

# Geometría y estructuras de la cuenca neógena de Loja a partir de datos gravimétricos (Andes Ecuatorianos)

*Geometry and structure of the Loja Neogene Basin from gravity data (Central Ecuadorian Andes)*

Jesús Galindo-Zaldívar <sup>(1,2)</sup>, John Soto <sup>(3)</sup>, Patricia Ruano <sup>(1,2)</sup>, José Tamay <sup>(3)</sup>, Francisco Lamas <sup>(4)</sup>, José Guartán <sup>(3)</sup>, José Miguel Azañón <sup>(1,2)</sup> y Agustín Paladines <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (CSIC – Univ. de Granada). Facultad de Ciencias. 18071. Granada. jgalindo@ugr.es; pruan@ugr.es; jazon@ugr.es

<sup>(2)</sup> Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias. 18071. Granada.

<sup>(3)</sup> Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador), San Cayetano Alto, apartado postal 11-01-608. jesoto@utpl.edu.ec; jvtamay@utpl.edu.ec; jaguartan@utpl.edu.ec; apaladines1@uio.satnet.net

<sup>(4)</sup> Departamento de Ingeniería Civil. E.T.S Ing. Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada 18071. Granada. flamas@ugr.es

## ABSTRACT

The recent tectonic evolution of the central Andes is driven by the subduction of the oceanic Nazca plate below the South America continental crust. This process has produced relief uplift and the isolation and deformation of intramontane retroarc foreland basins. In this setting, the Loja Basin is a N-S elongated and asymmetrical syncline infilled by sediments since the Middle-Late Miocene. While the western area only has undergone eastwards tilting with low dips, the eastern sector is affected by large open N-S folds and by an eastward verging reverse fault zone, several hundreds of meters wide. New gravity measurements constraints the geometry of the sedimentary infill, indicating maximum thickness displaced eastwards in respect to the central axis of the basin, probably as consequence of the activity of reverse faults. These data reveals the progressive development of eastwards verging structures at the shallow crustal Andean orogenic wedge since the Miocene.

**Key words:** Andes, recent tectonics, gravimetry, neogene basin.

Geogaceta, 48 (2010), 215-218  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010

Fecha de revisión: 21 de abril de 2010

Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

## Introducción

Ecuador forma parte del cinturón de fuego del Pacífico y tiene un volcanismo y una sismicidad muy activas. Gran parte de su territorio forma parte de la Cordillera de los Andes y en su entorno figura una dorsal oceánica activa denominada «Carnegie ridge» o dorsal de Galápagos que se sitúa entre las placas de Cocos y Nazca (Fig 1A).

La Cordillera de los Andes se ha formado como consecuencia de la subducción a lo largo de la Fosa de Chile de cortezas oceánicas situadas en el Pacífico bajo la corteza continental de la Placa Sudamericana.

En los Andes centrales y septentrionales (Fig. 1B) la placa de Nazca subdujo bajo Sudamerica a una velocidad media de 10 cm/año (Norabuena *et al.*, 1999). Sin embargo, desde hace aproximadamente 10-12 Ma (Mioceno Medio-Superior), la velocidad disminuyó hasta 7 cm/año debido posiblemente al acoplamiento entre las placas y a la creación de relieve (Laffaldano and Bunge, 2008). En este

contexto las cuencas sedimentarias intramontañas sinorogénicas del Ecuador (Cuencas de Antepaís de Retroarco), se desarrollaron a partir del Oligoceno Superior, momento de máxima actividad orogénica. Sin embargo, más recientemente, se ha producido una nueva reactivación

del proceso orogénico andino con creación de nuevo relieve que ha dado lugar al desarrollo de nuevas cuencas neógenas y cuaternarias sinorogénicas.

La Cuenca de Loja (Fig. 1) forma parte de las cuencas intramontañas neógenas de la zona Sur del corredor

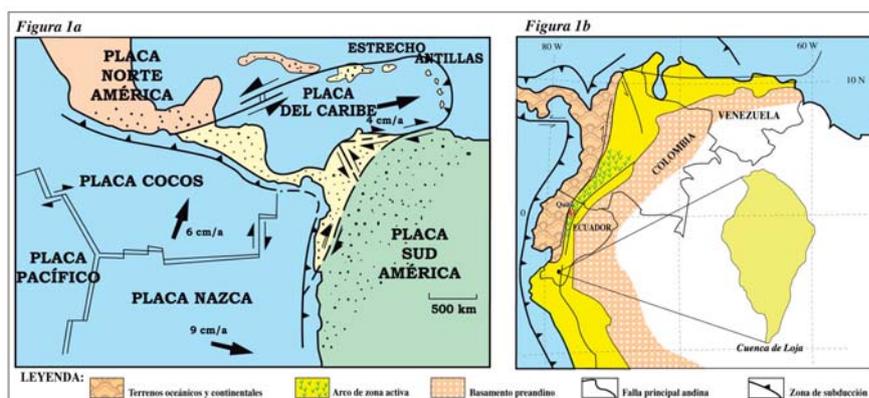


Fig. 1.- Localización geológica de la Cuenca de Loja en los Andes Ecuatorianos. A, Principales placas tectónicas. B, Situación de la zona.

Fig. 1.- Geological setting of the Loja Basin in the Ecuadorian Andes. A, Main tectonic plates. B, Location of study area.

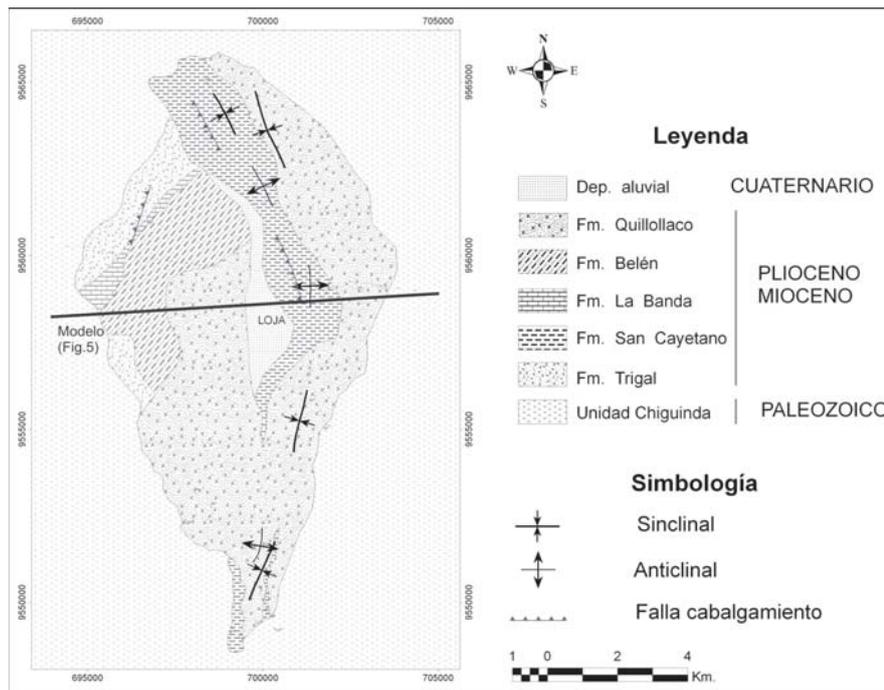


Fig. 2.- Esquema geológico de la Cuenca de Loja. Situación en Fig. 1B. Los contactos entre formaciones son discordantes.

Fig. 2.- Geological sketch of the Loja Basin. Location in Fig. 1B. Contacts between formations are unconformities.

que permitan conocer la estructura profunda de la cuenca.

El objetivo de este trabajo es establecer la geometría profunda de la cuenca de Loja y la importancia de la tectónica en la distribución actual del relleno sedimentario. Para ello se integrarán las observaciones geológicas de campo con datos gravimétricos tomados sobre una transversal realizada en la parte central de dicha cuenca.

**Adquisición y procesado de datos gravimétricos**

Las medidas gravimétricas han sido realizadas en septiembre de 2009 mediante un gravímetro Scintrex CG5 con precisión de 1 microGal, la posición en planta con un navegador GPS y la cota con un altímetro barométrico de 1m de precisión junto con un barógrafo de registro continuo e instalado en una estación fija. Se ha tomado como referencia la base gravimétrica de Granada (España) del Instituto Geográfico Nacional, que fue utilizada para instalar una nueva base en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL, Ecuador), ya que en este país no existe una red densa de estaciones gravimétricas. La deriva en este ciclo fue inferior a 0.05 mGal.

A partir de la base en la UTPL se realizaron 136 medidas a lo largo de perfiles aproximadamente perpendiculares y paralelos a la elongación N-S de la cuenca y medidas aisladas distribuidas para mejorar la cobertura en planta (Fig.4). La anomalía de Bouguer calculada con

Interandino. Se localiza en la parte meridional de Ecuador, próxima a la divisoria de aguas entre los océanos Atlántico y Pacífico. Está rellena por rocas esencialmente detríticas de edad Mioceno Medio y Superior discordantes sobre el basamento de composición dominante metapelítica, localmente con intrusiones de rocas ígneas. Su secuencia sedimentaria neógena ha sido establecida por Kennerley (1980) y estudiada en detalle por Hungerbühler *et al.* (2002) quienes proponen la existencia de un alto estructural que separó dos subcuencas para justificar las diferencias entre las series. El relleno sedimentario se inició con depósitos fluviales, deltáicos y lacustres que en el sector occidental corresponden de muro a techo, a las formaciones Trigal, La Banda y Belén, mientras que en el oriental están integradas en la formación San Cayetano. Sobre ellas reposa discordantemente la formación Quillolaco. Sin embargo, no existen dataciones precisas de estas formaciones. Los estudios previos de la estructura interna indican una mitad oriental deformada por pliegues de orientación N-S que estaría separada de la occidental por una falla vertical (Kennerley y Almeida, 1973; 1975) o normal inclinada al Oeste (Hungerbühler *et al.*, 2002).

Esta falla habría sufrido inversión tectónica, rotaría y se formarían fallas nuevas inversas con buzamientos al Este que serían las responsables de la individualización de ambas subcuencas. Sin embargo, los estudios realizados durante este trabajo no han permitido identificar esta zona de falla de posición central en la cuenca. La región está muy cubierta y no existen datos detallados sobre las características de los pliegues y fallas ni datos sobre la geología del subsuelo

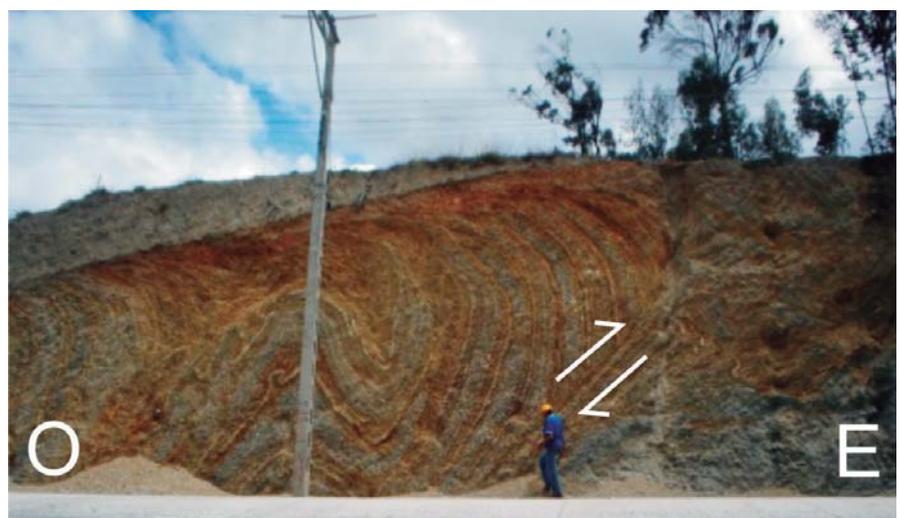


Fig. 3.- Cabalgamientos N-S y pliegues apretados en la Fm. San Cayetano.

Fig. 3.- N-S trending thrusts and tight fold in San Cayetano Fm.

una densidad de referencia de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  incluye la corrección topográfica hasta 20 km obtenida a partir del modelo digital de terreno SRTM 3 realizado por la NASA (<ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>) con una malla de 90 m. Los modelos gravimétricos se han realizado me-

dante el programa GRAVMAG (Pedley *et al.*, 1993).

#### Estructura de la Cuenca de Loja

La cuenca de Loja (Fig. 2) es una sinforma compleja con algunos pliegues

aislados muy abiertos de ejes generalmente orientados N-S. Su mitad oriental está afectada por pliegues algo más apretados, cuyos flancos pueden buzarse más de  $50^\circ$ . Hacia la parte central de la cuenca se identifica una zona de cabalgamientos (Fig. 3) de orientación N-S y vergencia

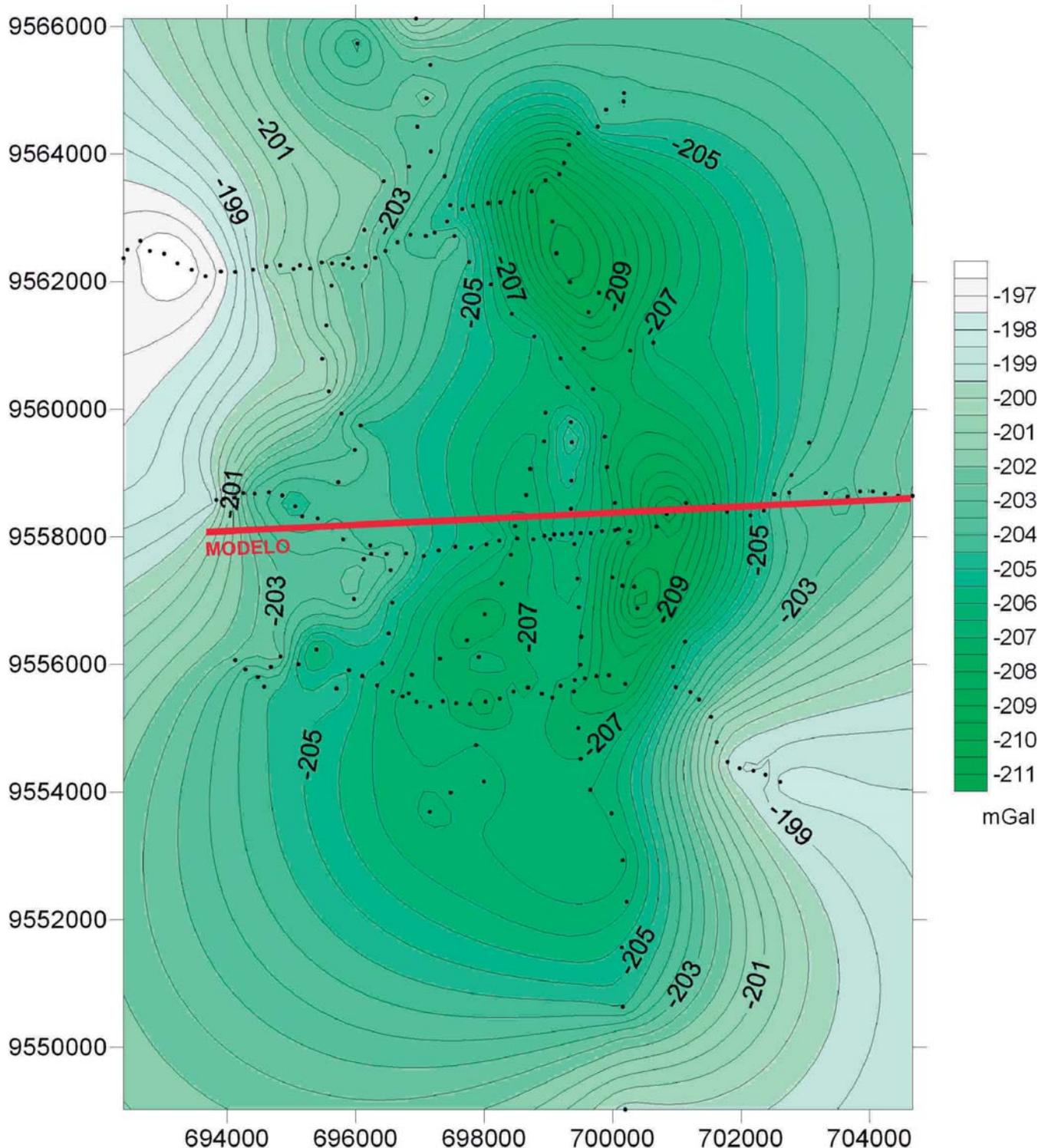


Fig. 4.- Mapa de anomalía de Bouguer de la Cuenca de Loja. Densidad de referencia,  $2,67 \text{ g/cm}^3$ . Los puntos negros indican las estaciones medidas.

Fig. 4.- Bouguer Anomaly map of the Loja Basin.  $2.67 \text{ g/cm}^3$  reference density. Black dots are the measurement stations.

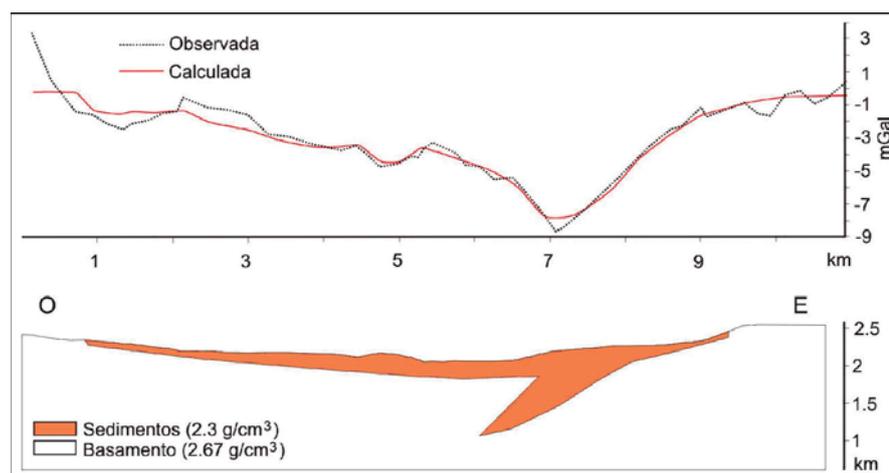


Fig. 5.- Perfil y modelo gravimétrico de la transversal central de la Cuenca de Loja. Posición en Fig. 4.

Fig. 5.- Profile and gravity model of the central transect of the Loja Basin. Location in Fig. 4.

hacia el Este que afecta a la formación inferior (San Cayetano).

La anomalía de Bouguer tiene valores negativos en la región, comprendidos entre -197 y -211 mGals (Fig. 4), que corresponden a una corteza continental netamente engrosada. Si se considera la anomalía regional obtenida a partir de los valores medidos en el basamento, la cuenca tiene mínimos de anomalía residual que alcanzan -8 mGal, elongados N-S y desplazados hacia el Este desde su zona central, que indican la asimetría en su relleno. A partir de los datos gravimétricos y los datos geológicos de campo se ha calculado un modelo gravimétrico de distribución de densidades (Fig. 5) que completa la imagen de la estructura profunda de la cuenca en su transversal central.

#### Discusión y conclusiones

A partir del Mioceno Medio-Superior el empuje de la placa de Nazca que subduce bajo el margen continental Sudamericano ha reactivado el proceso orogénico andino, dando lugar a un rejuvenecimiento del relieve y al desarrollo de cuencas intramontañosas sinorogénicas.

Estas cuencas han sido comprimidas en dirección E-O y han desarrollado pliegues, cabalgamientos y fallas inversas de orientación N-S. La deformación se ha desarrollado en varias etapas, tal y como lo demuestra la disminución del acortamiento asociado a las estructuras en las formaciones sedimentarias más recientes (Fm. Quillollaco), lo que marcaría el carácter sintectónico (sinorogénico) de dicha cuenca.

La cuenca de Loja es esencialmente una sinforma, relativamente compleja en su interior, ya que aparece afectada por pliegues menores, cabalgamientos y fallas, sobre todo en su mitad oriental. Los datos gravimétricos han contribuido a reconocer por primera vez la geometría profunda de dicha cuenca. La distribución de sedimentos puede explicarse mediante un modelo bastante sencillo, en el que destaca un importante alto de basamento en su tercio más oriental (Fig. 5). Este alto estructural coincide además con un máximo en el espesor del relleno sedimentario y con el límite de la zona más intensamente deformada. Este efecto puede ser consecuencia de la actividad de una falla inversa que cobijaría un gran espesor de sedimentos de la cuenca en su bloque más oriental. Tanto los datos geológicos de campo como la

interpretación gravimétrica indican que las fallas inversas y cabalgamientos tienen vergencia Este, opuesta a la que había sido propuesta hasta el momento. La presencia de esta estructura sugiere la existencia de un despegue en la parte más oriental y superficial de la cuenca que explicaría el sistema de pliegues que allí aparece (Fig. 3) y que acomodaría gran parte del desplazamiento de la falla inversa profunda. Dichos pliegues habrían tenido actividad desde el Mioceno Medio. La presencia y actividad de la falla inversa y el despegue superficial con ella relacionado podrían estar asociados con la actividad sísmica de la región.

#### Agradecimientos

Se agradecen las sugerencias detalladas del Dr. Nemesio Heredia y un revisor anónimo que han permitido mejorar notablemente el contenido y la presentación del trabajo. Este trabajo ha sido financiado por la AECID, proyecto A/021488/08 y el grupo RNM-148 Junta de Andalucía.

#### Referencias

- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Sowards, D., Egüez, A., Peterson, D.E., Helg, U. y Hammer, C. (2002). *Earth-Science Reviews*, 57, 75-124.
- Kennerley, J.B. (1980). *Overseas Geology and Mineral Resources*, 55, 17 p.
- Kennerley, J.B. y Almeida, L. (1973). *Mapa geológico de Ecuador, hoja de Gonzanamá (57) 1:100.000*. Instituto Geográfico Militar.
- Kennerley, J.B. y Almeida, L. (1975). *Mapa geológico de Ecuador, hoja de Loja (56) 1:100.000*. Instituto Geográfico Militar.
- Laffaldano, G. y Bunge, H.P. (2008). *Geology*, 36, 443-446.
- Norabuena E.O., Dixon T.H., Stein S. y Harrison C.G.A. (1999). *Geophysical Research Letters*, 26, 3405-3408.
- Pedley, R.C., Busby, J.P. y Dabeck, Z.K. (1993). British Geological Survey, Technical Report WK/93/26/R, 75p.