

MODELOS GRAVIMÉTRICOS 2D DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE CARIACO

NOEL CRASTO^{1,2,a}, RAFAEL ACOSTA¹, FREDDY RONDÓN^{1,3}, MICHAEL SCHMITZ^{1,2,3}

¹Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), Dpto. de Geofísica Aplicada, Caracas, Venezuela.

²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas, Venezuela.

³Universidad Simón Bolívar, Dpto. de Ciencias de la Tierra, Caracas, Venezuela.

e-mail:noelcrasto8@gmail.com

Recibido: febrero de 2021

Aprobado para publicación: abril de 2021

RESUMEN

Se realizó un conjunto de modelos gravimétricos 2D de la ciudad de Cariaco, con el objetivo de describir la estructura y geometría de la cuenca sedimentaria de Cariaco a una escala regional y así contribuir con los estudios de microzonificación sísmica de la región. Se utilizó una base de datos de anomalía de Bouguer que integra información terrestre y satelital con una resolución de $0,01^\circ \times 0,01^\circ$, la separación regional y residual se obtuvo mediante una continuación analítica 200 m hacia arriba y los perfiles se trazaron sobre el mapa residual de la anomalía de Bouguer. En el mapa residual se pudo observar que los contornos que incluyen los menores valores de anomalía de Bouguer poseen una tendencia que varía de E-O a SO-NE, la cual corresponde a la extensión de la cobertura sedimentaria, mientras que los espesores determinados mediante los modelos 2D varían entre 60 m y 270 m. Los espesores entre 200 m y 270 m representan el depocentro de la cuenca, que además coincide con la localidad de Cariaco, el espesor de sedimentos mantiene una tendencia descendente hacia los extremos este y oeste, mientras que, al norte y sur, la cuenca se encuentra limitada por la cordillera Araya - Paria y la Falla El Pilar.

Palabras claves: Modelo gravimétrico, Cariaco, Microzonificación sísmica, Anomalía de Bouguer, Falla El Pilar.

2D GRAVIMETRIC MODELS OF THE CARIACO SEDIMENTARY BASIN

ABSTRACT

A set of 2D gravimetric models of the city of Cariaco was made, with the objective of describing the structure and geometry of the basin at a regional scale and thus contribute to the seismic microzoning studies of the region. The Bouguer anomaly database used integrates terrestrial and satellite information with a resolution of $0.01^\circ \times 0.01^\circ$, the regional and residual separation was obtained by an analytical continuation 200 m upwards and the profiles were drawn on the residual map of the Bouguer anomaly. In the residual map it could be observed that the contours that include the lowest values of the Bouguer anomaly have a trend that varies from EO to SO-NE, which corresponds to the extension of the sedimentary cover, while the thicknesses determined by the models 2D vary between 60 m and 270 m. The thicknesses between 200 m and 270 m represent the depocenter of the basin, which also coincides with the town of Cariaco, the thickness of the sediments maintains a downward trend towards the east and west, while, to the north and south, the basin is located bounded by the Araya - Paria mountain range and the Falla El Pilar.

Keywords: Gravimetric model, Cariaco, Seismic microzoning, Bouguer anomaly, Falla El Pilar.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones geológicas y estructurales de las cuencas sedimentarias han sido un importante objeto de estudio en zonas urbanas, debido a la amplificación que experimentan las ondas sísmicas en presencia de material sedimentario. Diferentes métodos geofísicos se utilizan para obtener estimaciones detalladas de la estructura y propiedades físicas de suelo, con el fin de identificar y delimitar zonas según su respuesta sísmica, lo que se conoce como microzonificación sísmica.

Entre los métodos empleados para los estudios de microzonificación sísmica, la gravimetría representa un gran

aporte para el entendimiento de las estructuras del subsuelo y la estimación de espesores sedimentarios. En Venezuela, las zonas de mayor densidad poblacional coinciden con las zonas de mayor actividad sísmogénica. Eventos como el terremoto del 9 de julio de 1996 en la localidad de Cariaco, evidencian la importancia de estos estudios para disminuir las pérdidas humanas y materiales ante la ocurrencia de un evento sísmico.

La ciudad de Cariaco (Figura 1) se localiza al oeste del estado Sucre y es conocida por su elevada actividad sísmica. Esta ciudad se encuentra sobre el Sistema de Fallas El Pilar, uno de los principales sistemas de fallas de Venezuela, por lo que se considera como una ciudad de alto riesgo sísmico.

Después del terremoto de 1996 se incrementaron los estudios geológicos y geofísicos con la finalidad de estudiar el factor de riesgo y así formular recomendaciones estructurales con el fin de mitigar el riesgo sísmico de la zona; no obstante, aún se desconoce la estructura y espesor sedimentario de la cuenca sobre la que se asienta la ciudad. Por lo tanto, como una primera solución a este problema,

se planteó la realización de modelos gravimétricos 2D del subsuelo, con el objetivo de obtener perfiles que describan la estructura y geometría de la cuenca a una escala regional, lo que sería un valioso aporte a futuro al integrar estos resultados con otros métodos geofísicos realizados en la zona para desarrollar el proyecto de microzonificación sísmica de Cariaco.

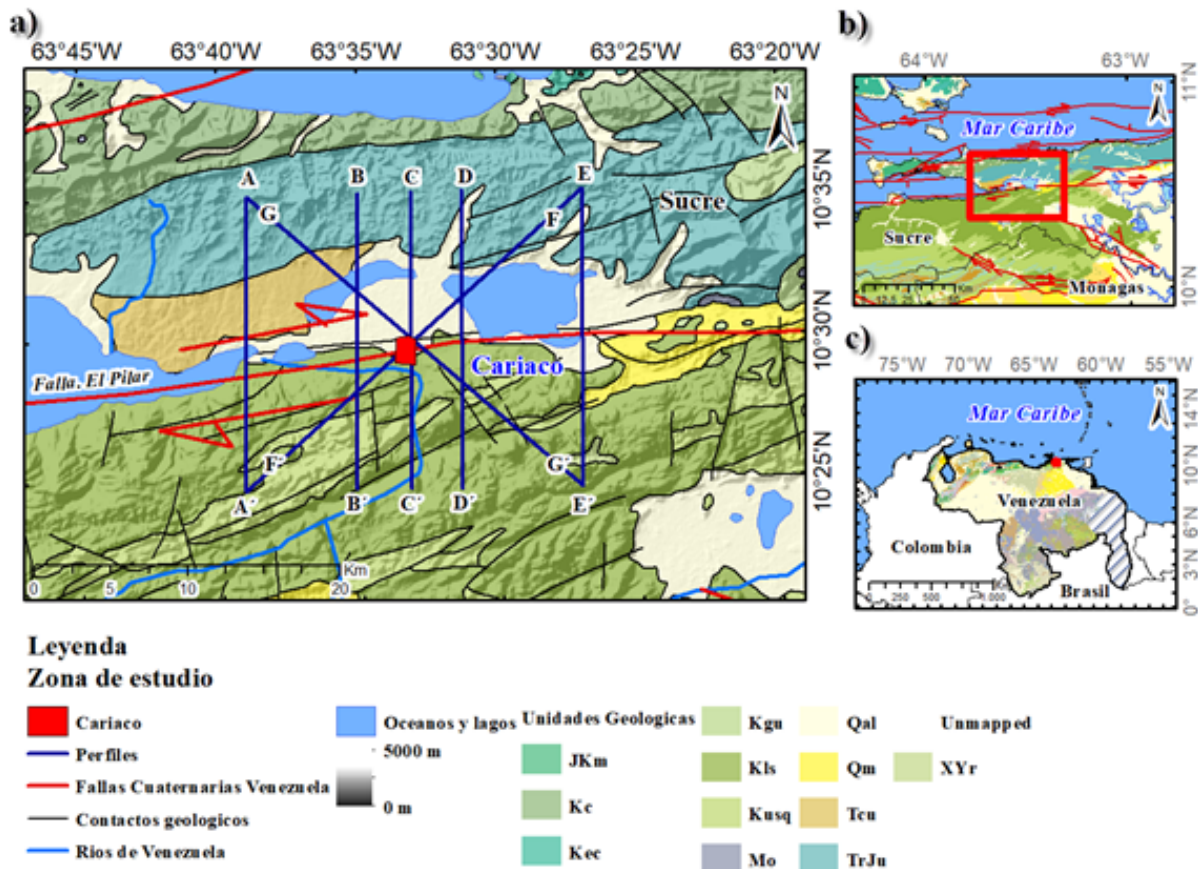


Figura 1. Mapa de Geología y localización de la zona de estudio con unidades geológicas (Hackley et al. (2006)) y fallas cuaternarias (Audemard et al. (2000)). a) Zona de estudio, b) Ubicación regional de la zona nororiental de Venezuela, c) Ubicación regional de Venezuela.

MARCO GEOLÓGICO

El oriente de Venezuela se caracteriza por la interacción transpresiva entre las placas Caribe y Suramericana (Audemard, 2007). La placa Caribe presenta un movimiento relativo hacia el este a razón de 20 mm/año con respecto a la placa Suramericana (Pérez et al., 2001). Este movimiento se evidencia a lo largo del límite sur de la placa Caribe a partir del sistema de fallas San Sebastián - El Pilar (Speed, 1985; Avé Lallemand, 1997). El sistema de fallas El Pilar presenta un movimiento transcurrente dextral y se extiende por aproximadamente 350 km entre el golfo de Cariaco y la península de Paria. La profundidad de esta falla no se encuentra bien definida; Vierbuchen (1983) infiere a partir de gradientes de gravedad que las discontinuidades verticales de densidad se encuentran entre 5 y 10 km, mientras que Schubert (1984) propone que el plano de falla

alcanza una profundidad de 8 km según estudios de sísmica de reflexión.

Al norte de la falla El Pilar se encuentra la cordillera Araya - Paria, la cual consiste en un bloque de rocas metamórficas mesozoicas, mientras que al sur se ubica la Serranía del Interior, la cual se compone por una secuencia sedimentaria plegada y fallada que suprayace a sedimentos cretácicos y terciarios (González de Juana, Iturralde de Aroza y Picard, 1980; Avé Lallemand, 1997). Al noreste de Cariaco (Figura 1) se ubica una unidad de rocas neógenas, mientras que al sur de la falla El Pilar se encuentran sedimentos cuaternarios. Los sedimentos que constituyen el subsuelo de Cariaco pertenecen a una cuenca controlada por la falla El Pilar, el aporte de material proviene tanto de la cordillera Araya-Paria, como de la Serranía del Interior, lo que deriva en un material sedimentario heterogéneo principalmente de origen continental (González et al., 2004).

Estudios geofísicos previos a partir de mediciones de microtremor realizados por Masaki, Saguchi y Sánchez, (1998) sugieren que la zona de mayor espesor sedimentario se localiza al norte de Cariaco, no obstante Schmitz, Alvarado y Luth (2005) indican a partir de estudios de sísmica de refracción que la zona de mayor espesor se encuentra en el borde de la falla El Pilar, al sur de Cariaco. Por otra parte, González et al. (2004) indican a partir de sísmica de refracción, que las velocidades de ondas S correspondientes a los sedimentos cuaternarios (menor a 700 m/s) supera los 90 m en gran parte de la ciudad; asimismo, señalan la presencia de una capa de material terciario a profundidades entre 60 y 90 m que no se distingue en toda la ciudad.

METODOLOGÍA

La base de datos gravimétricos utilizada en este trabajo, corresponde a las anomalías de Bouguer completa del departamento de geofísica de FUNVISIS (2018), la cual se encuentra corregida al nivel medio del mar con una densidad de 2,67 g/cm³. Los datos está compuesto por información de origen terrestre, integrados con datos del modelo gravimétrico satelital EIGEN 6C4 del ICGEM (International Centre for Global Earth Models) (Förste et al., 2014). El EIGEN-6C4 (European Improved Gravity model of the Earth by New techniques) (Förste et al., 2014) es un modelo estático mundial del campo gravimétrico global que incluye datos del GOCE (Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer) hasta el grado 2190, en término de armónicos esféricos. Ha sido elaborado conjuntamente por GFZ Potsdam y GRGS Toulouse. Los datos gravimétricos del modelo EIGEN 6C4 empleados fueron descargados de la página web del ICGEM (International Centre for Global Earth Models). con el fin de mejorar la cobertura de los datos terrestres, de origen satelital con una resolución de 0,01°×0,01°.

El procesamiento del dato se realizó mediante el software Oasis Montaj (Geosoft Inc., 2006), en donde se obtuvieron las componentes regional y residual a partir de una continuación analítica 200 m hacia arriba. Con el fin de modelar los depósitos sedimentarios, se trazaron 7 perfiles sobre el mapa residual de la anomalía de Bouguer. En los perfiles se incorporó toda la información geológica y geofísica regional y local disponible (Audemard et al. 2000; González et al. 2004; Schmitz et al. 2005a; Hackley et al. 2006; Liuzzi et al. 2006). El modelo digital de elevación del terreno (DEM) usado para la corrección topográfica está basado en el modelo Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Jarvis et al. 2008) con una resolución de 30 m. mientras que los rangos de densidad utilizados para el ajuste del modelo, se basaron en los estudios previos de Schmitz et al. (2005) y Rodríguez (2014) que comprenden el Oriente de Venezuela.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La separación regional y residual permitió distinguir con mayor detalle las variaciones litológicas y estructurales de la zona. El mapa de anomalía de Bouguer regional (Figura 2a) mantiene una tendencia ascendente de los valores de anomalías hacia el norte, lo que refleja la variación del espesor cortical en esta zona de oriente de Venezuela. En el mapa residual de la anomalía de Bouguer (Figura 2b) se observa una tendencia delimitada por contornos cuya orientación varía de E-O a SO-NE. Resalta la presencia de una zona de valores entre -3 mGals y -10 mGals que se extiende desde el extremo oriental del Golfo de Cariaco hasta Carúpano. Esta zona está relacionada al espesor de sedimentos que constituye las cuencas ubicadas entre la cordillera Araya-Paria y la Serranía del Interior. Al norte y sur de esta franja, los valores de anomalías incrementan debido a la presencia de las rocas de la Serranía del Interior y la cordillera Araya-Paria.

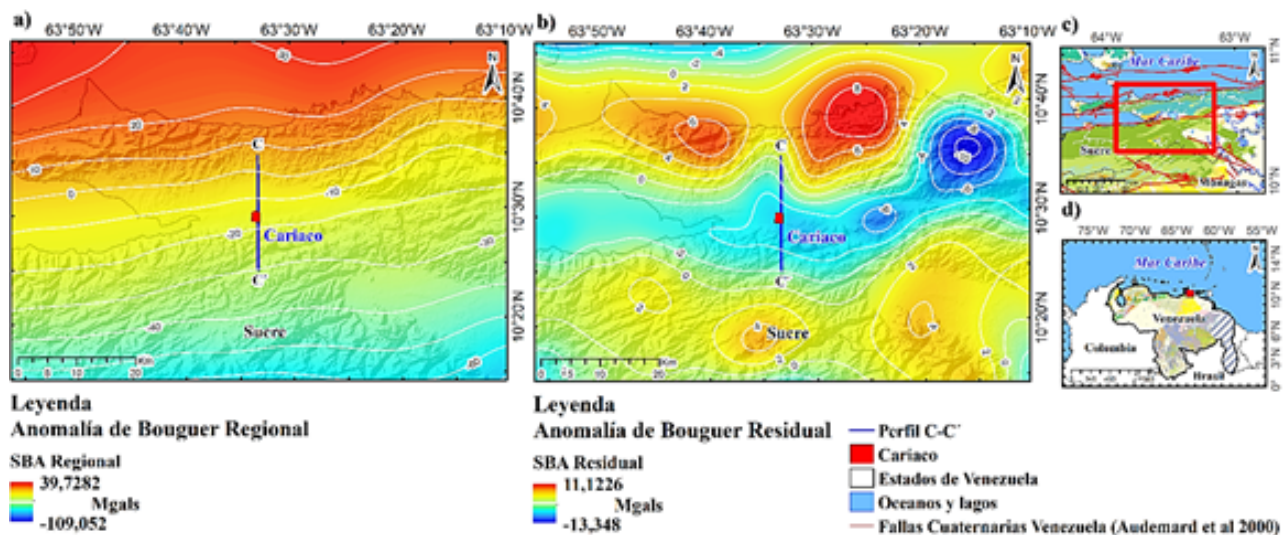


Figura 2. a) Anomalía de Bouguer regional. b) Anomalía de Bouguer residual, c) Ubicación regional de la zona de estudio, d) Ubicación regional de la zona nororiental de Venezuela.

El perfil C-C' (Figura 3) atraviesa la ciudad de Cariaco, en el extremo norte se observan las rocas metamórficas de la cordillera Araya - Paria, mientras que al sur las rocas sedimentarias de la Serranía del Interior. Las areniscas y calizas del Mio-Plioceno no afloran en la zona que comprende el perfil y su espesor se reduce significativamente de 96 m en el norte a 30 m al sur en la ciudad de Cariaco. La cobertura sedimentaria alcanza una profundidad máxima de 270 m en el centro de la cuenca y luego disminuye hacia el sur, donde alcanza 120 m en

el contacto con la falla. Finalmente, se podría concluir que el mapa residual permitió observar una zona de mínimos locales y absolutos correspondientes a la extensión de la cobertura sedimentaria. El modelo gravimétrico permitió conocer la estructura y geometría de la cuenca de Cariaco, en donde la falla El Pilar representa un contacto abrupto que limita la extensión de los sedimentos hacia el sur de la misma. Además, se pudo detallar el depocentro de la cuenca cercano a la ciudad de Cariaco, con espesores entre 200 y 270 m.

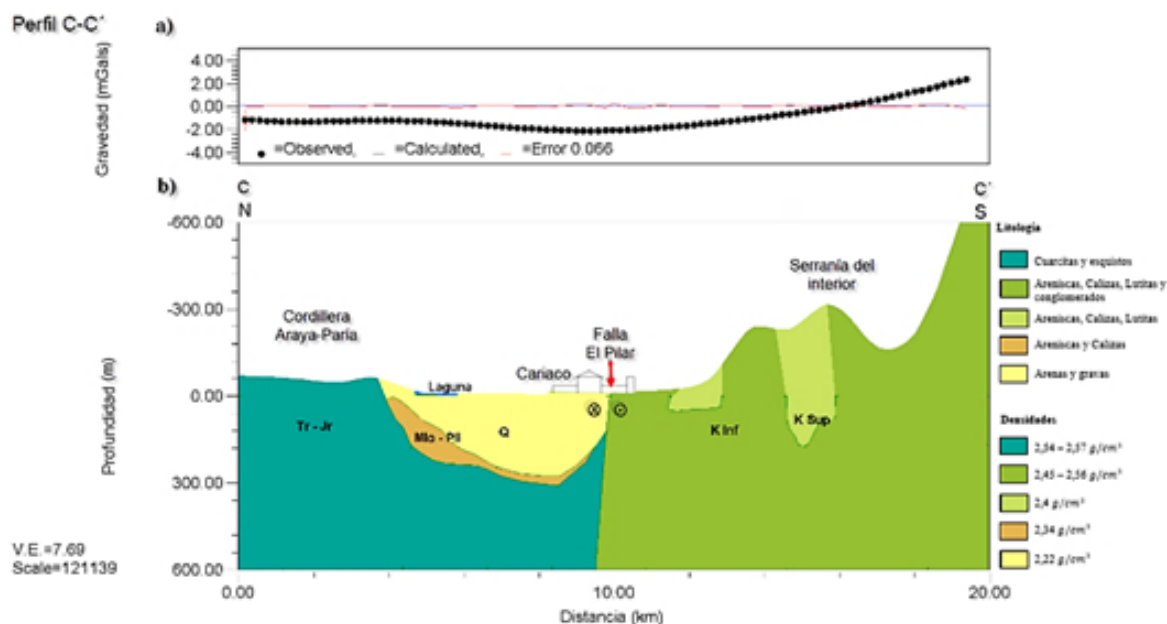


Figura 3. a) Curva de anomalía de Bouguer, b) Modelo gravimétrico de la ciudad de Cariaco-Perfil C-C'.

CONCLUSIONES

El mapa de anomalías de Bouguer se encuentra influenciado principalmente por las fuentes profundas como la variación del espesor cortical; sin embargo, el mapa residual permitió observar una zona de mínimos locales y absolutos correspondientes a la extensión de la cobertura sedimentaria, diferenciada de las zonas de máximos que corresponden a las cordilleras que limitan la cuenca al norte y sur.

El perfil C-C' permitió conocer la estructura y geometría de la cuenca de Cariaco, en donde la falla El Pilar representa un contacto abrupto que limita la extensión de los sedimentos hacia el sur de la misma. Además, se pudo detallar el depocentro de la cuenca cercano a la ciudad de Cariaco, con espesores entre 200 y 270 m. Al oeste de Cariaco se tiene una capa de areniscas y calizas consolidadas que se extienden desde el golfo de Cariaco y disminuye su espesor hacia el Sur; coincidiendo con los modelos y resultados presentados en estudios previos.

Se recomienda realizar una comparación de este estudio con adquisiciones terrestres de mejor resolución para obtener

estimaciones más exactas de las variaciones del espesor de sedimentos bajo la ciudad de Cariaco. Del mismo modo, es importante integrar estos resultados con otros estudios geofísicos y geomorfológicos para obtener modelos más robustos.

REFERENCIAS

- AUDEMARD, F., MACHETTE, M., COX, J., DART, R. & HALLE, K. (2000). *Map and database of quaternary faults and folds in Venezuela and its offshore regions*. 78-page report, Reston, VA, USA.
- AUDEMARD, F. (2007). Revised seismic history of the El Pilar fault, northeastern Venezuela, from the Cariaco 1997 earthquake and recent preliminary paleoseismic results. *Journal of Seismology*, 11, 311 - 326.
- AVÉ LALLEMANT, H. (1997). Transpression, displacement partitioning, and exhumation in the eastern Caribbean/South American plate boundary zone. *Tectonics*, 16(2), 272-289.

- FÖRSTE, C., BRUINSMA, L., ABRIKOSOV, O., LEMOINE, J., SCHALLER, T., H. J. GÖTZE J., MARTY, F., FLECHTNER, G., BALMINO R., & BIANCALE, F. (2014). EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. *5th GOCE User Workshop*, Paris, 25 - 28 Nov., France.
- GEOSOFT INC. (2006). Tutorial and user guide: Gravity data processing extension for Oasis Montaj v6.3. In Whitehead, N. and Musselman, C. (Edits.) Toronto: Geosoft Oasis Montaj.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE DE AROZENA, J., & PICARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas. Ediciones Foninves. 1106.
- GONZÁLEZ, J., SCHMITZ, M., AUDEMARD, F.A., CONTRERAS, R., MOCQUET, A., DELGADO, J., & DE SANTIS, F. (2004). Site effects of the 1997 Cariaco, Venezuela earthquake. *Engineering Geology*, 72, 143-177.
- HACKLEY, P., URBANI, F., KARLSEN, W., & GARRITY, C. (2006). *Mapa geológico de Venezuela a escala 1:750,000*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1109.
- JARVIS, A., REUTER, I., NELSON, A. & GUEVARA, E. (2008). Hole-filled seamless SRTM data V4. International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). <http://srtm.csi.cgiar.org>
- LIUZZI, D., SCHMITZ, M., JÁCOME, M & SÁNCHEZ, J. (2006). Adelgazamiento de sedimentos Cretácicos - Oligocenos bajo de Serranía del Interior, Noreste de Venezuela: Evidencia a partir de observaciones de sísmica profunda. *Conference Proceedings, 9th Simposio Bolivariano - Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas* (Colombia).
- MASAKI, K., SAGUCHI, K., & SÁNCHEZ, A. (1998). On the 1997 Cariaco earthquake and microtremor observation in the Cariaco city. *Taller sobre Microzonificación Sísmica en Países Vulnerables*, Yokohama, Japón, 9 - 10 de marzo de 1998, Proceedings. 10 pp.
- PÉREZ, O., BILHAM, R., BENDICK, R., VELANDIA, J., HERNÁNDEZ, N., MONCAYO, C., HOYER, M., & KOZUCH, M. (2001). Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of Caribbean/South?American plate motion using GPS geodesy 1994-2000. *Geophysical Research Letter*, 28(15), 2987-2990.
- RODRÍGUEZ, I. (2014). *Gravity Anomalies, Geodynamic modelling and the Eastern Venezuela basin evolution*. [PhD Thesis, Durham University]. Durham, England.
- SCHUBERT, C. (1984). Basin formation along the Boconó-Morón-El Pilar fault system, Venezuela. *Journal of Geophysical Research Bulletin*, 89(B7), 5711-5718.
- SCHMITZ, M., ALVARADO, L. & LUTH, S. (2005). The velocity structure of the Cariaco sedimentary basin, northeastern Venezuela, from refraction seismic data and possible relationship to earthquake hazard. *Journal of South American Earth Sciences* 18(2), 89-105.
- SCHMITZ, M., MARTINS, A., IZARRA, C., JÁCOME, M. I., SÁNCHEZ, J., & ROCABADO, V. (2005). The major features of the crustal structure in north-eastern Venezuela from deep wideangle seismic observations and gravity modelling. *Tectonophysics*, 399, 109-124.
- SPEED, R. C. (1985). Cenozoic collision of the Lesser Antilles Arc and continental South America and the origin of the El Pilar fault. *Tectonics*, 4, 41-69.
- VIERBUCHEN, R. (1984). *The geology of the El Pilar Fault Zone and adjacent areas in northeastern Venezuela*. Bonini, W.E., Hargraves, R.B. and Shagram, R. (Editors). The Caribbean-South American Plate Boundary and Regional Tectonics. The Geological Society of America. Memoir 162, 189-252.

Editorial

Editorial

Isandra F. Angel C.

1

ARTÍCULOS

Geología, Minas y Geofísica

INTEGRACION DE DATOS GEOELECTRICOS Y GEOQUIMICOS USANDO MAPAS AUTOORGANIZADOS (SOM) PARA CARACTERIZAR UN VERTEDERO/ Integration Of Geoelectric And Geochemical Data Using Self-organizing Maps (som) To Characterize A Landfill
Camila Juliao, Johan Diaz, Yosmely Bermúdez, Milagrosa Aldana

3

ANALISIS MULTIESCALA DE REGISTROS DE POZO EN CAMPOS DE EE. UU. Y VENEZUELA / Multi-Scale Analysis of Well Logs in Fields From USA and Venezuela
Rubymer Morán, Milagrosa Aldana, Ilich García, Sary Zambrano, José Baena

9

ESTUDIO GEOFISICO DE GPR PARA LA UBICACION DE TUBERIAS DE GAS Y AGUA / Geophysical Study of Gpr for the Location of Water and Gas Pipes
Manuel Alonso, Noel Crasto, Freddy Rondón, María Saavedra, Sirel Colón

23

ANALISIS GRAVIMETRICO Y FLEXURAL DE LA PROVINCIA DE THARSIS, REGION ECUATORIAL DE MARTE / Gravimetric and Flexural Analysis of The Tharsis Province, Equatorial Region of Mars
Nicole Oliveira, Mariano Arnaiz

29

MODELOS GRAVIMETRICOS 2D DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE CARIACO / 2D Gravimetric Models of the Cariaco Sedimentary Basin
Noel Crasto, Rafael Acosta, Freddy Rondón, Michael Schmitz

49

ANÁLISIS INTERFEROMÉTRICO MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES (IMASW) Y REFRACCION DE MICROTREMORES PARA EL CALCULO DE VS30 EN MARACAY, VENEZUELA / Multichannel Interferometric Analysis of Surface Waves (IMASW) and Refraction Microtremors for the Calculation of Vs30 in Maracay, Venezuela
Víctor Adolfo Escobar, Michael Schmitz, Javier Sánchez Rojas, Freddy Rondón

55

ESTUDIO DEL PARÁMETRO VS30 MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICANAL DE ONDAS SUPERFICIALES EN LA CIUDAD DE VALENCIA, EDO. CARABOBO / A Study of the VS30 Parameter by Means of Multichannel Analysis of Surface Waves in the City of Valencia, Carabobo
Marysol Mijares, Michael Schmitz, Javier Sánchez-Rojas, Freddy Rondón

69

INSTRUCTIVOS

NORMAS PARA AUTORES

83

AUTHOR GUIDELINES

86

NORMAS PARA ARBITROS

89

PEER REVIEWER NORMS

90