



Enjambre sísmico en Punta de Vacas, Cordillera Frontal de Mendoza: análisis de los eventos de junio a julio de 2019.

Araceli Tamara DIAZ ZAPATA¹, Silvana SPAGNOTTO², José Francisco MESCUA^{1,3}

¹Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo.

²CONICET y FCFMyN - Universidad Nacional de San Luis.

³Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, CCT Mendoza, CONICET.

email: aradiaz2013@gmail.com; slspagno@email.unsl.edu.ar; jmescua@mendoza-conicet.gob.ar

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 09/07/2024

Aceptado: 24/10/2025

RESUMEN

El norte de Mendoza ha sido catalogado por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) como una de las regiones de mayor peligrosidad sísmica del país. Aun así, el margen occidental de Cordillera Frontal a la latitud de Ciudad de Mendoza, se caracteriza por exhibir escasa actividad sísmica cortical y por la ausencia de estructuras con actividad neotectónica reconocida. A continuación, se presenta el análisis sismológico de una serie de eventos sísmicos corticales de (M_w 2.7-3.9) reportados por INPRES ocurridos en las cercanías de la localidad de Punta de Vacas, (Cordillera Frontal mendocina), en el sector comprendido entre las latitudes -32.7° y -32.9° y longitudes -69.7° y -70° en el periodo de junio a julio de 2019 tras un lapso de 24 años con muy baja sismicidad en el área. Estos hechos fueron percibidos por pobladores de las localidades de Las Cuevas, Punta de Vacas, Polvaredas, Uspallata e inclusive Ciudad de Mendoza causando preocupación especialmente en las comunidades más cercanas a los epicentros. Conocer las fuentes sismogénicas en el área de estudio es fundamental para evaluar el peligro sísmico de la zona, de gran importancia logística y turística, comprendida a lo largo de la ruta internacional N°7 que une Argentina y Chile mediante el Paso Internacional Los Libertadores. A partir de la relocalización y obtención de mecanismos focales se caracterizó la actividad registrada como un enjambre sísmico inserto en el lineamiento Las Vacas, cuyo mecanismo disparador no fue posible definir.

Palabras clave: sismología, peligrosidad sísmica, mecanismo focal.

ABSTRACT

Seismic swarm at Punta de Vacas, Frontal Cordillera of Mendoza: Analysis of the June–July 2019 seismic events.

The northern sector of Mendoza Province is classified by the Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) as one of the most seismically hazardous regions of Argentina. Nevertheless, the western margin of the Frontal Cordillera at the latitude of Mendoza City is generally characterized by low crustal seismicity and by the absence of structures with recognized neotectonic activity. Here we present a seismological analysis of a sequence of crustal earthquakes (M_w 2.7–3.9) reported by INPRES in the vicinity of Punta de Vacas (Frontal Cordillera of Mendoza) between latitudes -32.7° and -32.9° and longitudes -69.7° and -70.0° , recorded during June–July 2019 after a 24-year interval of very low seismicity in the area. These events were felt by residents of Las Cuevas, Punta de Vacas, Polvaredas, Uspallata, and even Mendoza City, raising concern particularly among the communities closest to the epicenters. Identifying seismogenic sources in this region is essential for assessing seismic hazard along National Route 7—an area of major logistical and touristic importance that connects Argentina and Chile through the Los Libertadores International Pass. Relocation of

hypocenters and focal-mechanism determinations indicate that the recorded activity constitutes a seismic swarm aligned with the Las Vacas lineament, although its triggering mechanism remains unresolved.

Keywords: seismology, seismic hazards, focal mechanism

INTRODUCCIÓN

El norte de Mendoza, catalogado por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES) como una de las regiones de mayor peligro sísmico del país, alberga la mayor concentración de habitantes de la provincia, sumando un total de 1.273.144 habitantes (INDEC 2022). Esta región incluye la Alta Montaña mendocina, atravesada por la Ruta Internacional N° 7, la cual conecta Argentina y Chile mediante el Paso Internacional Los Libertadores, (principal paso entre estos dos países), utilizado tanto por viajeros como por camiones de carga. En este sector se desarrollan además actividades turísticas, apoyadas por poblaciones permanentes ubicadas en las localidades de Las Cuevas, Penitentes, Punta de Vacas y Polvaredas. Por lo tanto, evaluar el peligro sísmico en esta zona de gran importancia logística y turística es fundamental.

El área de estudio se encuentra comprendida entre los

paralelos -32.7° y -32.9° y los meridianos -69.7° y -70° (Figura 1). En los meses de junio a julio de 2019, INPRES registró sismos superficiales en las cercanías de la localidad de Punta de Vacas, los cuales fueron sentidos en la región y alertaron a los pobladores de la Alta Montaña mendocina. El mayor de estos eventos, M_w 3.9, tuvo lugar el día 27/06/2019 a las 02:34hs GMT (26/06/2019 a las 23:34 hs. local) con epicentro a latitud -32.757° y longitud -69.766° a 10 kilómetros de profundidad. Se percibió en la Ciudad de Mendoza con una intensidad Mercalli Modificada de II-III, mientras que en las localidades de Las Cuevas y Uspallata tuvo una intensidad de III (datos del Instituto Nacional de Prevención Sísmica, INPRES). A pesar de encontrarse ubicados en un sector muy peligroso sísmicamente, el margen occidental de la Cordillera Frontal se caracteriza por la escasa actividad sísmica cortical (Olivar et al. 2018) y por la ausencia de estructuras con actividad neotectónica reconocida (SEGEMAR 2023).

El objetivo de este trabajo es estudiar la serie de eventos

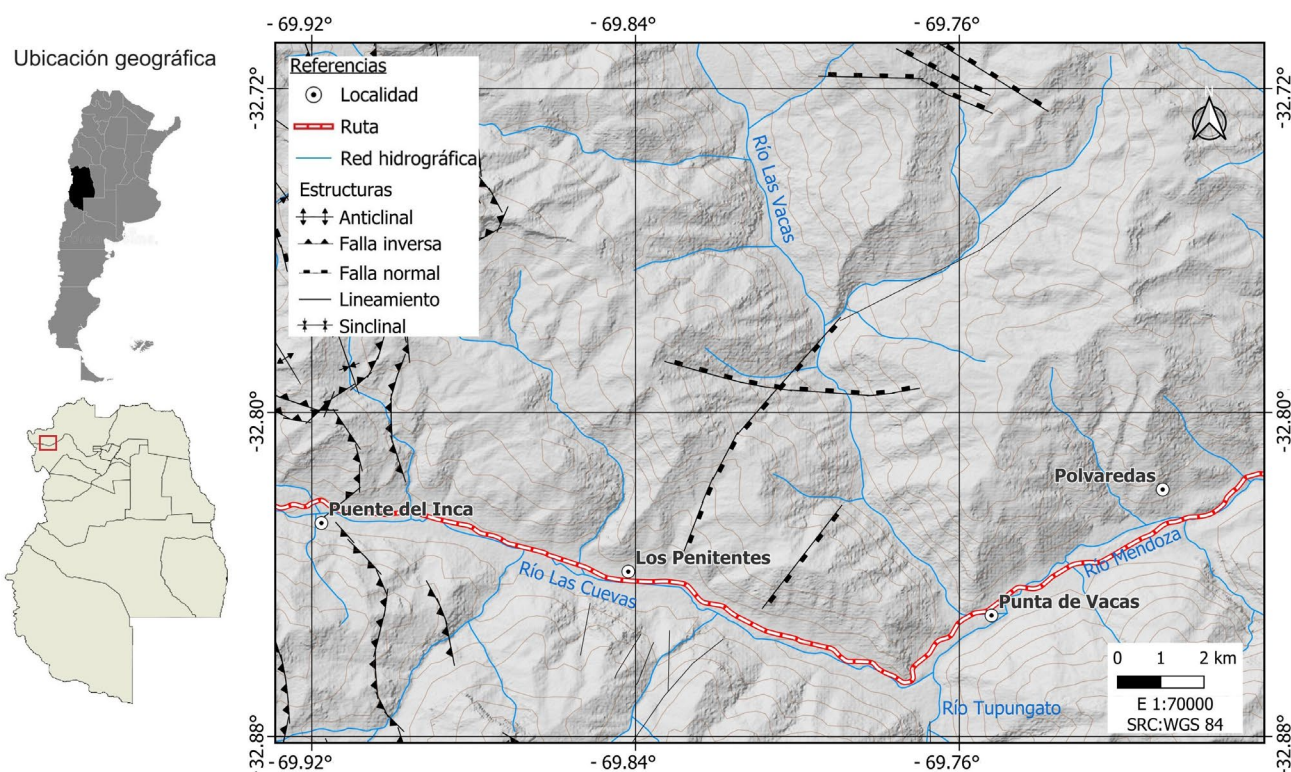


Figura 1. Área de estudio ubicada al noroeste de la Provincia de Mendoza, Argentina, en el margen norte de la ruta internacional N°7. Datos estructurales tomados de Ramos 1996.

sísmicos ocurridos en las cercanías de la localidad de Punta de Vacas, caracterizar los sistemas de fallas que los produjeron, estimar su potencial sismogénico y contribuir al conocimiento del peligro sísmico de la región. Se presentan localizaciones precisas de los sismos ocurridos entre junio y julio de 2019, incluyendo errores asociados, determinación del hipocentro, magnitud del evento y sus respectivos mecanismos focales con el fin de caracterizar el movimiento y la geometría de los sistemas de fallas.

MARCO GEOLÓGICO

El oeste de Argentina se encuentra en una región sísmicamente activa debido a la convergencia entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana a una velocidad relativa de ~ 7.5 cm/año en dirección casi ortogonal (DeMets et al. 2010). En este marco, el norte de Mendoza se encuentra en una ubicación particular, ya que el margen andino entre -28° y -33° corresponde a un segmento de subducción plana, conocido en este sector bajo el nombre de flat-slab pampeano. La losa oceánica subducta en posición horizontal a ~ 100 kilómetros de profundidad por 250-300 kilómetros aproximadamente en sentido este-oeste reasumiendo su descenso en el manto hacia el este de -67.5° (Barazangi y Isacks 1976, Cahill y Isacks 1992, Pardo et al. 2002 y 2004, Anderson et al. 2007).

La geometría de la losa plana aumenta la interacción mecánica entre ambas placas dando como resultado una placa superior más fría y con mayor sismicidad (Gutscher 2002), en comparación a segmentos de subducción normal. Dicha interacción ha dado como resultado algunos de los terremotos destructivos más importantes del país, como el de 1782 (M_s 6.7-7.2) y 1861 (M_s 7.2) ocurridos en la provincia de Mendoza (Perucca et al. 2009). La sismicidad se concentra en una franja a lo largo del borde occidental del antepaís, produciendo una zona neotectónicamente muy activa, ubicada a la latitud de las ciudades de San Juan y Mendoza. Los sismos a profundidades cercanas a los 100 kilómetros delinean la posición de la placa, mientras que los principales terremotos destructivos se ubican a profundidades menores, en ambiente de intraplaca (Pardo et al. 2003).

Estructuras

Las estructuras en la región son el resultado de una serie de eventos superpuestos a través de distintos ciclos diastróficos de deformación paleozoica, mesozoica y cenozoica. Por un lado, la cordillera principal comprende la faja plegada y corrida del Aconcagua de piel fina (Giambiagi y Ramos 2002),

generada a partir de la deformación compresiva ándica durante el mioceno inferior (Vicente 2005), que invirtió las fallas extensionales desarrolladas durante el paleozoico superior y el triásico (Ramos et al. 2002). Por otro, el sector occidental de la Cordillera Frontal para estas latitudes presenta un marcado rasgo morfoestructural representado por una serie de lineamientos de orientación N-S, desarrollados a lo largo del arco magmático gondwánico, que recorren una extensión de 100 km. De norte a sur corresponden a los lineamientos Tigre, Las Vacas, Tupungato y Tunuyán. El desarrollo de estas fracturas con desplazamiento de rumbo indica la presencia de un intenso fallamiento de cizalla regional, cuya fase principal de actividad se desarrolló durante la orogenia gondwánica (Fuentes et al. 1986). Estas estructuras sufrieron al menos dos estadios de reactivación durante el ciclo ándico, uno pre-Mioceno y otro Mioceno superior-Plioceno, ambos de menor intensidad relativa en el ámbito del área de estudio (Fuentes et al. 1986).

METODOLOGÍA

Se analizaron datos sismológicos provistos por la Red Zonal Centro del INPRES (<https://www.inpres.gob.ar/>) y de la red de estaciones sismológicas internacionales de Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/breqfast-request/>) (Figura 2).

Se trabajó con el registro continuo de las estaciones de periodo corto y banda ancha para los meses de junio y julio de 2019. En todos los casos, se evaluó la calidad de los datos sismológicos, corroborando que los mismos dispongan de una buena relación señal-ruido y un arribo claro de ondas P.

Los datos de las redes sismológicas fueron procesados utilizando el software SEISAN (Seismic Analysis System, Havskov y Ottemöller 1999, Havskov et al. 2020). Se inspeccionaron visualmente las formas de onda asociadas a cada evento. Se identificaron las fases sísmicas (onda P y S) y la polaridad del primer movimiento (contraccional o distensivo) siempre que fuera posible. El arribo de la onda P fue identificado observando la componente vertical mientras que el arribo de la onda S se determinó en las componentes horizontales (N-S o E-O según fuera conveniente). Se utilizaron filtros de frecuencia (1-5 Hz, 5-10 Hz) para eliminar el ruido y resaltar los arribos de las ondas sísmicas. Para la localización se utilizó el programa HYPOCENTER (Lienert y Havskov 1995) dentro del software SEISAN y un modelo de velocidades de las ondas P y S que se ajusta a la zona de estudio detallado en la Tabla 1 (Villegas et al. 2023). El error asociado fue determinado por la precisión en la elección de las fases y

la distribución de estaciones alrededor del evento (gap azimutal). Por tal motivo se le asignaron pesos a las fases leídas, especialmente a la fase S en base a la claridad de su registro con el objeto de mitigar el error introducido por lecturas imprecisas. Los parámetros del evento (latitud, longitud, profundidad y tiempo origen) se obtienen a partir de un proceso de inversión que busca minimizar la diferencia entre el tiempo de arribo observado (picado) y el calculado teóricamente (Havskov y Ottemöller 2008). En base a ello, se procuró la obtención de resultados con un error de localización con un RMS por debajo de 0.3 segundos. Finalmente, se evaluó cuantitativamente la calidad de los resultados obtenidos a través de la aplicación de filtros. Este proceso involucró la consideración de aquellos eventos que fueron localizados a partir de al

menos 4 estaciones sismológicas, poseen mecanismo focal, valor RMS bajo en el rango de 0.01 a 0.2, errores en la latitud y longitud menores a 10 kilómetros e hipocentros con un error de profundidad menor a 10 kilómetros.

Los mecanismos focales se confeccionaron con las herramientas FOCMEC y HASH incorporadas en el software SEISAN (Snoke 2003, Hardbeck y Shearer 2002, 2003). Se analizaron aproximadamente 10 polaridades para cada sismo. Se consideró la búsqueda de planos cada 20 grados, disminuyendo a 15 y 10 grados cuando era posible obtener soluciones menos dispersas, además se ajustó a un valor de 5 relaciones de amplitud entre ondas P y S y se utilizó el menor número posible de estaciones con polaridad errónea con el objeto de obtener los mejores planos solución de cada sismo.

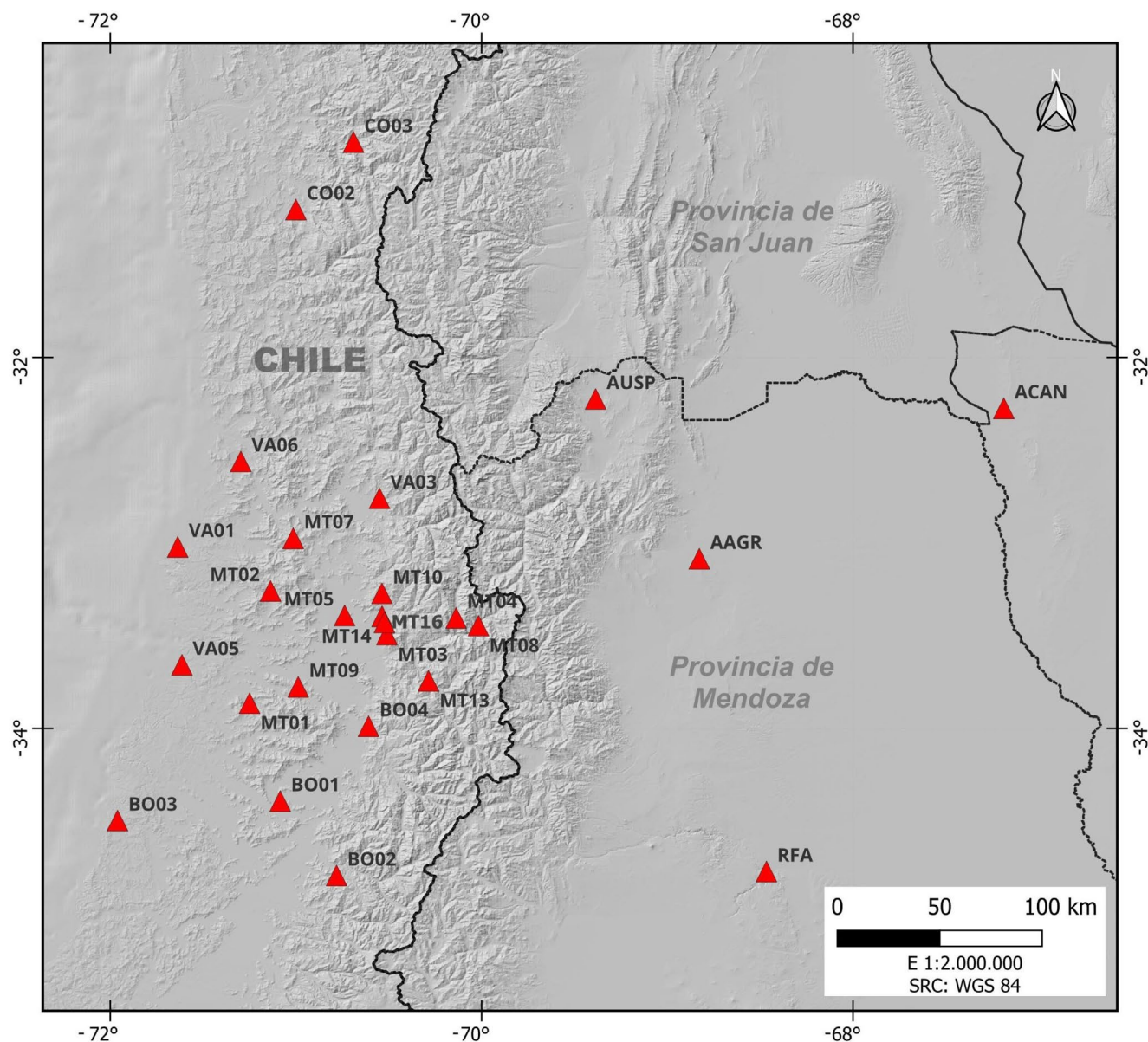


Figura 2. Ubicación de las estaciones sismológicas empleadas.

Tabla 1. Modelo de velocidad tomado de Villegas et al. 2023. La profundidad del Moho se fijó en aproximadamente 55 km.

Profundidad (km)	Vp (Km/s)	Vp/Vs	Vs (Km/s)
-2.5	5.38	1.723	3.12
0.0	5.51	1.723	3.20
2.5	5.54	1.723	3.22
5.0	5.76	1.723	3.34
7.5	6.08	1.723	3.53
10.0	6.11	1.723	3.55
15.0	6.17	1.723	3.58
20.0	6.20	1.723	3.60
25.0	6.43	1.740	3.70
30.0	6.45	1.740	3.71
35.0	6.70	1.740	3.85
40.0	6.74	1.740	3.87
45.0	6.85	1.740	3.94
50.0	7.00	1.740	4.02
55.0	7.87	1.800	4.37
65.0	7.94	1.800	4.41
75.0	7.99	1.800	4.44
85.0	8.06	1.800	4.48
100.0	8.10	1.800	4.50
115.0	8.17	1.800	4.54
130.0	8.17	1.800	4.54
145.0	8.17	1.800	4.54

RESULTADOS

Se analizó la sismicidad ocurrida al norte de la localidad de Punta de Vacas entre los paralelos -32.7° y -32.9° y los meridianos -69.7° y -70° en el periodo 2000-2024. Según los datos obtenidos del sitio web del INPRES (www.inpres.gob.ar), se registraron 17 sismos superficiales con M_w 2.5-3.9.

Estos eventos, caracterizados por una ocurrencia esporádica y una frecuencia sísmica de nula a muy baja, muestran un aumento significativo en su actividad durante el año 2019 (Figura 3), especialmente en los meses de junio y julio. Durante este último período, se observó una secuencia de 8 sismos alineados con M_w 2.7-3.9 en dirección NE-SO.

Se examinó el registro continuo de un promedio de 14 estaciones sismológicas entre ellas nacionales e internacionales de los 8 eventos reportados durante junio y julio, dando como resultado la relocalización de cada uno de los eventos. Los resultados obtenidos son de buena calidad como pueden verse en la Tabla 2 debido al bajo error en la latitud, longitud, profundidad, GAP y RMS.

Tras la relocalización, los focos sísmicos se profundizaron gradualmente hacia el NNO. La M_c calculada por SEISAN para cada evento, a excepción del sismo producido el día 13/6/2019 a las 21:32hs GMT caracterizado por ser el de mayor M_c , denota valores por debajo de los reportados inicialmente por INPRES a través de la M_w , lo cual es esperable ya que en general con la M_c se subestiman las magnitudes, incluso en 1 punto.

Se obtuvo el mecanismo focal para cada evento a partir de los primeros arribos de ondas P, utilizando la herramienta FOCMEC (Figura 4). La Tabla 3 muestra los resultados de los mecanismos focales, detallando los parámetros focales (rumbo, inclinación y rake) de los dos planos nodales de los eventos sísmicos y el tipo de movimiento correspondiente.

Las soluciones de los mecanismos focales indican desplazamientos de rumbo (3/8), inversos (3/8) y normales (2/8), con planos nodales dispuestos predominantemente en dirección NNO-ESE. El evento ocurrido el día 27/6/2019 a las 02:34hs GMT con M_w 3.9 según INPRES y M_c 3.1 en este

Tabla 2. Relocalización de 8 sismos producidos durante los meses de junio y julio de 2019. Se detalla número de evento con su correspondiente fecha y hora GMT de ocurrencia, ubicación espacial de cada una de las localizaciones obtenidas con su respectivo error, profundidad en kilómetros, NST (Número de estaciones empleadas para la localización de cada evento sísmico), RMS (raíz cuadrática media de la diferencia entre los tiempos de arribo observados y calculados), GAP azimutal (separación acimutal máxima entre estaciones vista desde el epicentro del evento), y Magnitud coda (M_c).

Evento N°	Fecha	Tiempo origen (GMT)	Latitud (°)	Lat Error (Km)	Longitud (°)	Long Error (Km)	Profundidad (Km)	Error de la profundidad (Km)	NST (Número de estaciones)	RMS	GAP azimutal	Magnitud coda (M_c)
1	13/6/2019	21:32	-32,756	2.1	-69,790	2.1	24.3	3.6	13	0.2	89	3.2
2	14/6/2019	01:22	-32,736	2.5	-69,791	2.4	24.9	3.5	16	0.2	116	2.7
3	14/6/2019	11:16	-32,746	2.3	-69,776	2.6	21.9	3.3	14	0.2	89	2.2
4	14/6/2019	13:01	-32,799	2.7	-69,908	7.7	21.8	5.0	12	0.2	216	2.4
5	27/6/2019	02:34	-32,755	2.0	-69,762	2.6	26.3	3.4	15	0.2	121	3.1
6	27/6/2019	23:09	-32,781	2.1	-69,739	3.4	17.2	5.7	12	0.2	124	2.7
7	28/6/2019	21:43	-32,775	1.6	-69,748	3.2	17.8	4.6	15	0.2	123	2.1
8	1/7/2019	22:45	-32,773	1.5	-69,744	2.8	17.8	3.7	16	0.2	123	2.3

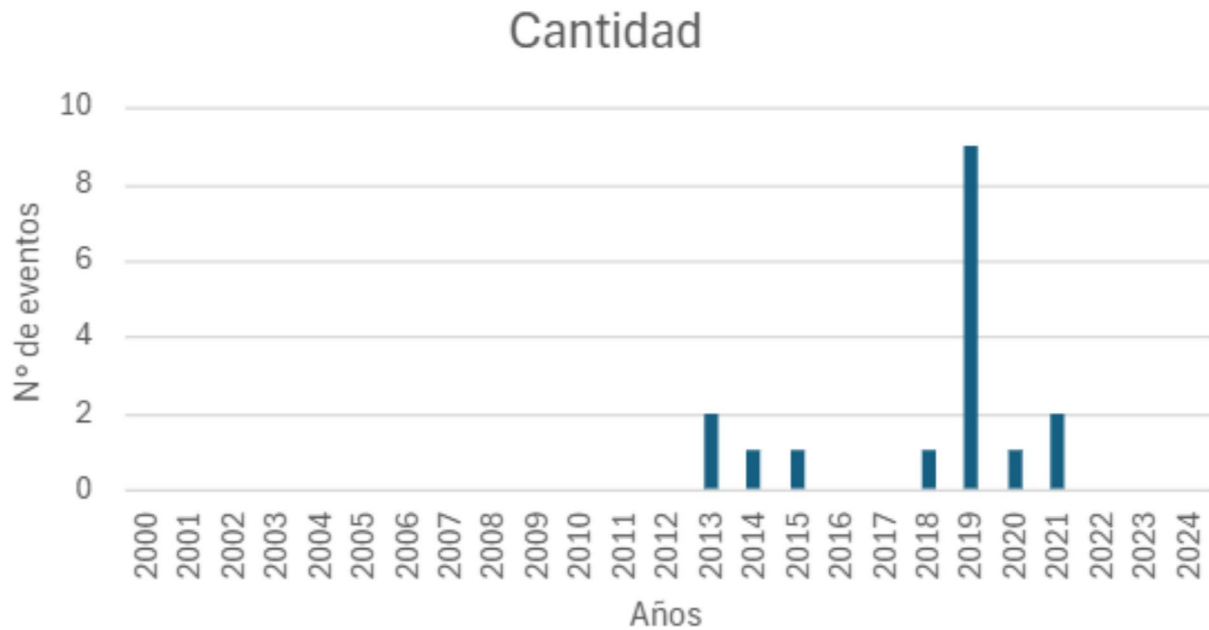


Figura 3. Sismicidad superficial reportada por INPRES en el periodo de 2000-2024 en el sector de Punta de Vacas. Se destaca la ocurrencia de un número mayor de sismos en el año 2019 asociados al evento estudiado en este trabajo.

Tabla 3. Análisis de los planos solución de los sismos ocurridos en junio y julio de 2019 tras la determinación de su mecanismo focal.

Evento	Fecha	Hora	GAP	Plano nodal 1				Plano nodal 2			
				STRIKE	DIP	RAKE	Tipo de movimiento	STRIKE	DIP	RAKE	Tipo de movimiento
1	13/6/2019	21:32	89	283	41	-74	Normal con componente sinistral	82	50	-103	Normal
2	14/6/2019	01:22	116	320	84	8	Sinistral	229	82	173	Dextral
3	14/6/2019	11:16	89	323	63	172	Dextral	56	82	27	Sinistral con componente inversa
4	14/6/2019	13:01	216	110	90	0	Sinistral	19	89	179	Dextral
5	27/6/2019	02:34	121	148	40	90	Inversa	328	50	90	Inversa
6	27/6/2019	23:09	124	148	40	90	Inversa	328	50	90	Inversa
7	28/6/2019	21:43	123	287	47	-68	Normal con componente sinistral	76	47	-111	Normal con componente dextral
8	1/7/2019	22:45	123	59	50	90	Inversa	239	40	90	Inversa

estudio, sugiere una solución de falla inversa de rumbo NO-SE. Sin embargo, los mecanismos focales obtenidos para los 8 eventos no son consistentes entre sí y presentan una gran dispersión en los ejes de contracción y extensión.

DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos, se caracteriza la sismicidad como un enjambre sísmico, a partir de los siguientes criterios: (1) aumento de la tasa de sismicidad sin un patrón típico de precursores, evento principal y réplicas; (2) la sismicidad no sigue la ley de Bath, que indica que “la réplica mayor

es un orden de magnitud menor que el evento principal” (Bath 1965); (3) la sismicidad comienza y termina bruscamente es decir, no cumple con la ley de Omori, que señala un decaimiento exponencial de la tasa de sismicidad (Omori 1894); y (4) la cantidad de sismos asociados a un enjambre sísmico debe ser mayor o igual a 5 eventos (Valenzuela Malebrán 2016).

El origen de los enjambres sísmicos es un tópico de gran discusión. Se han propuesto diferentes mecanismos que podrían producirlos, como migración de fluidos magmáticos (Hill 1977, Comte et al. 2007), aumento de la presión poral por migración de aguas subterráneas (Vidale y Shearer 2006), acumulación de esfuerzos tectónicos en zonas con elevada

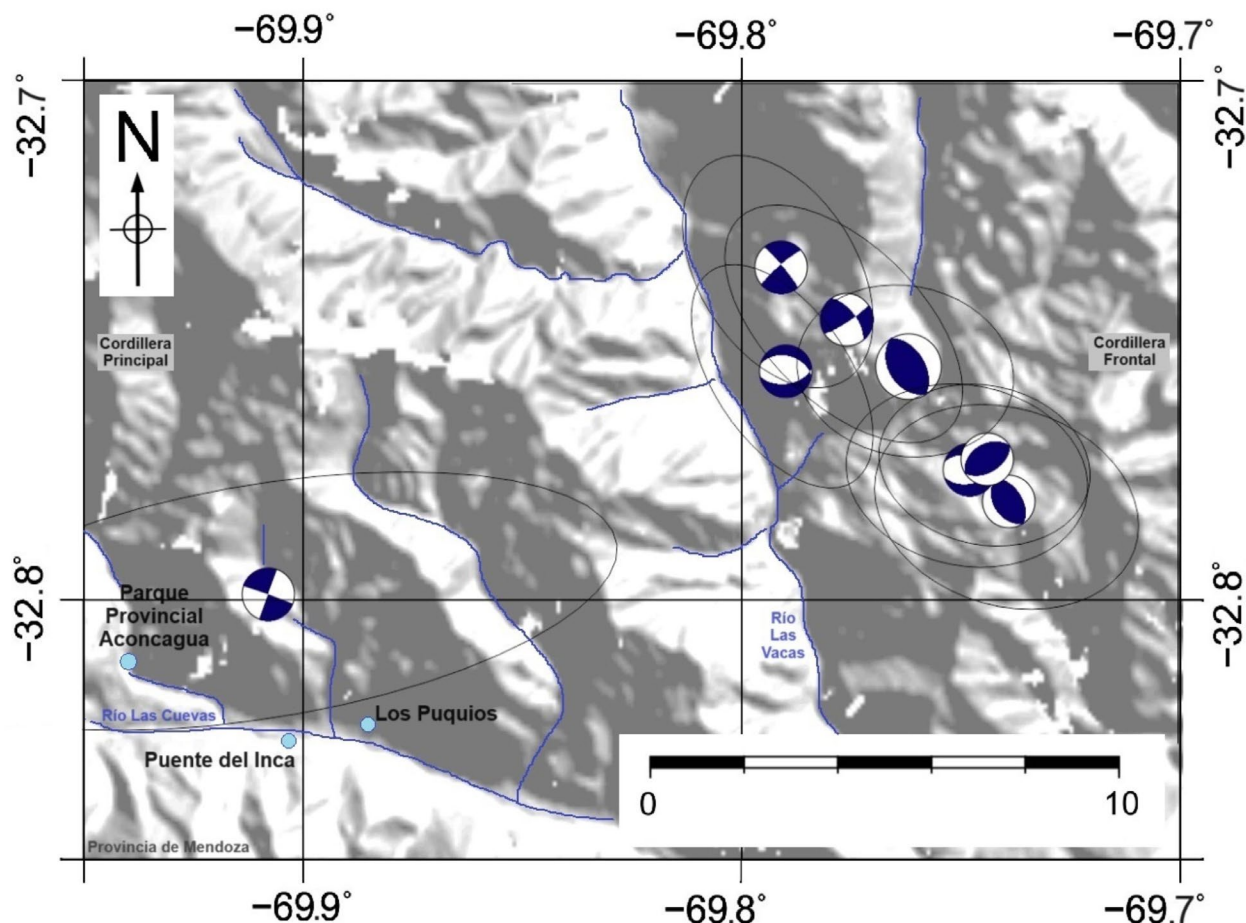


Figura 4. Mecanismos focales de los eventos sísmicos relocalizados, registrados durante los meses de junio y julio.

fracturación (Mogi 1963, Mora Stock 2009), deslizamientos asísmicos que concentran los esfuerzos en fallas vecinas al movimiento (Lohman y McGuire 2007) y combinaciones de estos mecanismos (por ej. Vidale y Shearer 2006).

La ubicación de la zona de estudio en el segmento de subducción subhorizontal, sin volcanismo activo, permite desestimar un origen magmático para estos eventos. La localización del enjambre en una zona con rocas intensamente fracturadas asociadas al lineamiento Las Vacas (Fuentes et al. 1986) sugiere que la acumulación de esfuerzos tectónicos podría ser responsable de producir la sismicidad (Figura 5). La influencia de otros factores como migración de fluidos (agua subterránea) o deslizamientos asísmicos no puede ser evaluada con la información disponible. Para ello sería necesario contar con información sismológica de una red local en la zona del enjambre, que permita localizar sismos de magnitudes menores y caracterizar con más detalle las variaciones espaciales y de magnitud de la sismicidad, y/o con datos geodésicos a escala de detalle que permitan determinar movimientos asísmicos.

Las soluciones de los mecanismos focales obtenidos son muy variables. Esto sugiere que dichos eventos no pueden

ser interpretados como el resultado del movimiento de una única falla en un campo de esfuerzos. Esta variabilidad podría atribuirse al hecho de que los eventos observados son de pequeña magnitud y podrían estar relacionados más con fallas menores en una zona de debilidad, en contraste con los precursores y réplicas que típicamente son el resultado de una única falla continua (Gephart y Forsyth 1984).

Finalmente, el enjambre sísmico cesó su actividad sin producir un evento de magnitud significativa. La detección de actividad sísmica en esta región con magnitudes mayores a M_w 3 (Según INPRES) resalta la necesidad de realizar estudios más detallados y de monitorear la actividad sísmica con redes sismológicas locales, que permitan determinar si las estructuras asociadas al lineamiento Las Vacas pueden producir sismos de mayor magnitud que podrían tener efectos destructivos sobre la infraestructura de la zona.

CONCLUSIONES

Se caracteriza a la sismicidad producida en las cercanías de Punta de Vacas entre junio y julio de 2019 como un

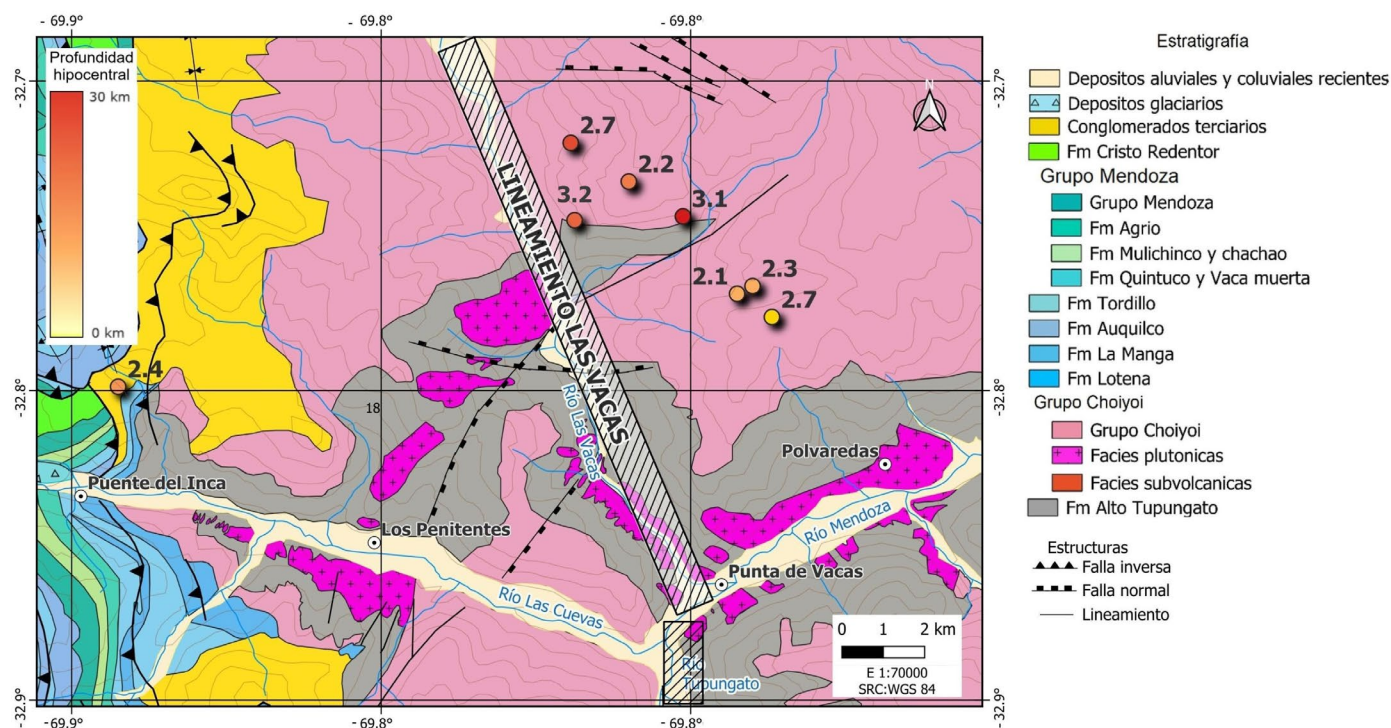


Figura 5. Ubicación del lineamiento Las Vacas y los epicentros sísmicos relocalizados en este trabajo. Basado en Ramos 1996.

enjambre sísmico. Las limitaciones de la base de datos sísmológica utilizada no permiten determinar con precisión los procesos disparadores de la actividad sísmica; con la información disponible se propone que el enjambre se asocia a la acumulación de esfuerzos tectónicos en fallas y fracturas del lineamiento Las Vacas. La información presentada indica la necesidad de realizar más estudios para caracterizar la peligrosidad sísmica asociada a estas estructuras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a INPRES e IRIS por proveer los datos sísmológicos y a Romina Onorato por los comentarios y correcciones realizados. Este trabajo fue desarrollado en el marco de la beca Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional a ATDZ, en contribución al proyecto PICT-IA-01210.

REFERENCIAS

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 (1): 419-434.

Bath, M. 1965. Lateral inhomogeneities of the upper mantle. *Tectonophysics* 2: 483-514.

Barazangi, M. e Isacks, B. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America. *Geology* 4 (11): 686-692.

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

Comte, D., Gallego, A., Russo, R., Murdie, R. y VanDecar, J. 2007. The Aysen (Southern Chile) 2007 seismic swarm: volcanic or tectonic origin? *Eos Transactions American Geophysical Union*, 88 (23), Joint Assembly Supplement.

DeMets, C., Gordon, R.G., y Argus, D.F. 2010. Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International* 181(1): 1-80.

Fuentes, A.J., Ramos, V.A. y Velo, R.A. 1986. La falla del río Tupungato: una fractura de cizalla gondwánica - Mendoza, Argentina. *Comunicaciones* 37: 1-15.

Gephart, J.W. y Forsyth, D.W. 1984. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth* 89(B11): 9305-9320.

Giambiagi, L.B. y Ramos, V. 2002. Structural evolution of the Andes in a transitional zone between flat and normal subduction (33°30'-33°45'S), Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 101-116.

Gutscher, M.A. 2002. Andean subduction styles and their effect on thermal structure and interplate coupling. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 3-10.

Hardebeck, J.L. y Shearer, P.M. 2002. A new method for determining

- first-motion focal mechanisms. *Bulletin of the Seismological Society of America* 92: 2264–2276.
- Hardebeck, J.L. y Shearer, P.M. 2003. Using S/P amplitude ratio to constrain the focal mechanisms of small earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 93: 2434–2444.
- Havskov, J. y Ottemoller, L. 1999. SEISAN Earthquake analysis software. *Seismological Research Letters* 70: 532-53.
- Havskov, J. y Ottemöller, L. 2008. SEISAN: The Earthquake Analysis Software (Version 8.2.1). Bergen University, Department of Earth Science, 578 p., Bergen.
- Havskov, J., Voss, P.H., y Ottemöller, L. 2020. Seismological Observatory Software: 30 years of SEISAN. *Seismological Research Letters* 91(3): 1846-1852.
- Hill, D. 1977. A Model for Earthquake Swarm. *Journal of Geophysical Research* 82 (8): 1347 -1352.
- INDEC 2022. <https://www.indec.gob.ar/>
- INPRES 2025. <https://www.inpres.gob.ar/>
- IRIS 2022. <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/forms/breqfast-request/>
- Lienert, B.R. y Havskov, J. 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally. *Seismological Research Letters* 66: 26-36.
- Lohman, R.B. y McGuire, J.J. 2007. Earthquake swarms driven by aseismic creep in the Salton Trough, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 112(B4).
- Mogi, K. 1963. Some Discussions on Aftershocks, Foreshocks and Earthquakes Swarms: the Fracture of a Semi-Infinite Body Caused by an Inner Stress Origin and its Relation to the Earthquake Phenomena (Third Paper). *Bulletin of the Earthquake Research Institute* 41: 615-658.
- Mora Stock, C.N. 2009. Análisis del enjambre sísmico del fiordo de Aysén durante enero de 2007. Tesis de maestría (inédita), Universidad de Chile Santiago de Chile.
- Olivar, J., Nacif, S., Fennell, L., y Folguera, A. 2018. Within plate seismicity analysis in the segment between the high Cordillera and the Precordillera of Northern Mendoza (Southern Central Andes). *Geodesy and Geodynamics* 9(1): 13–24.
- Omori, F. 1894. On the aftershocks of earthquakes. *Journal of the College of Science* 7: 111–200.
- Pardo, M., Comte, D. y Monfret, T. 2002. Seismotectonic and stress distribution in the central Chile subduction zone. *Journal of South American Earth Sciences* 15(1): 11-22.
- Pardo, M., Monfret, T., Vera, A., Eisenberg, A. y Yañez, G. 2003. Morfología de la subducción utilizando datos locales: Sismotectónica de Chile Central. 10° Congreso Geológico Chileno, Actas, Concepción.
- Pardo, M., Monfret, T., Vera, E., Yañez, G. y Eisenberg, A. 2004. Flat-slab to steep subduction transition zone in central Chile-western Argentina: body waves tomography and state of stress. *Eos Transactions, American Geophysical Union* 85(47).
- Perucca, L., Mehl, A.E., y Zárate, M.A. 2009. Neotectónica y sismicidad en el sector norte de la depresión de Tunuyán, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64: 263–274.
- Ramos, V.A. 1996. Geología de la Región del Aconcagua, Provincias de San Juan y Mendoza, República Argentina. Secretaría de Industria, Comercio y Minería de la Nación, Anales de la Dirección Nacional del Servicio Geológico, Subsecretaría de Minería de la Nación 24, 510 p., Buenos Aires.
- Ramos, V., Cristallini, E. y Pérez, D. 2002. The Pampean flat-slab of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.
- SEGEMAR 2023. Deformaciones cuaternarias 250 K. Disponible en: <https://sigam.segemar.gov.ar/geonetwork39/srv/spa/catalog.search#/metadata/e5a7f33c0fbc71257eb215b031c3af791b680edc>.
- Snoke, J.A. 2003. FOCMEC: FOCal MEChanism Determinations. Manual de Uso <http://www.iris.edu/pub/programs/focmec/>
- Valenzuela Malebrán, C.E. 2016. Análisis de la distribución espacio-temporal de enjambres sísmicos en la zona central de Chile, entre los años 2000 y 2015. Tesis de Grado (inédita), Universidad Nacional de Chile, 25-30p.
- Vicente, J.C. 2005. La fase primordial de la estructuración de la faja plegada y corrida del Aconcagua: importancia de la fase pehuenche del Mioceno inferior. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60(4): 672-984.
- Vidale, J.E., y Shearer, P.M. 2006. A survey of 71 earthquake bursts across southern California: Exploring the role of pore fluid pressure fluctuations and aseismic slip as drivers. *Journal of Geophysical Research* 111: B05312.
- Villegas Alvarez, R.J., Furlani, R., y Ortiz, C.J.A. 2023. Velocity structure (1D) and earthquakes relocation in the flat-slab to normal plate transition zone in the Argentinean transarc. *Journal of South American Earth Sciences* 132: 104647.