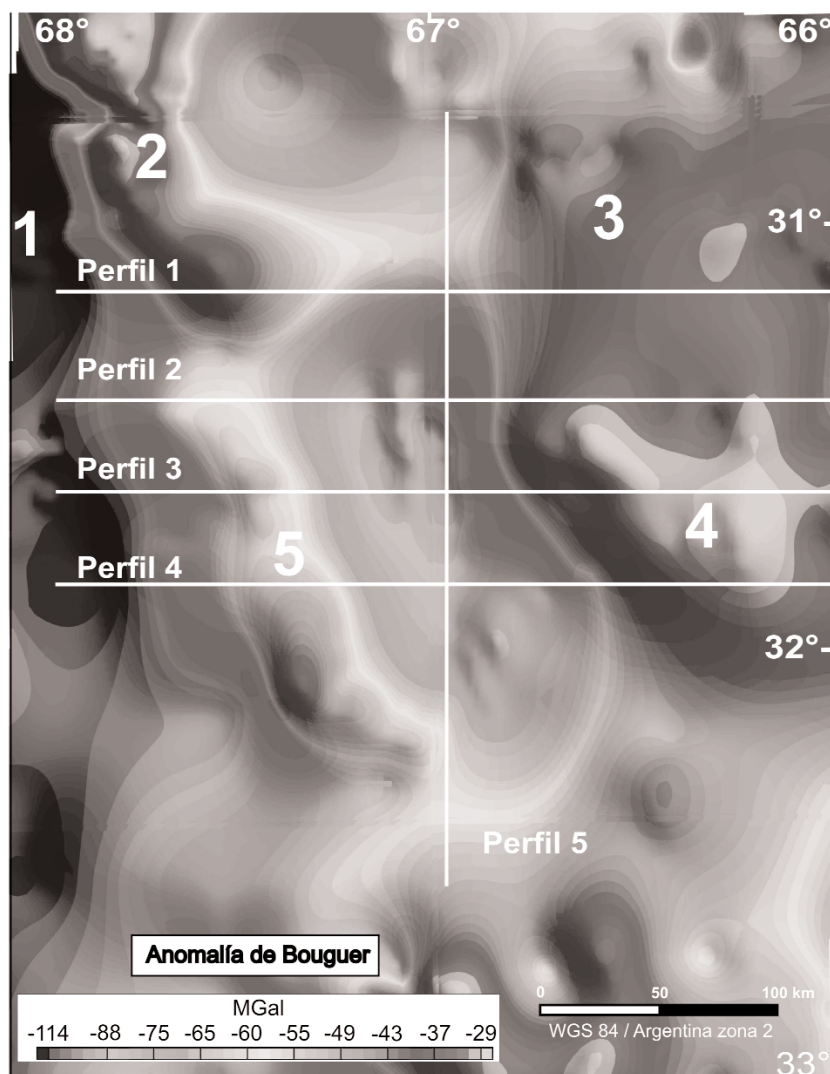


Figura 2: Anomalia de Bouguer y ubicación de los perfiles. 1) Sierra de Pié de Palo, 2) Sierra de La Huerta, 3) Sierra de Chepes, 4) Sierra de Ulapes y 5) Sierras de Guayaguas y Catantal.

Salinas y zonas vecinas, pertenecientes al Instituto de Física de Rosario - Universidad Nacional de Rosario, Instituto Geofísico Sismológico Volponi - Universidad Nacional de San Juan, todos referidos al IGSN 1971 (*International Gravity Standardization Network* 1971).

El posicionamiento geográfico de los puntos se obtuvo a partir de equipos GPS (*Global Positioning System*), y a partir del modelo de elevación topográfica obtenidos del *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) del Servicio Geológico de Estados Unidos y la NASA.

Con la información antes mencionada de gravedad observada, elevación topográfica

y posicionamiento geográfico, se calculó la anomalía de Bouguer según Blakely (1995) y Hinze *et al.* (2005), considerando un gradiente normal de (-0,3086 mGal/m), y la densidad de 2,67 g/cm³ para la corrección por losa plana. Los valores de anomalías fueron corregidos por efecto topográfico hasta una distancia de 167 km. La carta de anomalía de Bouguer se puede observar en figura 2. En ella se destaca claramente un pequeño alto estructural correspondiente a la sierra de La Huerta que separa dos depocentros, el depocentro norte correspondiente a la cuenca de Mascasín y el sur a la cuenca de Las Salinas. Ambos flanqueados al

oeste por las sierras de Valle Fértil, Guayaguas y Catantal y al este por las sierras de Chepes y Ulapes.

Señal analítica

A efectos de analizar los principales lineamientos tectónicos de la región de estudio, se aplicó la técnica de señal analítica. Esta técnica, permite resaltar las anomalías de gravedad producidas por discontinuidades geológicas de mediana a corta longitud de onda (Salem 2005). Es independiente de la dirección de cualquier campo potencial (Nabighian 1972, 1974, Roest *et al.* 1992).

La expresión matemática de la amplitud de la señal analítica es la siguiente:

(1)

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x} F(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} F(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial z} F(x, y)\right)^2}$$

donde:
 $A(x,y)$: señal analítica.

$F(x,y)$: campo gravimétrico

Para una mejor comprensión del proceso de cálculo de la señal analítica, se ha esquematizado una secuencia en la figura 3. En esta secuencia se observa que a partir de un modelo conocido, se evalúa su respuesta gravimétrica, y posteriormente se le aplica señal analítica. Para ello, es necesario evaluar las derivadas direccionales, las cuales se componen según la expresión (1), se obtiene la amplitud de la señal analítica, que como se puede observar es consistente con la fuente.

Esta técnica fue aplicada en cinco secciones, cuatro de ellas con orientación este-oeste extendiéndose entre las coordenadas 66°W a 68°W, indicadas en la figura 2 como perfil 1, 2, 3 y 4 respectivamente, y un perfil con dirección norte-sur que atraviesa el centro de la cuenca denominado perfil 5. En todas ellas se han graficado en la parte superior la topografía que cubre el perfil. En la gráfica central se muestra la anomalía de Bouguer en líneas de trazos y el gradiente horizontal de gravedad en trazo continuo. En la par-

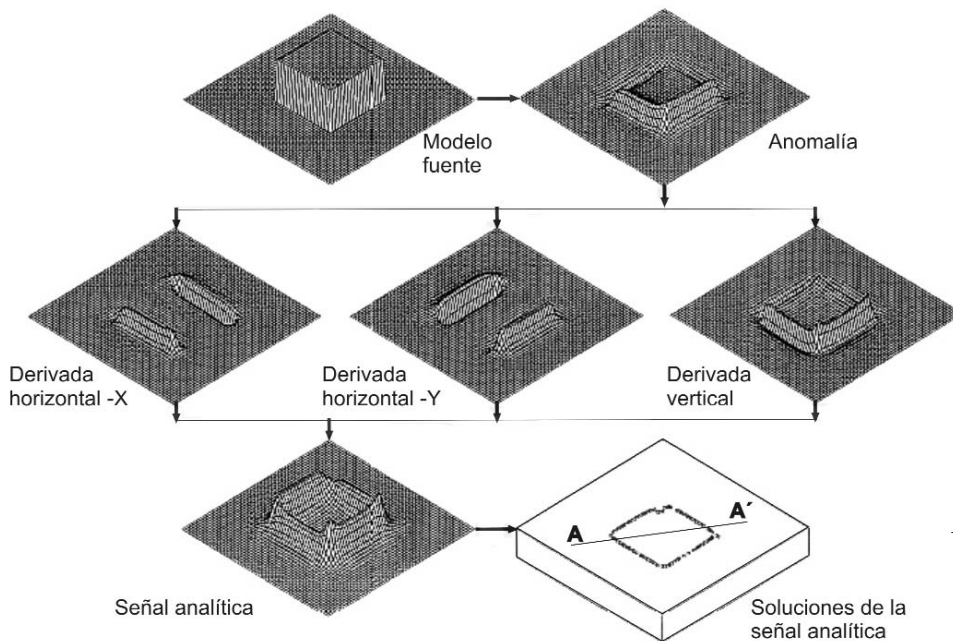


Figura 3: Diagrama esquemático de las secuencias del programa que permite determinar las soluciones y graficar los resultados de señal analítica.

te inferior se grafican las soluciones de la señal analítica correspondientes a la anomalía de Bouguer como diques en verde, y las correspondientes al gradiente horizontal en contactos en azul.

Análisis de los resultados

Los resultados del procesamiento de la señal analítica se muestran en las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 y la interpretación geológica de los mismos se ha graficado en figura 9. Para un mejor análisis de los resultados de las secciones transversales, se han establecido tres zonas, y una sección longitudinal (perfil 5):

Zona 1: Representa la parte oeste de los perfiles 1, 2, 3 y 4 que abarca la prolongación de la sierra de Valle Fértil y la sierra de Guayaguas-Catantal, (Figs. 4 a 8). Se observa principalmente en los perfiles 1 y 2 y en menor grado en el 3 y 4 el sistema de fallas que elevó a la sierra de Valle Fértil. El fallamiento occidental correspondería con la ya determinada megafractura Bermejo-Desaguadero-Salinas Grandes, y la falla oriental correspondería al mismo sistema pero no presenta evidencia en superficie.

Zona 2: Parte central de los perfiles 1, 2,

3 y 4 que cubre la cuenca de Las Salinas. Se observan un conjunto de soluciones que se corresponderían con los límites este y oeste de la misma. Esto se evidencia claramente en el perfil 2, conjuntamente con un agrupamiento de soluciones ubicado en la parte central que podría corresponderse con un fallamiento en el basamento.

Zona 3: Zonas de soluciones dispersas localizadas al este y representada por elipses en los perfiles 2, 3 y 4. Las mismas podrían estar asociadas a sistemas de fallas localizadas en el basamento no aflorante al oeste de la sierra de Ulapes. Ésto es también evidenciado con la anomalía de Bouguer positiva que abarca toda la zona de Ulapes (Fig. 2).

Perfil 5: En esta sección se delimitan los bordes de la cuenca N-S. Hacia el norte (borde izquierdo de la gráfica), se aprecia un conjunto de soluciones que se alinearían con la llamada megafractura Salinas Grandes, mencionada por Baldis *et al.* (1979). En la zona central de la gráfica, las soluciones se corresponden con los bordes norte y sur de la cuenca y con el fallamiento central mencionado en la zona 2. En el extremo sur del perfil, se

observa un agrupamiento de soluciones que se vincula con el sistema de fallamiento que afecta a la cuenca de Valle Fértil-Guayaguas-Catantal.

CONCLUSIONES

Se realizó un estudio gravimétrico en el área de la cuenca de Las Salinas, ubicada en la zona limítrofe de las provincias de San Luis, La Rioja y San Juan, en la ventana geográfica de $31^{\circ}17'S$ a $32^{\circ}40'S$ y $66^{\circ}38'W$ a $67^{\circ}48'W$. Como resultado se obtuvo una carta de anomalías de Bouguer, donde se pudo definir la geometría de la cubeta sedimentaria. A esta carta se le aplicó la técnica de señal analítica en cinco secciones, interpretando las soluciones de ésta técnica, identificando la existencia de dos fallas inversas de alto ángulo denominadas falla de Valle Fértil (VF) y falla de Ulapes (FU); dos fallas de alto ángulo denominadas falla de Pié de Palo (PP) y Ulapes Este (FUE); los bordes de la cuenca denominados BC y una falla de rumbo cercano al N-S, denominada FB dividen la cuenca de las Salinas en dos subcuencas.

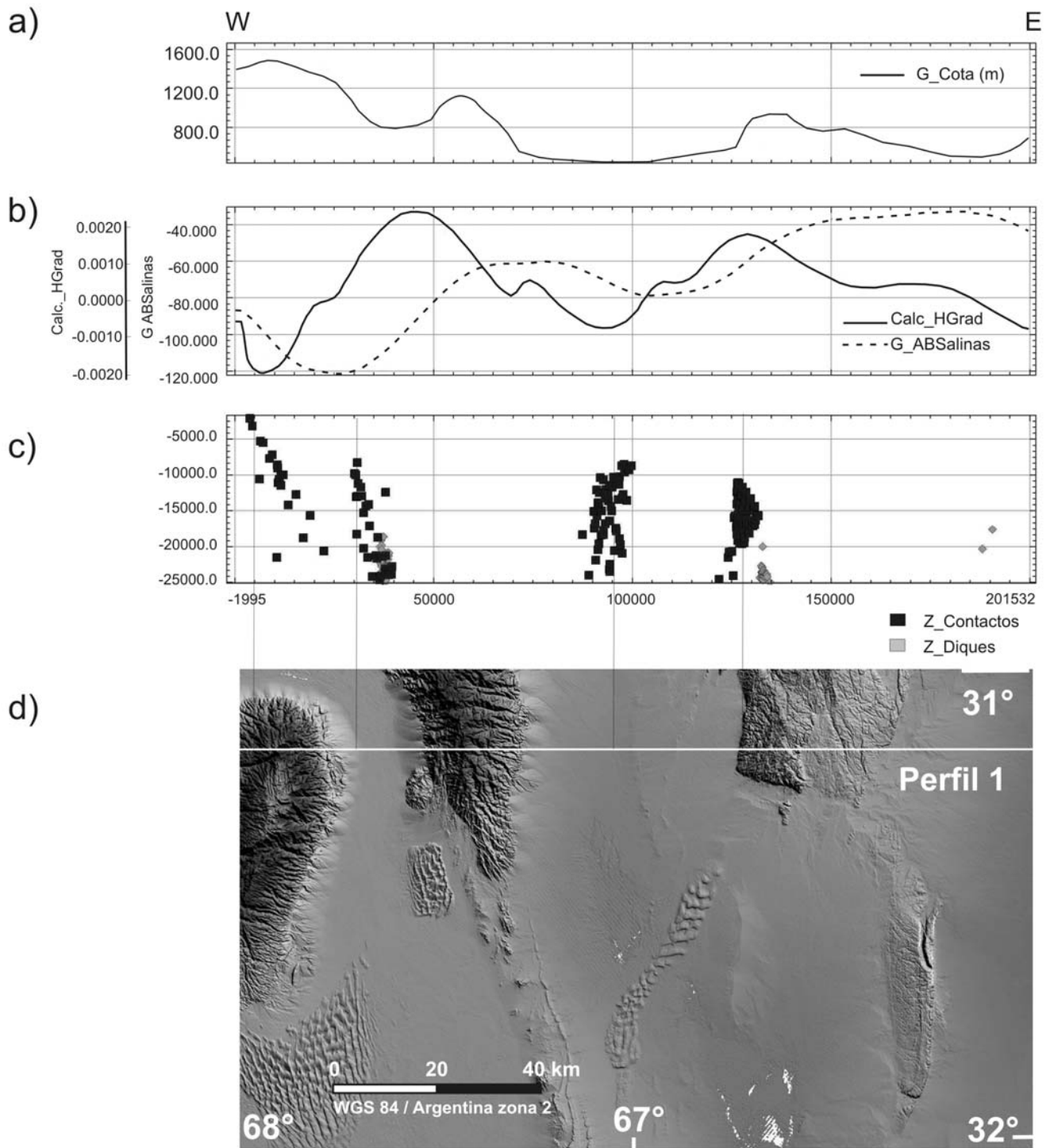


Figura 4: Resultados del perfil 1. En la figura se observa, de parte superior a inferior: a) Perfil topográfico, b) Gradiente horizontal calculado en trazo continuo y anomalía de Bouguer en líneas de trazo, c) Soluciones para contactos en azul y diques en verde, d) Posición del perfil y las soluciones en la zona de estudio.

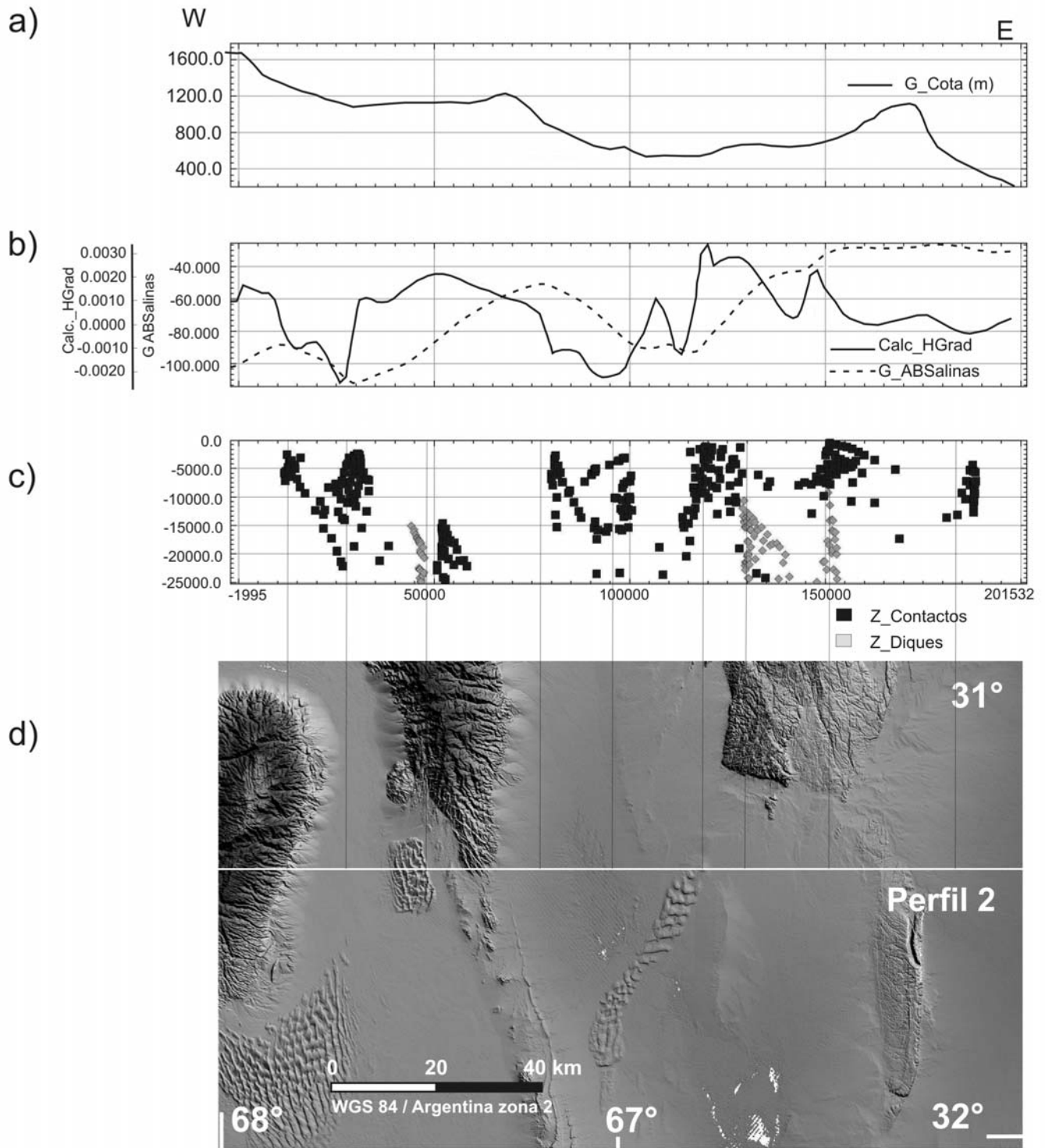


Figura 5: Resultados del perfil 2 (referencias como en la Fig. 4).

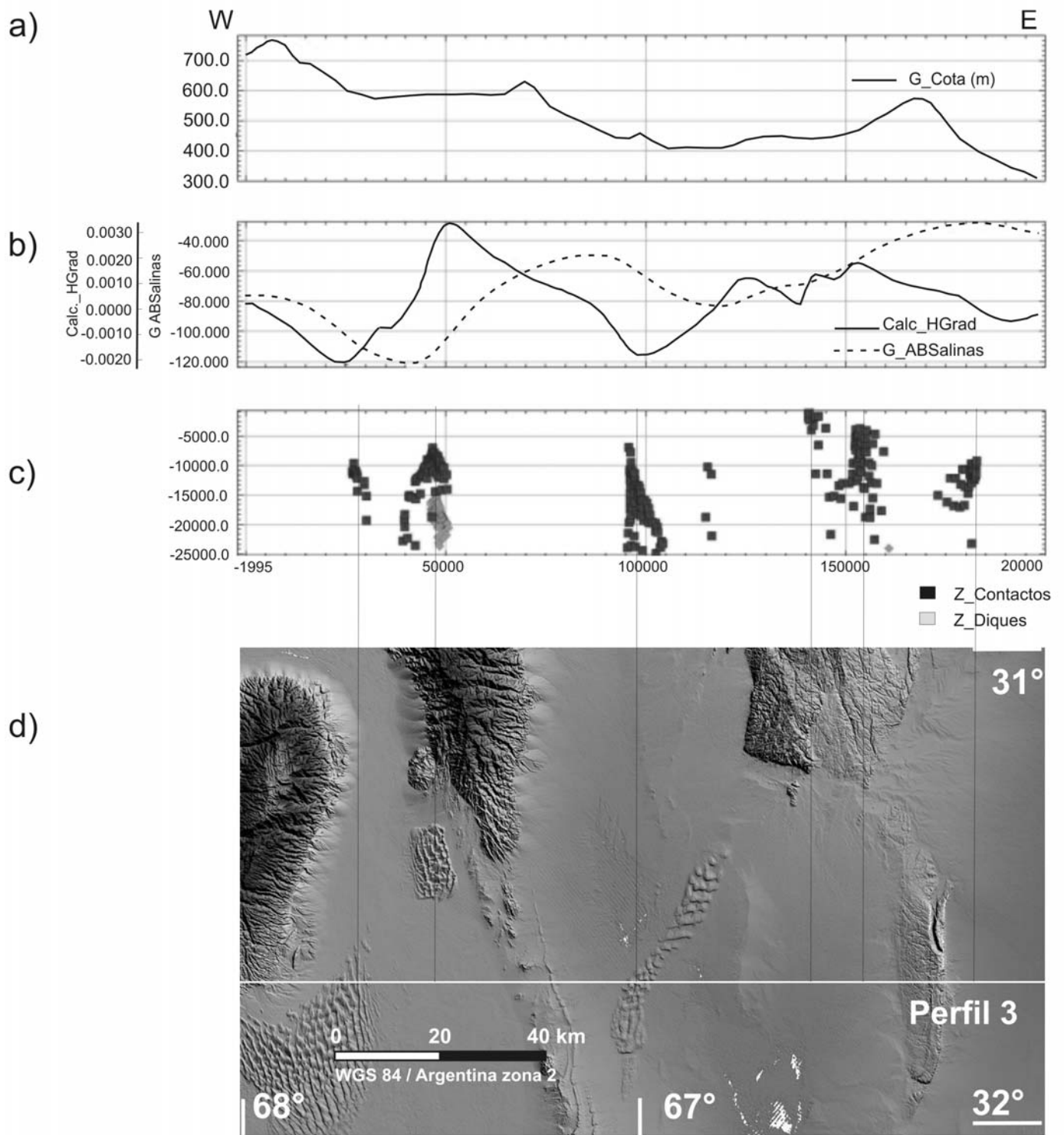


Figura 6: Resultados del perfil 3 (referencias como en la Fig. 4).

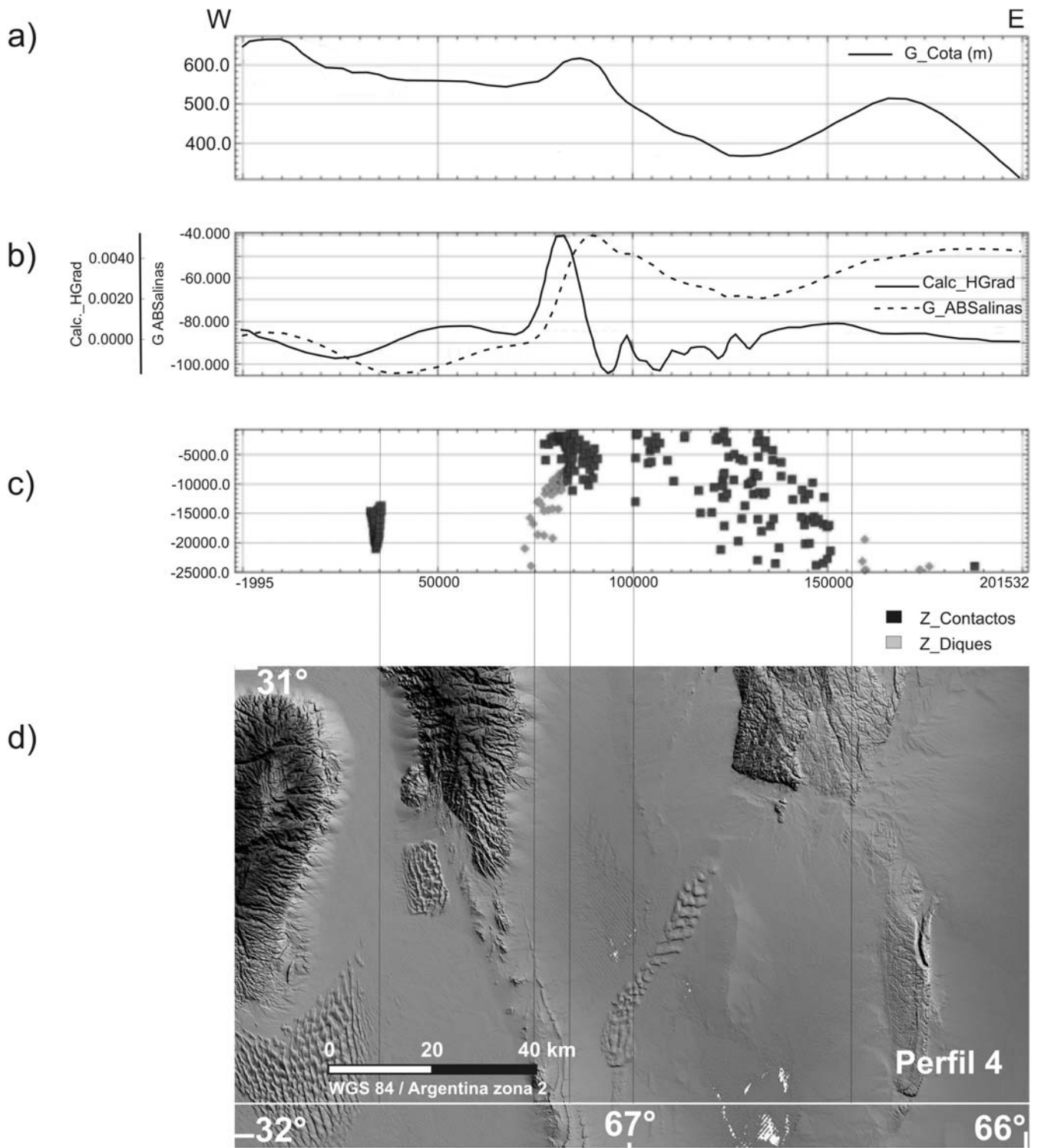


Figura 7: Resultados del perfil 4 (referencias como en la Fig. 4).

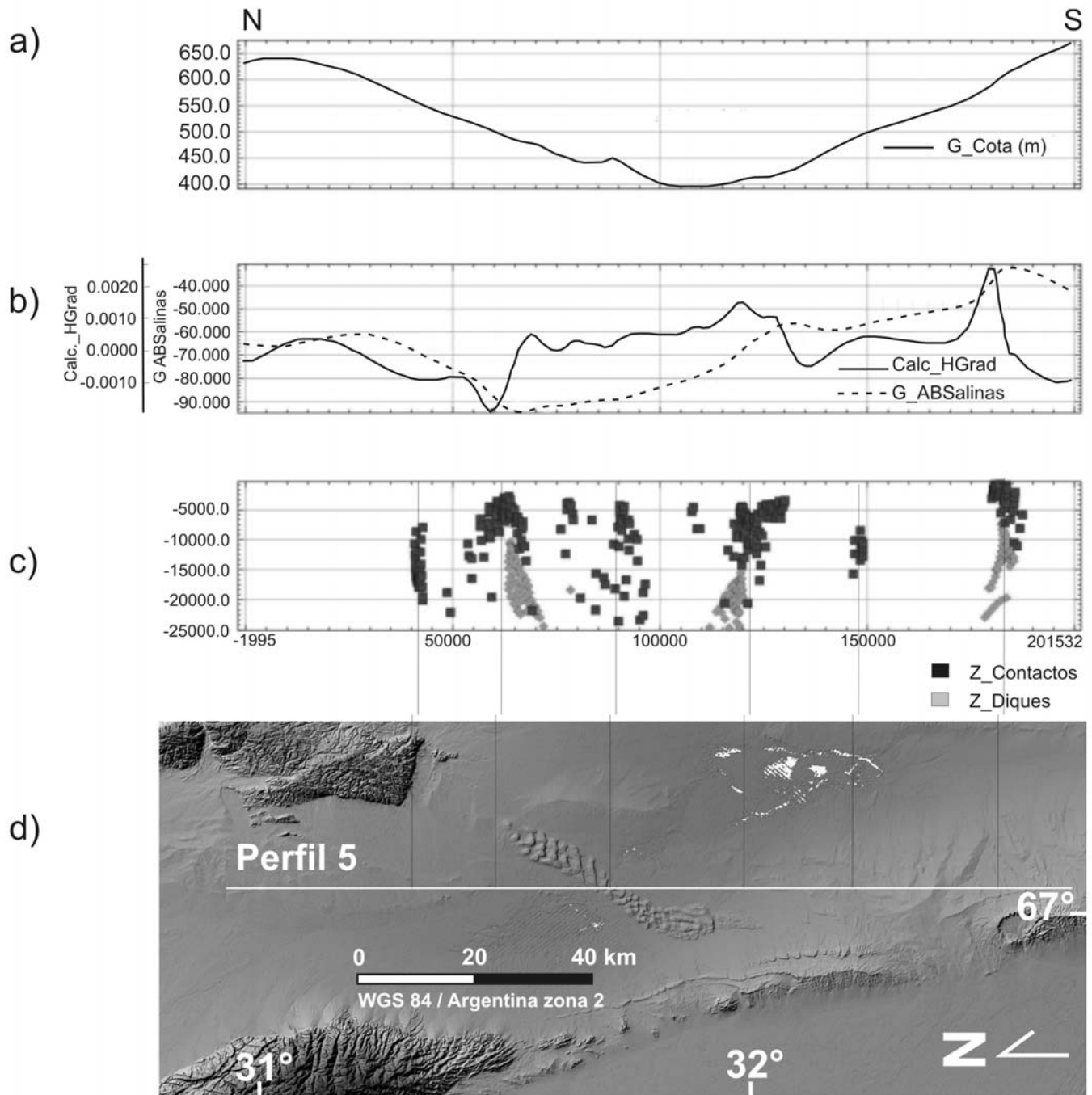


Figura 8: Resultados del perfil 4 (referencias como en la Fig. 4).

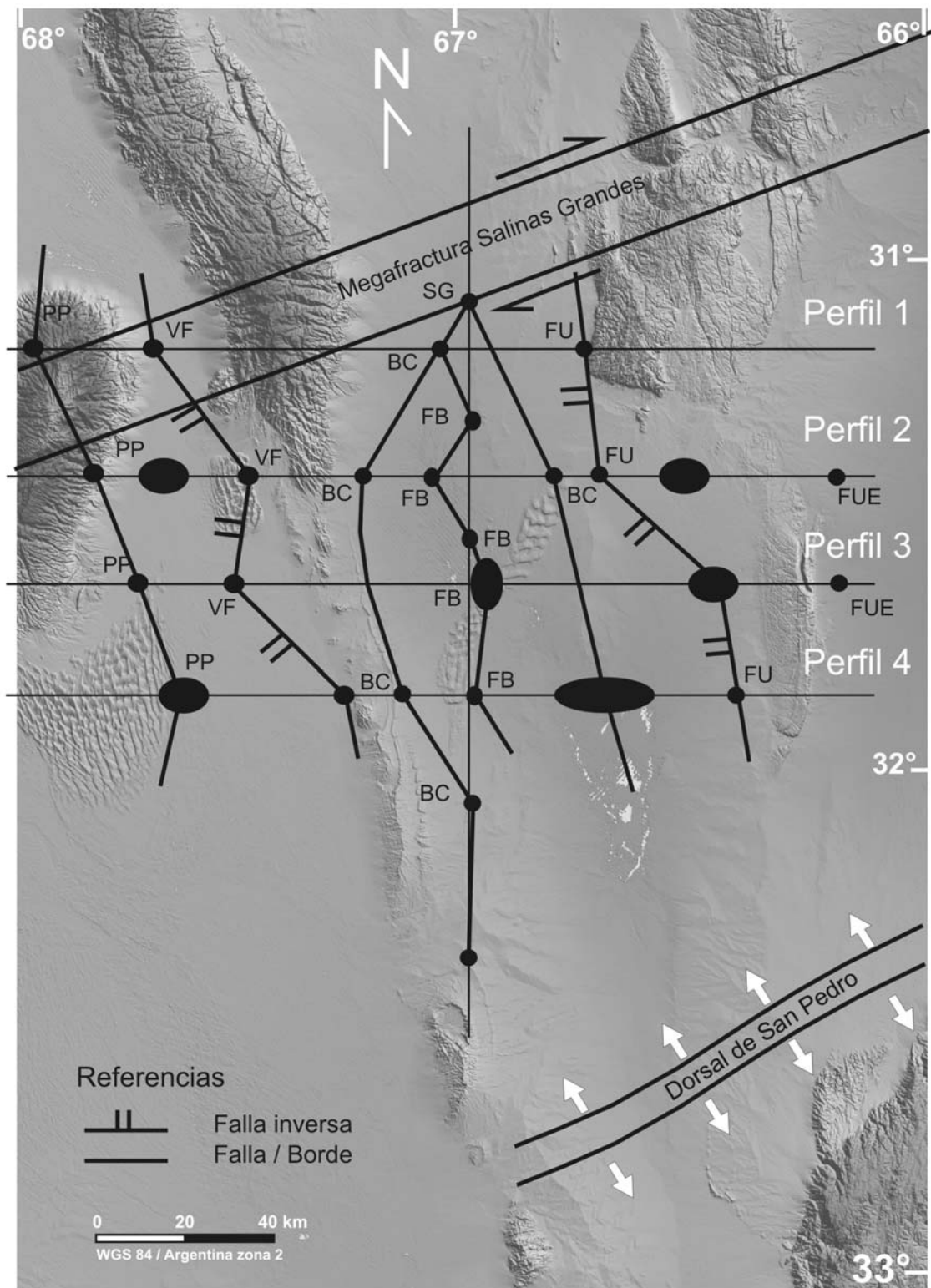


Figura 9: Conclusiones obtenidas a partir del análisis de los perfiles realizados. Referencias: PP: falla de Pié de Palo, VF: falla de Valle Fértil, BC: borde de cuenca, FB: falla en el basamento, FU: falla de Ulapes, FUE: soluciones pertenecientes a la parte este de Ulapes, SG: megafractura Salinas Grandes, elipses: zona de soluciones dispersas. Al norte y sur este de la figura se han representado las estructuras de la megafractura Salinas Grandes y de la dorsal de San Pedro.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Baldis, B., Uliarte, E. y Vaca, A. 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 34(4): 294-311.
- Blakely, R.J. y Simpson, R.W. 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics* 51: 1494-1498.
- Blakely, R.J. 1995. *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press, 441 p.
- Criado Roque, P., Mombrú, C.A. y Ramos, V. 1981. Estructura e interpretación tectónica. En Irigoyen, M. (ed.) *Geología y recursos naturales de la provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 155-192.
- Gardini, C. Costa, C. y Schmidt, C. 1999. Estructura subsuperficial entre las Sierras de Las Quijadas-El Gigante y la sierra de Villa General Roca, San Luis. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 219-221.
- Gardini, C., Schmidt, C., Costa, C., Ricci, W., Rivarola, D. y Arcucci, A. 2002. Estructura e Inversión tectónica en el área del Cerro Guayaguas, Provincias de San Luis y San Juan. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 277-281.
- Green, R. 1976. Accurate determination of the deep angle of a geological contact using the gravity method. *Geophysical Prospecting* 24: 265-272.
- Hinze, W., Aiken, C., Brozena, J., Coakley, B., Darter, D., Flanagan, G., Forsberg, R., Hildenbrand, T., Keller, R., Kellogg, J., Kucks, R., Li, X., Mainville, A., Morin, R., Pilkinton, M., Plouff, D., Ravat, D., Roman, D., Urrita-Fucugauchi, J., Véronneau, M., Webring, M. y Winester, D. 2005. New Standards for Reducing Gravity Data: The North American Gravity Database. *Geophysics* 70(4): J25-J32.
- Nabiaghian, M.N. 1972. The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated interpretation. *Geophysics* 37: 507-517.
- Nabiaghian, M.N. 1974. Additional comments on the analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics* 39: 85-92.
- Roest, W.R., Verhoef, J. y Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics* 57: 116-125.
- Salem, A. y Smith, R. 2005. Depth and structural index from normalized local wavenumber of 2D magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting* 53: 83-89.
- Schmidt, C., Astini, R., Costa, C., Gardini, C. y Kraemer, P. 1995. Cretaceous rifting, alluvial fan sedimentation and neogene inversion, southern Sierras Pampeanas, Argentina. En Tankard, A., Suárez, R. y Welsink, J. (eds.) *Petroleum Basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 62: 341-358.

Recibido: 10 de enero, 2008

Aceptado: 2 de marzo, 2009