



Sismicidad de la Precordillera Sanjuanina entre 29°S y 32°S: análisis de fuente sísmica y del campo de esfuerzos

A. Venerdini^{1,2}, M. Podestá², L. López^{2,3}, J. Ammirati^{1,2} y P. Alvarado^{1,2}

¹ Grupo de Sismotectónica. Centro de Investigaciones de la Biósferas y la Geósfera (CONICET-Universidad Nacional de San Juan) (PICT2011-160). agostina.venerdini@unsj-cuim.edu.ar

² Departamento de Geofísica y Astronomía. Universidad Nacional de San Juan.

³ Instituto Nacional de Prevención Sísmica.

Resumen

En el presente estudio se analiza la sismicidad cortical (< 65 km) registrada en la Precordillera Sanjuanina durante 2008 y 2009 por 52 estaciones sismológicas temporales de banda ancha distribuidas en Cordillera, Precordillera, Sierras Pampeanas Orientales y Occidentales.

Para este sector del retroarco andino se localizaron un total de 100 sismos corticales con profundidades focales < 65 km y sus correspondientes mecanismos focales.

Los sismos localizados en Precordillera presentan magnitudes $0,4 < M_L < 5,3$ y $1,3 < M_W < 5,3$. El estudio de localización sísmica utilizando un modelo de velocidades mejorado permitió obtener profundidades focales comprendidas entre 5 km y 46 km de profundidad. El análisis de mecanismos focales utilizando primeros arribos indica mayor proporción de soluciones de fallamiento inverso o inverso con pequeña componente de rumbo y en menor abundancia mecanismos normales o conteniendo alguna componente de rumbo. El campo de esfuerzos obtenido sobre 100 sismos corticales claramente indica una componente del eje mayor compresivo orientado en dirección este-oeste.

Estos resultados son consistentes con la tectónica compresiva de la Precordillera para niveles de corteza media a superior.

Palabras clave: Precordillera, sismicidad, mecanismo focal, campo de esfuerzo

Introducción

En el presente estudio se analiza la sismicidad cortical registrada tanto por la red de estaciones sismológicas de banda ancha SIEMBRA (**SI**erras **P**ampeanas using a **M**ulticomponent **B**Roadband **A**rray, Alvarado et al., 2009) como por ESP (**E**astern **S**ierras **P**ampeanas, Richardson et al., 2012) (fig. 1). La red de estaciones sismológica



SIEMBRA registró actividad sísmica durante 2008 y 2009 en un total de 40 estaciones banda ancha desplegadas en Cordillera, Precordillera y Sierras Pampeanas. La red ESP registró durante 2008 y 2010 utilizando 12 estaciones sismológicas de banda ancha instaladas en las Sierras Pampeanas Orientales. Para este trabajo sólo se consideran los sismos ocurridos en la Precordillera Sanjuanina durante 2008 y 2009 a profundidades corticales (es decir < 65 km de profundidad de acuerdo a estimaciones de espesores de corteza de Ammirati et al., 2015). Ese trabajo también determinó un modelo de velocidades sísmicas para la estructura de corteza de la zona de estudio, el cual es utilizado en este trabajo para obtener localizaciones sísmicas precisas y mecanismos focales de primeros arribos. Finalmente se presenta una estimación del campo de esfuerzos para esta actividad sísmica cortical estudiada (fig. 1).

Marco Geotectónico

El retroarco andino ha experimentado acreciones de terrenos alóctonos durante el Ordovícico Medio en el margen occidental de Gondwana (Dalla Salda et al., 1992; Astini et al., 1995) y procesos de rifting durante el Mesozoico temprano (Ramos y Kay, 1991). Tomando en cuenta la estratigrafía, el tiempo y el estilo de deformación, el sector de puede subdividirse en Precordillera Oriental, Central y Occidental (Ortiz y Zambrano, 1981; Baldi y Bordonaro, 1984). La Precordillera Occidental y Central corresponden a una estructura de fajas plegadas y corridas típicas de deformación de piel fina. La Precordillera Oriental no expone basamento lo cual se interpreta como un mecanismo de deformación de tipo de piel gruesa análogo al existente en las Sierras Pampeanas (Allmendinger et al., 1990, Ramos et al., 2002). La Precordillera Occidental y Central consiste en depósitos de una plataforma carbonática

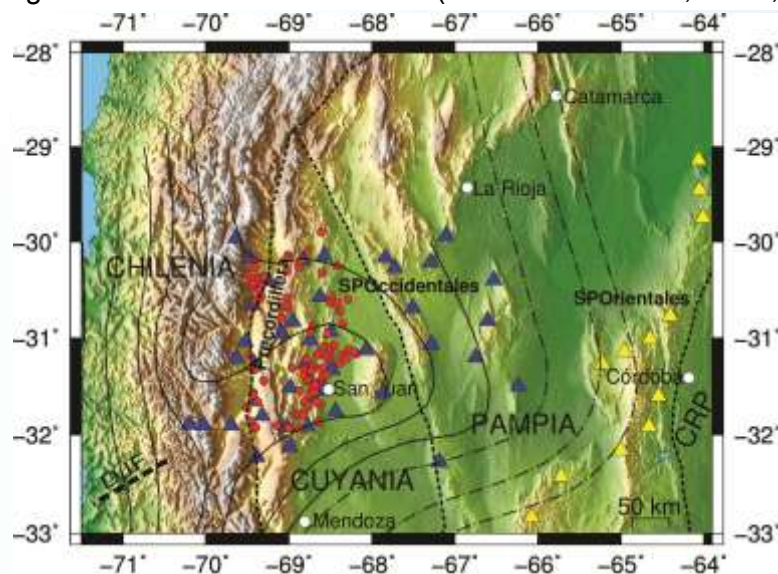


Figura1: 100 epicentros localizados (círculos rojos). Los triángulos azules indican las estaciones sismológicas de SIEMBRA y amarillos de ESP. Las líneas punteadas muestran entre terrenos acrecionados según Ramos et al., 2002). Las líneas continuas indican los contornos de Wadati-Benioff para la placa de Nazca subducida de Anderson et al. (2007) y con trazo y punto las de Cahill e Isacks (1992). Se muestra la dorsal de Juan Fernández (DJF) y



Cámbrico-Ordovícica (Bordonaro, 1999), mientras que en la Precordillera Oriental se presentan facies clásticas de talud ordovícicas (Spalletti et al., 1989) y depósitos de fondo oceánico como lavas almohadilladas (Pérez et al., 2015). Este estudio se sitúa entre 29°S y 32°S, donde la placa de Nazca subduce horizontalmente bajo la placa Sudamericana con una velocidad GPS de 6,3 cm/año (Kendrich et al., 2003). Esta horizontalización ha sido asociada a la presencia de la dorsal de Juan Fernández en la placa subducida (Yañez et al., 2002; Anderson et al., 2007; Ammirati et al., 2015). Si bien existen numerosos estudios geológicos, la sismicidad de Precordillera no ha sido estudiada con detalle. Uno de los motivos se debe a que la sismicidad de gran tamaño es escasa y cuenta únicamente con registro instrumental para la era pre-digital de los terremotos históricos de 1944 y 1952 del frente oriental de la Precordillera. Por otra parte, si bien la sismicidad de menor tamaño puede ser más abundante, no existe suficiente cobertura de estaciones permanentes para intentar su caracterización con detalle. En este trabajo se analizan dos años de registros continuos de una red sismológica temporal. El objetivo consiste en obtener parámetros de localización epicentral, profundidad focal y mecanismos focales de la sismicidad local pequeña a moderada. Luego se analizan la distribución espacial de los resultados obtenidos y el campo de esfuerzos resultante para la Precordillera.

Métodos Sísmicos

La localización y el cálculo de magnitudes de sismos se realizó utilizando el programa Hypocenter 3.2 (Lienert y Havskov 1995) incorporado en Seisan 10.3 (Ottmøller et al., 2014). Para ello se siguió un proceso manual identificando primeros arribos de ondas P y ondas S y utilizando un modelo de velocidades sísmicas de ondas P y ondas S con buena resolución a nivel litosférico en Precordillera obtenido en base a funciones del receptor con calibración de ondas superficiales y ruido ambiental (Ammirati et al., 2015, 2016). También, se calcularon de forma automática las magnitudes local (M_L) y momento (M_W), con el objeto de estimar el tamaño de energía liberada para cada sismo.

Otro análisis consistió en la lectura de las polaridades de los primeros arribos de ondas P para obtener el mecanismo focal. Las soluciones para cada uno de los 100 sismos analizados se realizó utilizando el programa FOCMEC (Snok, 2003) incluido en el paquete de programas Seisan 10.3 (Ottmøller et al., 2014).

Por último, se utilizó la metodología propuesta por D'Auria y Massa (2015) y la base de datos de mecanismos focales confeccionada para determinar el régimen de esfuerzos en la zona de estudio por medio de una aproximación Bayesiana. Este método permite obtener una estimación cuantitativa de las regiones de confianza en las que se encuentran los ejes principales de esfuerzos.



Resultados

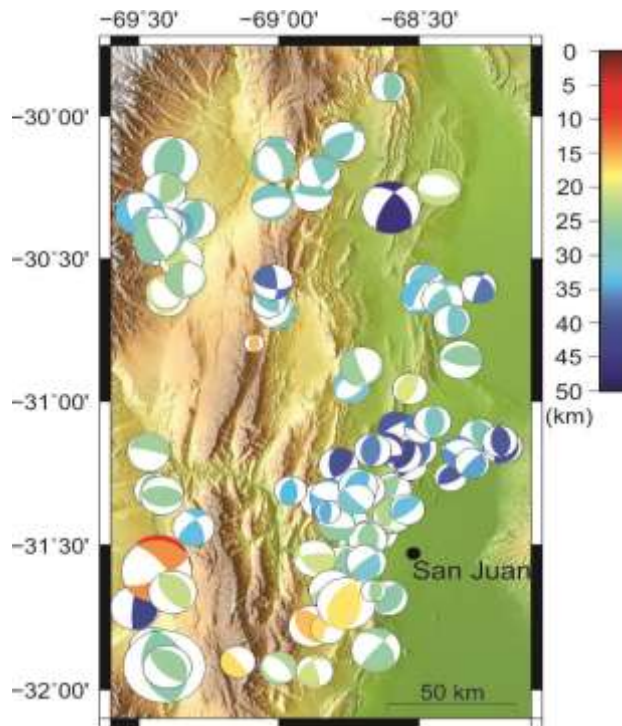


Figura 2: Mecanismos focales obtenidos para los 100 localizados. El mayor tamaño corresponde a $M_w=5,3$ y el menor a $M_w=1,3$.

Un total de 100 sismos fueron localizados dentro de la corteza de la Precordillera durante el periodo 2008-2009. Las soluciones hipocentrales consideraron un promedio de 37 tiempos de arribos de ondas P y S para cada sismo. Los errores obtenidos en la localización corresponden en promedio a 1,38 km para la latitud del epicentro, 1,72 km para la longitud del epicentro, 2,4 km para la profundidad focal y de unos 0,4 s para el RMS (raíz cuadrática media de la diferencia entre los tiempos de arribos observados y calculados). La cobertura azimutal en promedio fue 281° .

Las magnitudes estimadas varían entre $0,4 < M_L < 5,3$ y $1,3 < M_W < 5,3$.

La distribución de sismos corticales muestra que la mayor actividad sísmica se presenta entre 20 km y 35 km de profundidad (fig. 2).

Las soluciones de planos de fallamiento de los 100 sismos estudiados indican 21 mecanismos focales inversos puros, 22 inversos con componente menor de rumbo, 25 de rumbo lateral izquierdo con componente inversa, 3 transcurrentes sinestrales, 15 de rumbo lateral izquierdo con componente normal, 14 normales con componente menor de rumbo.

La determinación del campo de esfuerzos en la Precordillera del retroarco andino (Fig. 3) indica compresión en una dirección aproximadamente E-O. En la figura 3 se observa que los contornos rojos y azules encierran el 68% de probabilidad de contener a σ_1 y σ_3 , respectivamente.

Conclusiones



En este trabajo se han obtenido parámetros sísmicos para 100 sismos corticales localizados dentro de la Precordillera sanjuanina. Estos resultados se obtuvieron a partir del análisis de estaciones sismológicas de banda ancha de tres componentes.

σ_1 Azimut	102,42
σ_1 Buzamiento	15,17
σ_3 Azimut	-142,19
σ_3 Buzamiento	65,69

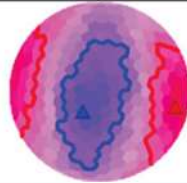


Figura 3: Campo de esfuerzos regionales para la Precordillera. Nótese la compresión este-oeste para la deformación de la sismicidad cortical. Triángulo azul indica eje σ_1 y rojo σ_3 .

La magnitud indica un tamaño de la sismicidad pequeño a moderado. La localización de hipocentros muestra una distribución entre 5 km y 46 km de profundidad. La mayor actividad sísmica se concentra entre 20 km y 35 km de profundidad, lo cual es consistente con un nivel de corteza media si se compara con las discontinuidades intracorticales bajo la Precordillera propuestas por Ammirati et al. (2016). La solución de planos de fallamiento sugeridos por los mecanismos focales obtenidos para los 100 sismos estudiados son predominantemente inversos. El campo de esfuerzos determinado en el presente trabajo sobre la base de estos mecanismos focales indica un estilo compresivo para la deformación que afecta a la Precordillera del retroarco andino situada a más de 300 km hacia el este de la trinchera de subducción, con el eje σ_1 orientado en posición horizontal y en sentido aproximadamente este-oeste (fig. 3).

Referencias

Allmendinger, R., D. Figueroa, D. Snyder, J. Beer, C. Mpodozis y B. Isacks. Foreland shortening and crustal balancing in the Andes at 30°S latitude. *Tectonics* 9(4): 789-809.

Alvarado, P., M. Saez, M. Araujo, M. Perarnau, A. Guell, D. Gregori y G. Sánchez. 2009. Experimento Geofísico SIEMBRA: más detalles de la subducción plana en



Argentina y la deformación en la placa superior. XIV Reunión de Tectónica: Río Cuarto, Córdoba.

Ammirati, J., P. Alvarado y S. Beck. 2015. A lithospheric velocity model for the flat slab region of Argentina from joint inversion of Rayleigh wave phase velocity dispersion and teleseismic receiver functions. *Geophysical Journal International*. 202: 224-241.

Ammirati, J., S. Pérez, P. Alvarado, S. Beck, S. Rocher y G. Zandt. 2016. High-resolution images above the Pampean flat slab of Argentina (31–32°S) from local receiver functions: Implications on regional tectonics. *Earth and Planetary Sc. Lett.* 450: 29-39.

Anderson, M., P. Alvarado, G. Zandt y S. Beck, S. 2007. Geometry and brittle deformation of the subducting Nazca plate, central Chile and Argentina: *Geophy. J. Int.* 171 (1).

Astini, R., Benedetto, J., Vaccari, N., 1995. The early Paleozoic evolution of the Argentine Precordillera as a Laurentian rifted, drifted and collided terrane, a geodynamic model. *Geological Society of America Bulletin* 107: 253-273.

Baldis, B. y O. Bordonaro, 1984. Cámbrico y Ordovícico de la Sierra Chica de Zonda y Cerro Pedernal, provincia de San Juan, Génesis del margen continental de la Precordillera, IX Congreso Geológico Argentino. 4: 190–207.

Cahill, T. y B. Isacks. 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca plate: *Journal of Geophysical Research*, 97(B12), 17503-17529.

Dalla Salda, L.H., Cingolani, C.A. y Varela, R., 1992. Early Paleozoic orogenic belt of the Andes in southeastern South America: result of Laurentia-Gondwana collision? *Geology* 20: 617-620.

Kendrich, E., M. Bevis, B. Smalley, B. A. Brooks, R. Barriga, E. Lauría y L. Souto. 2003. The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *J. of S. Am. E. Sc.* 16:125-131.

D'Auria, L. y B. Massa. 2015. Stress Inversion of Focal Mechanism Data Using a Bayesian Approach: A Novel Formulation of the Right Trihedra Method. *Seism. Res. Lett.* 86: 1-10.



- Ortiz, D. y J. Zambrano, 1981. La provincia geológica Precordillera Oriental, VIII Congreso Geológico Argentino. 3: 59–74.
- Lienert B. R. y J. Havskov 1995. A computer program for locating earthquake both locally and globally. *Seism. Res. Lett.* 66, 26-36.
- Ottmøller, L., P. Voss and J. Havskov. 2014. Seisan earthquake analysis software for Windows, SOLARIS, LINUX and MACOSX.
- Pérez, S., J. Ammirati, P. Alvarado y G. Vujovich. 2015. Constraining a mafic thick crust model in the Andean Precordillera of the Pampean flat slab subduction region. *J. South Am. Earth Sc.* 64, 325-338.
- Ramos, V., E. Cristallini y D. Pérez. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences.* 15: 59-78.
- Ramos, V.A. y Kay, S.M. 1991. Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En Harmon, R.S. y Rapela, C.W. (eds.) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*, Geological Society of America, Special Paper 265: 79-91.
- Richardson, T.J., Gilbert, H.J., Anderson, M.L., Ridgway, K.D., 2012. Seismicity within the actively deforming Eastern Sierras Pampeanas, Arg. *Geophys. J. Intern.* 188, 408–420.
- Snoke, J. 2003. FOCMEC: FOCal MEChanism Determinations.
- Yañez, G. A., J. Cembrano, M. Pardo, C. Ranero y D. Selles. 2002. The Challenger–Juan Fernández–Maipo major tectonic transition of the Nazca–Andean subduction system at 33–34°S: geodynamic evidence and implications. *J. of South Am. Earth Sc.* 15: 23–38.