

## “II ENCUENTRO DE JOVENES INVESTIGADORES”

### MEDICIONES GEODESICAS Y GRAVIMETRICAS APLICADAS AL ESTUDIO DEL FRENTE DE DEFORMACIÓN ACTIVA EN LOS ANDES DE SAN JUAN

#### Estudios de la Tierra

Leiva, María Flavia <sup>(1)</sup>; Acosta, Gemma<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Instituto Geofísico Sismológico “Ing. Fernando S. Volponi”, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de San Juan - CONICET.  
mariaflavialeiva@gmail.com

<sup>(2)</sup>Instituto Geofísico Sismológico (UNSJ) – CIN.  
Gemma060@gmail.com

#### Resumen

La ciudad de San Juan se ubica en la región de mayor actividad sísmica de la Argentina. En los últimos setenta años sufrió tres terremotos destructivos (1944, 1952 y 1977) localizados en un radio no mayor que 70 km del centro comercial.

La región en estudio está ubicada entre los 31° y 32° de Latitud Sur y entre los 68° y 69° de Longitud, con la Ciudad de San Juan en su centro donde se ha monumentado una red geodésica de puntos fijos que está siendo monitoreada mediante mediciones y remediciones de GPS de alta precisión, con gravedad y gradiente vertical de la gravedad, para la identificación y análisis de las estructuras con potencial sismogénico.

Estudios recientes de datos GNSS a partir de estaciones permanentes de la Red SIRGAS-CON han demostrado que la velocidad de deformación horizontal en la zona en estudio es de 20mm/año. A partir de los registros temporales 2010-2012 de las estaciones permanentes GNSS ubicadas en el sur de la zona de interés (CSLO y CSJ1), se calculó un deslizamiento dextral importante en dirección SW entre la Precordillera Central y el Valle de Tulum. Por otra parte, estudios gravimétricos realizados durante los años 2000 a 2011 permitieron detectar un fuerte gradiente temporal alineado con la Falla del Tulum que une el SW de la Sierra Pie de Palo con el Cerro Valdivia. Esta falla converge con la Precordillera Oriental a la latitud de la Quebrada de La Flecha, tiene alta actividad tectónica y componente de desplazamiento dextral. Esto podría interpretarse como una convergencia oblicua entre los basamentos de Precordillera y Pie de Palo con transferencia diferencial de esfuerzos hacia la Precordillera Oriental.

Palabras claves: Red Geodésica, Gravimetría, Tectónica.

Con el objetivo de mejorar el conocimiento estructural del frente de deformación andino en el sur de la provincia de San Juan, se están efectuando estudios geofísicos desde mediciones gravimétricas, geomagnéticas y de sísmica de prospección. Para la caracterización de fuentes sismogénicas en esta región, se está construyendo una red geodésica bien materializada y de buena resolución que está siendo monitoreada, mediante mediciones y remediciones con gravedad, su gradiente vertical y GPS de alta precisión.

La ciudad de San Juan se ubica en la región de mayor actividad sísmica de la Argentina. En los últimos setenta años sufrió tres terremotos destructivos (1944, 1952 y 1977) (INPRES 2012) localizados en un radio no mayor que 70 km del centro comercial.

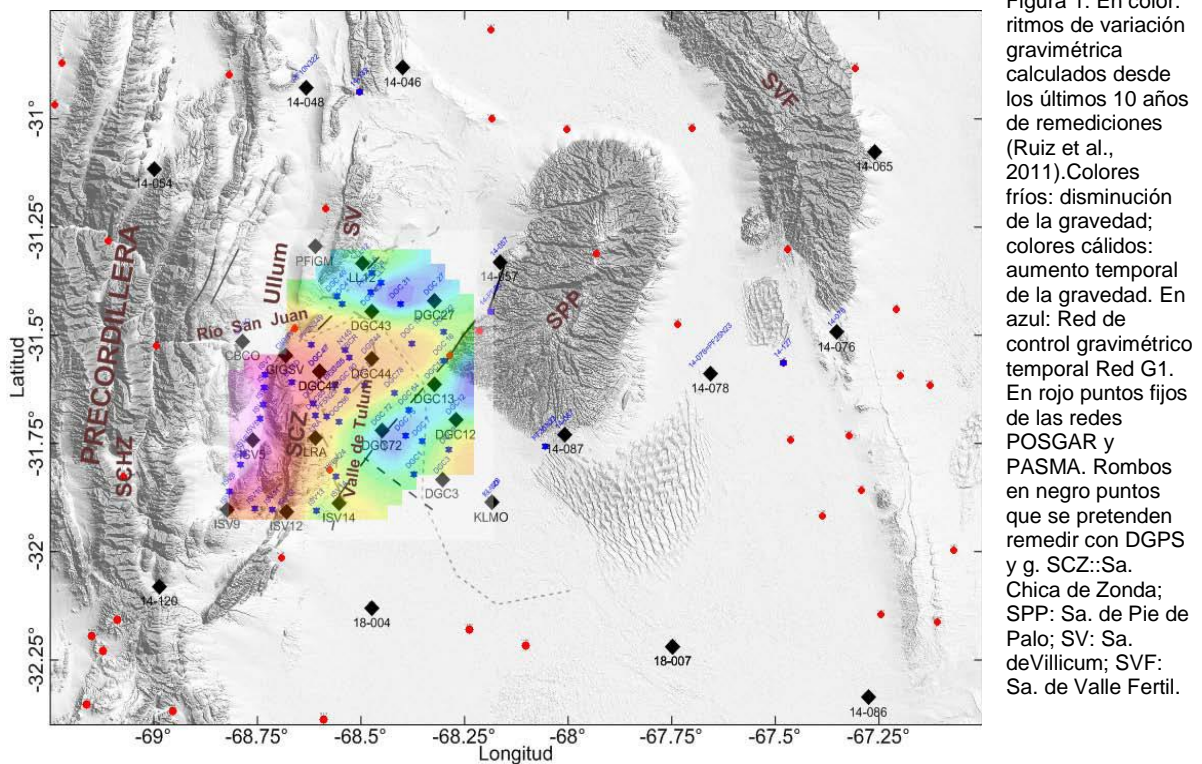
La región en estudio (Figura 1) está ubicada en el antepaís andino, comprende parte las provincias geológicas de Sierras Pampeanas Occidentales y de la Precordillera Oriental. El sector de Sierras Pampeanas Occidentales está caracterizado por rocas metamórficas de basamento abarcando el terreno de Pie de Palo al este y la faja de Angaco (mármoles y cuarcitas) al oeste. Esta provincia geológica está caracterizada por su tectónica de piel gruesa con vergencia hacia el oeste (Jordan y Allmendinger, 1986; Ramos et al., 2002). El sector precordillerano, en el que no afloran rocas del basamento cristalino, está caracterizado por sedimentitas correspondientes a un margen pasivo paleozoico inferior desarrollado sobre el terreno Precordillera (Astini, 1998). Tanto Precordillera como Sierra Pie de Palo forman el terreno compuesto de Cuyania (Ramos *et al.*, 2004). En la Precordillera Oriental afloran las rocas sedimentarias más antiguas correspondientes al Cámbrico inferior, las fallas y planos axiales de pliegues inclinan hacia el este, al igual que en la región pampeana. En la Precordillera Central los afloramientos más antiguos son ordovícicos, las fallas y planos axiales de pliegues inclinan hacia el oeste (Baldiset *al.*, 1990).

El límite entre la Precordillera Central y Oriental está dado por la depresión tectónica e intermontana del valle de Matagusanos-Ullum-Zonda (Zambrano y Suvires, 2008; Perucca *et al.*, 2008) por debajo del cual se desarrolla una zona triangular (Vergés *et al.*, 2007). En este sector se contraponen los estilos tectónicos de la Precordillera Central,

caracterizada por su deformación epidérmica y vergencia este, con el estilo pampeano de deformación de la Precordillera Oriental (Paredes y Perucca, 2000; Meigset *et al.* 2007; Vergeset *et al.*, 2007).

El régimen de esfuerzos en la comarca está relacionada con la subducción subhorizontal de la placa de Nazca bajo la Sudamericana (Cahil y Isacs, 1992; Anderson *et al.*, 2007), característica que determina la migración hacia el este del frente orogénico, la ausencia de vulcanismo, la intensa sismicidad de intraplaca y la notable actividad neotectónica ubicada principalmente en el frente orogénico (Ramos *et al.*, 2002; Vergeset *et al.*, 2007).

La importancia de identificar y modelar con el mayor detalle geofísico posible las estructuras corticales en el frente orogénico activo radica en que estas son fuentes potenciales de terremotos. Ruiz *et al.* (2008 y 2011) han identificado cuatro zonas de alta velocidad de variación gravimétrica asociadas con actividad sismotectónica, ubicadas en el norte y sudeste del Gran San Juan. Éstas deben ser controladas con mediciones topográficas para estudiar los mecanismos de deformación y asignarles rangos de peligrosidad.



Modelos geodésicos basados en datos de GPS (Kendrick *et al.*, 2006), sugieren que la tasa de deformación permanente en el retroarco es del orden de 3 mm/año en la

Precordillera sanjuanina y que la deformación activa más importante está ocurriendo en una delgada faja de 50 km de ancho, asociada con el frente orogénico. La falta de cobertura de estaciones GPS, en ese estudio, hizo imposible distinguir claramente las estructuras que están acumulando deformación.

Ruiz et al., (2009 y 2011) a partir de diez años de mediciones gravimétricas periódicas evaluaron velocidades de variación de la intensidad del campo gravitatorio ( $g$ ) asociadas con deformaciones sismo-tectónicas (Fig.1) en el sector sur de la Precordillera Oriental y las Sierras Pampeanas Occidentales sanjuaninas. Los datos observados corroboran el levantamiento actual de la Precordillera Oriental, reflejado en aumentos de  $g$  en todos los puntos situados al oeste de la falla Villicum-Ullum-Zonda y disminución de  $g$  en las estaciones ubicadas al este de la estructura. En esta, se identifican dos segmentos de máxima actividad: a) norte de la ciudad de San Juan (falla La Laja), cuyas variaciones de  $g$  alcanzan un ritmo de  $-0.011$  mGal/año; b) al sudeste de el sistema de fallas de Tulum, los cambios de  $g$  están alineados en la dirección que une los Co. Valdivia – Co. Barboza – Sa. Pie de Palo y aumentan al oriente. La continuidad de estas remediciones es parte de nuestro plan de trabajo y son esenciales para caracterizar las estructuras con alta tasa de actividad sismotectónica.

Nuestra interpretación señala cuatro estructuras en el basamento (fallas) que rodean el gran San Juan. Las zonas de gradientes en el campo de variaciones temporales de la gravedad están relacionadas con fuentes sismogénicas (Sun y Okubo 1993, Hayes *et al.* 2006) esto implica una alta peligrosidad sísmica para la región. La abundante actividad sísmica de magnitud moderada, podría actuar como disipador de la energía acumulada. Zhu *et al.* (2004) estudiaron la evolución geodésica regional en el bloque Qinghai-xizang en China, relacionando gradientes de  $\sim 0,070$  mGal/año como precursores de terremotos de magnitud 5,8 y 5,9. Los fuertes gradientes encontrados indican importante actividad, fundamentalmente, en el norte del río San Juan y en el sistema de fallas del Tulum. Estas zonas parecen estar acumulando deformación elástica que podría liberarse en un solo evento de magnitud importante. No obstante, parte de los cambios de gravedad en el valle de Tulum podrían atribuirse a fenómenos de relajación post-sísmicos, relacionados con los tres grandes terremotos ocurridos en los últimos 68 años en esta región. Es necesario acompañar las mediciones precisas de gravedad con monitoreo geodésico GPS para

modelar las fuentes sismogénicas. Es por ello que diseñamos una red de 30 puntos fijos, bien materializados que actualmente están siendo monitoreados en forma permanente con ocupación DGPS.

Otro hallazgo en nuestro estudio es el deslizamiento de rumbo dextral del fallamiento del Tulum. Hemos empleado la señal analítica de las anomalías magnéticas para resaltar las anomalías de interés tectónico (Ruiz et al., 2011). Un examen rápido del mapa magnético revela lo siguiente: A) La fábrica magnética de las Precordilleras Oriental y Central muestran una geometría sigmoidal con rumbo regional N-S, la banda de largas longitudes de onda es dominada por rasgos anómalos de baja amplitud (colores fríos). En la región sudoeste, este patrón converge bruscamente en una cresta lineal (colores cálidos) alineada en dirección NNW-SSE que coincide con el comienzo de la Precordillera Sur. B) El contacto magnético Pie de Palo-Precordillera aparece como un patrón semi-lineal de anomalías con dirección SW-NE, desde el norte de la Precordillera Sur hasta el oeste de la Sierra de Pie de Palo. C) El mapa de señal analítica revela lineamientos regionales transversales al rumbo del frente orogénico: Megafractura Salinas Grandes, lineamiento Barboza-Médanos Grandes (Ruiz *et al.* 2011b), falla La Flecha, Falla Guanacache y Falla Acequiión. Estos lineamientos exhiben desplazamientos en su rumbo a través del contacto Precordillera – Pie de Palo.

Por otra parte, en los últimos cuatro años se han instalado cuatro estaciones GPS permanentes en el área en estudio. Hemos calculado la diferencia vectorial horizontal entre las estaciones GPS CSJ1 (31°59'S, 68°26'W, ubicada al este del fallamiento del Tulum) y CSLO (31°45'S, 69°18'W, ubicada en Precordillera) desde los registros temporales 2010-2012, encontrando un deslizamiento dextral de 10mm/año en dirección SW. Este argumento, junto con las evidencias magnéticas, refuerza nuestra hipótesis de convergencia oblicua entre los basamentos de Precordillera y Pie de Palo con transferencia de diferencial de esfuerzos hacia la Precordillera Oriental y acoplamiento neto del basamento Pampeano contra el de la Precordillera Sur.

#### **Bibliografía:**

Anderson, M., Alvarado, P., Zandt, G. y Beck, S. 2007. Geometry and brittle deformation of the subducting Nazca Plate, Central Chile and Argentina. *Geophysical Journal International* 171: 419-434.

Astini, R.A. 1998. Stratigraphic evidence supporting the rifting, drifting and collision of the Laurentian Precordillera terrane of western

Argentina. En Pankhurst, R. y Rapela, C. (eds.) *The proto-Andean margin of Gondwana*, The Geological Society, Special Publication

142: 11-33, London.

- Baldis, B., Martinez, R., Villegas, C., Pereyra, M.Y. y Perez, A. 1990. Estructura Provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas. 11º Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 186-211, San Juan.
- Borrello, A.V. 1969. Los geosinclinales de la Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales 14: 136 p., Buenos Aires.
- Cahill, T. y Isacks, B. 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research* 97: 17503-1752.
- Hayes, T.J., Tiampo, K.F., Rundle, J.B. y Fernández, J. 2006. Gravity changes from a stress evolution earthquake simulation of California. *Journal Geophysical Research* 111, B09408, doi:10.1029/2005 JB004092.
- INPRES (instituto Nacional de Prevención Sísmica) 2010. Listado de terremotos históricos de Argentina, catálogo en línea ([www.inpres.gov.ar](http://www.inpres.gov.ar)).
- Jordan, T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of rocky mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Kendrick, E., Brooks, B., Bevis, M., Smalley, R., Lauria, E., Araujo, M. y Parra, H. 2006. Active orogeny of the South-Central Andes studied with GPS geodesy. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61: 555-566.
- Meigs, A., Krugh, W.C., Schiffman, C., Vergés, J. y Ramos, V.A. 2006. Refolding of thin-skinned thrust sheets by active basement involved thrust faults in the eastern Precordillera of western Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61: 589-603.
- Paredes, J. y Perucca, L. 2000. Fallamiento cuaternario en la depresión de Matagusanos, San Juan, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55: 23-30.
- Perucca, L.P., Pérez, A.M., Moreiras, S.M. y Bracco, A. 2008. Análisis del campo de esfuerzos en una secuencia lacustre de Precordillera Oriental, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 223-232.
- Ramos, V.A. 2004. Cuyania, an exotic block to Gondwana: Review of a historical success and the present problems. *Journal Gondwana Research* 7 (4): 1-18.
- Ramos, V.A., Cegarra, M. y Cristallini, E. 1996. Cenozoic tectonics of the High Andes of west-central Argentina (30º-36º latitude). *Tectonophysics* 259: 185-200.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O. y Pérez, D.J. 2002. The Pampean flat slab of the central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.
- Roest W.E., Verhoef, J. y Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. *Geophysics* 57(1): 116-125.
- Ruiz, F., e introcaso, A. 2004. Curie point depths beneath Precordillera Cuyana and Sierras Pampeanas obtained from spectral analysis of magnetic anomalies. *Journal Gondwana Research* 8: 1133-1142.
- Ruiz, F. e introcaso, A. 2011. Study of the Claromecó Basin from gravity, magnetic and geoid undulations. *Boletín del instituto de Fisiografía y Geología* 79-81: 95-106.
- Ruiz, F., Laplagne, A., Gallego G. e introcaso, A. 2008. Variaciones de gravedad en el Valle de Tulum, San Juan: aportes a la caracterización sismotectónica. *GEOACTA* 33: 115-122, Bahía Blanca.
- Ruiz, F., Gimenez, M., introcaso, A., Martinez, P., Cornaglia, L., Leiva, F. y Sisterna, J. 2009. Cambios periódicos de gravedad vinculados con tectónica activa en la Precordillera Oriental, San Juan, Argentina. 11th international Congress of the Brazilian Geophysical Society, Actas 1761\_EVT\_6YEAR\_2009: 4 p., Salvador.
- Ruiz, F., Luna, E., Vargas, D., Gimenez, M. y Martinez, P. 2011. importancia del ajuste y nivelación de datos aeromagnéticos a partir de magnetometría terrestre. 18º Congreso Geológico Argentino, Actas: 1198-1199, Neuquén.
- Rundle, J.B. 1982. Viscoelastic-Gravitational Deformation by a Rectangular Thrust Fault in a Layered Earth, *Journal Geophysical Research* 87(B9): 7787-7796.
- Sun, W. y Okubo, S. 1993. Surface potential and gravity changes due to internal dislocations in a spherical earth. I. Theory for a point dislocation. *Geophysical Journal international* 114: 569-592.
- Vergés, J., Ramos, V.A., Meigs, A., Cristallini, E., Bettini, F.H. y Cortés, J.M. 2007. Crustal wedging triggering recent deformation in the Andean thrust front between 31ºS and 33ºS: Sierras Pampeanas-Precordillera interaction. *Journal Geophysical Research* 112, B03S15, doi: 10.1029/2006JB004287.
- Zambrano, J.J. y Suvires, G.M. 2008. Actualización en el límite entre sierras Pampeanas. Occidentales y Precordillera Oriental, en la provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 110-116.

Zhu, Y., Li, H., Zhu, G. y xu, Y. 2004. Gravity evolution and earthquake activities of the northeastern edge of Qinghai-xizang block.  
Acta SeismologicaSinica 17: 76-84.