

Aceleraciones - Sismo de Diseño C					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00570	0.00852	0.00974	0.00943	0.00729
Donovan	0.01869	0.02483	0.02606	0.02599	0.02224
Castano	0.02312	0.03192		0.03227	0.02816
Patwardhan et al.	0.00758	0.01191	0.01038	0.01121	0.01000
Woodward-Clyde	0.01213	0.01888	0.01524	0.01703	0.01591
Gil et al.	0.02649	0.03982	0.02876	0.03378	0.03403
Crouse (1991)	0.01602	0.03047	0.02039	0.02443	0.02353
Crouse (1987)	0.01086	0.01445	0.02054	0.01874	0.01296
Ac - prom (%g)	0.0151 (0.00736)	0.0226 (0.01097)	0.0187 (0.00734)	0.0216 (0.00906)	0.0193 (0.00929)

Aceleraciones - Sismo de Diseño D					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00193	0.00159	0.00343	0.00252	0.00069
Donovan	0.00862	0.00762	0.01236	0.01015	0.00417
Castano	0.00948	0.00836		0.01113	0.00413
Patwardhan et al.	0.00205	0.00179	0.00301	0.00234	0.00060
Woodward-Clyde	0.00331	0.00296	0.00444	0.00359	0.00098
Gil et al.	0.00764	0.00714	0.00870	0.00755	0.00240
Crouse (1991)	0.00262	0.00240	0.00474	0.00290	0.00041
Crouse (1987)	0.00516	0.00395	0.00977	0.00746	0.00232
Ac - prom (%g)	0.0051 (0.00309)	0.0045 (0.00279)	0.0066 (0.00362)	0.0060 (0.00357)	0.0020 (0.00154)

Aceleraciones - Sismo de Diseño C		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00545	0.00374
Donovan	0.01860	0.01438
Castano	0.02385	0.01792
Gil et al.	0.03199	0.02310
Crouse (1991)	0.05614	0.06760
Crouse (1987)	0.02650	0.02482
Ac - prom (%g)	0.0271 (0.01685)	0.0253 (0.02206)

Aceleraciones - Sismo de Diseño D		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2

Bufaliza	0.00164	0.00226
Donovan	0.00793	0.00969
Castano	0.00889	0.01088
Gil et al.	0.00849	0.00953
Crouse (1991)	0.00941	0.01398
Crouse (1987)	0.00776	0.01045
Ac - prom (%g)	0.0074 (0.00286)	0.0095 (0.00388)

## Interpretación

A partir de catálogos de sismicidad disponibles y mediante un análisis sismotectónico, se han identificado las zonas sismogénicas cuya actividad puede afectar al sitio de interés. El análisis de las distribuciones temporales de eventos y magnitudes en cada zona sismogénica ha permitido estimar las probabilidades de excedencia para dichas magnitudes en diferentes intervalos de tiempo.

Se han planteado escenarios posibles (sismos de diseño) con diferentes niveles de probabilidad de excedencia en intervalos de tiempo acordes a la exposición del sitio de interés a la sismicidad reportada. Los sismos de diseño tipo C y D han resultado los más razonables teniendo en cuenta que las magnitudes esperadas que arroja el análisis probabilista son las que mejor aproximan a las máximas magnitudes registradas en todas las zonas sismogénicas en el período analizado.

La estimación de las aceleraciones esperables para dichos eventos en el sitio de interés permite interpretar los efectos de cada zona sismogénica:

### 1) Para sismos corticales:

- Existe un 10% de probabilidad de exceder una aceleración promedio de 0.02g en 48 años para eventos originados en cualquiera de las zonas sismogénicas corticales definidas en este estudio (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O). Un análisis comparativo entre zonas permite discernir que las zonas 2 y 4 producirían un mayor efecto.
- Existe un 50% de probabilidad de exceder una aceleración de 0.006g en 15 años para sismos corticales originados en las zonas 3 (Cordillera del Viento, Faja Plegada y Corrida del Agrio, Fosas de Loncopué y Las Loicas) y 4 (centro y noreste de la región de estudio). Para el mismo escenario, las aceleraciones esperadas para sismos en las zonas 1 y 2, serían de 0.005g.

El análisis comparativo entre zonas y sismicidad asociada permite interpretar que, si bien las zonas 3 y 4 contienen mayormente eventos de magnitudes moderadas, la estimación de su probable efecto es significativa dada su cercanía al sitio de interés. Por otro lado, el efecto de la zona 2 puede adjudicarse a la presencia de sismos con magnitudes moderadas y altas.

### 2) Para sismos intermedios:

- Existe un 10% de probabilidad de exceder una aceleración promedio de 0.026g en 48 años para sismos originados a estas profundidades. Un análisis comparativo permite

discernir que la zona 1 (placa de Nazca al noroeste de 36.34°S y 70.69°O) produciría un efecto mayor.

- Existe un 50% de probabilidad de exceder una aceleración promedio de 0.008g en 15 años para sismos originados a estas profundidades. Un análisis comparativo permite discernir que la zona 2 afectaría en mayor medida para este período de tiempo.

Puede observarse la preponderancia del efecto de la cercanía al sitio para sismos con períodos de retorno menores. Mientras que, a mayores períodos de retorno, los efectos de las mayores magnitudes serán dominantes.

Finalmente, si bien deben tenerse en cuenta las limitaciones originadas por la falta de completitud del catálogo disponible, puede concluirse que los valores de peligrosidad estimados se correlacionan con la geología y los antecedentes sísmicos de la región validando los resultados obtenidos.

Para un análisis de peligrosidad con sismos de magnitudes menores a las aquí utilizadas, se recomienda la densificación del catálogo mediante una adecuada registración.

## Referencias

- Alfaro Soto, A.A., 2011. Peligro sísmico en el segmento norte de la región del Maule, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. p. 136.
- Bohm, M., S. Luth, H. Echtler, G. Asch, K. Bataille, C. Bruhn, A. Rietbrock, and P. Wigger, 2002. The Southern Andes between 36 and 40 S latitude: Seismicity and average seismic velocities. *Tectonophysics* 356 (4), 275-289. doi: 10.1016/S0040-1951(02)00399-2.
- Casadío, S y A.O. Montagna, 2015. Estratigrafía de la Cuenca Neuquina. Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo / Silvio Alberto Casadío [et. al.]. - 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación YPF; Viedma: Universidad Nacional de Río Negro. 152 p. <https://fundacionypf.org/Documents/.../GEOLOGIA-CUENCA-NEUQUINA.pdf>. 8-21.
- Cembrano, J. and L. Lara, 2009. The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics* 471, 96–113.
- Chinn, D.S. and B.L. Isacks, 1983. Accurate source depths and focal mechanisms of shallow earthquakes in western South America and in the News Hebrides islands arc. *Tectonics* 2, 529–563.
- Chiodini, G, C. Liccioli, O. Vaselli, S. Calabrese, F. Tassi, S. Caliro, A. Caselli, M. Agosto and W. D'Alessandro, 2014. The Domuyo volcanic system: An enormous geothermal resource in Argentine Patagonia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 274. 71–77.
- Cornell, A.C., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 58, No 5, 1583-1606.
- Correa-Otto, S., S. Nacif, A. Pesce, A. Nacif, G. Gianni, R. Furlani, M. Giménez and F. Ruiz, 2018. Intraplate seismicity recorded by a local network in the Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 87, 211-220.
- Crouse, C.B., 1991. Ground motion attenuation equations for earthquakes on the Cascadian subduction zones, *Earthquake Spectra*, vol 7 (2), 201-236.
- Davis S. and C. Frohlich, 1991. Single-link cluster analysis and earthquake aftershocks; decay laws and regional variations. *J. Geophys. Res.* 96, 6335– 6350.
- De Ferraris, C., 1947. Edad del arco o Dorsal antigua del Neuquén oriental de acuerdo con la estratigrafía de la zona inmediata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 2(3), 256- 283.
- Donovan N.C., 1.973. A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1.971, San Fernando earthquake. *Proceedings of 5th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol 1.
- Douglas, J., 2001. A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000). ESEE Report No. 01-1. Imperial College of Science, Technology and Medicine Civil Engineering Department London SW7 2BU.

- Elisondo, M. and C. Farías, 2016. Volcanic risk assessment in Argentina. *Cities on Volcanoes* 9, 27 Puerto Varas, Chile.
- Folguera A., V.A. Ramos, R. Hermanns and J. Naranjo, 2004. Neotectonics in the foothills of the Southernmost Central Andes (37°–38°S). Evidence of the strike-slip displacement along the Antifñir-Copahue fault zone. *Tectonics* 23 TC 5008.
- Folguera, A. y V. A Ramos, 2000. Control estructural del Volcán Copahue: implicancias tectónicas para el arco volcánico cuaternario (36°-39°S): *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, v. 55, 229-244.
- Folguera, A., E. Rojas Vera, L. Vélez, J. Tobal, D. Orts, M. Agosto, A. Caselli and V.A. Ramos, 2016. A review of the geology, structural controls, and tectonic setting of Copahue Volcano, Southern Volcanic Zone, Andes, Argentina. F. Tassi et al. (eds.), *Copahue Volcano, Active Volcanoes of the World*, doi:10.1007/978-3-662-48005-2\_1.
- Folguera, A., V.A. Ramos y D. Melnick, 2002. Partición de la deformación en la zona del arco volcánico de los Andes neuquinos en los últimos 30 millones de años (36°-39°S). *Revista Geológica Chilena*, 29, 227-240.
- Galland, O., E. Hallot, P.R. Cobbold, G. Ruffet and J. deBremond d'Ars, 2007. Volcanism in a compressional Andean setting: a structural and geochronological study of Tromen volcano (Neuquén province, Argentina). *Tectonics* 26. doi:10.1029/2006TC002011.
- Giambiagi, L.B., F. Bechis, V. García and A. Clark, 2008. Temporal and spatial relationship between thick- and thin-skinned deformation in the Malargüe fold and thrust belt, southern Central Andes. *Tectonophysics* 459, 123-139.
- Gonzalez Díaz, E.F., 1972. Descripción geológica de la Hoja 27d San Rafael, Provincia de Mendoza. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 132: 1-127.
- González-Vidal D, A. Obermann, A. Tassara, K. Bataille, and M. Lupi, 2018. Crustal model of the Southern Central Andes derived from ambient seismic noise Rayleigh-wave tomography. *Tectonophysics*, Volume 744, 2, 215-226. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.004>
- Gutenberg, B. and C.F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of Seismic Society of America*, 34, 1985-1988.
- Haller, M.J. y C. Risso, 2011. La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) del 4 de septiembre de 2010. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (2), 295–305.
- Herrero Ducloux, A., 1946. Contribución al conocimiento geológico del Neuquén extrandino. *Boletín Informaciones Petroleras*.
- Hervé F., 1994. The southern Andes between 39° and 44° S latitude: the geological signature of a transpressive tectonic regime related to a magmatic arc. In: Reutter KJ, Scheuber E, Wigger PJ (eds) *Tectonics of the Southern Central Andes*. Springer, Berlin, 243–248.
- ICC, 2003. *International Building Code 2003 (IBC-2003)* International Code Council (ICC) Falls Church, VA, 631 pp.
- INPRES, 1982. *Microzonificación sísmica del Valle del Tulum*, Provincial de San Juan. Informe Técnico, Vol 2.
- INPRES, 1995. *Microzonificación sísmica de Mendoza y Gran Mendoza Informe Técnico*.
- INPRES, 1977. *Zonificación sísmica de la República Argentina*, Publicación Técnica Nº 5, San Juan, Argentina.
- Kendrik, E., M. Bevisa, R. Smalley Jr, B. Brooks, R. Barriga Vargas, E. Lauría and L. Souto Fortese, 2003. The Nazca–South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences* 16(2), 125-131 doi: 10.1016/S0895-9811(03)00028-2.
- Kochkin, V.G. and J.H Crandell, 2003. New Madrid seismic zone: overview of earthquake hazard and magnitude assessment based on fragility of historic structures. *Partnership for Advancing Technology in Housing*, PATH Research Center, Upper Marlboro, 110 pp.
- Kozłowski, E., R. Manceda y V.A Ramos, 1993. Estructura. En: Ramos, V.A. (Ed.), *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos (Mendoza), Relatorio I(18).
- Kozłowski, E.E., C.E Cruz y C.A. Sylwan, 1996. Geología estructural de la zona de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina, XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Buenos Aires.
- Lange, D., J. Cembrano, A. Rietbrock, C. Haberland, T. Dahm, and K. Bataille, 2008. First seismic record for intra-arc strike-slip tectonics along the Liquiñe- Ofqui fault zone at the obliquely convergent plate margin of the southern Andes. *Tectonophysics* 455, 14–24.
- Lapajne, J.K., B. Motnikar and P. Zupani, 2003. Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed seismicity. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 93, No. 6, 2502–2515.
- Lin, P. and C. Lee, 2008. Ground-Motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in northeastern Taiwan. *Bull. Seism. Soc. of America*, Vol. 98, No. 1, 220–240, doi: 10.1785/0120060002.

- Lundgren, P., T. Girona, S. Samsinov, V. Realmuto and C. Liang, 2018. Under the radar: New activity beneath the "Roof of Patagonia", Domuyo volcano, Argentina. *CoV* 10, Naples.
- McGuire, R. K. 1993. Computations of seismic hazard. *Annals of Geophysics*, 36(3-4).
- McGuire, R.K. 2001. Deterministic vs. Probabilistic earthquake hazards and risks. *Soil Dyn. Earthquake Engineering*, Vol. 21, 377-384.
- Melnick, D., A. Folguera, and V.A. Ramos, 2006. Structural control on arc volcanism: The Caviahue-Copahue complex, Central to Patagonian transition (38°). *Journal of South American Earth Sciences* 22, 66-88.
- Messenger, G., B. Niviere, , J. Martinod, P. Lacan and J.P. Xavier, 2010. Geomorphic evidence for plio-quaternary compression in the andean foothills of the southern Neuquen basin, Argentina. *Tectonics* 29 (4).
- Mosquera, A. and V.A. Ramos, 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment, *in* Kay, S.M., and Ramos, V.A., eds., *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°–39°S lat): Geological Society of America Special Paper 407*, 97–123, doi: 10.1130/2006.2407(05).
- Orosco Segura, L.E.y M. Haarala-Orosco, 2010 Estimación de la peligrosidad sísmica que afecta a la ciudad de Salta. Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática, num. 5. p. 72-106.  
[http://bibliotecas.ucasal.edu.ar/opac\\_css/index.php?lvl=notice\\_display&id=60537](http://bibliotecas.ucasal.edu.ar/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=60537).
- Ortiz Panchi, O., 2013. Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador. Máster en geología ambiental y recursos geológicos. Facultad de Ciencias Geológicas Universidad Complutense de Madrid.
- Pesicek, J.D., E.R. Engdahl, C.H. Thurber, H.R. De Shon and D. Lange, 2012. Mantle subducting slab structure in the region of the 2010 *M* 8.8 Maule earthquake (30–40°S), Chile. *Geophys. J. Int.* doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05624.x.
- Ramírez Rayo, M. S., A. Castañón, J. Plaza and B. Benito Oterino, 2008. Proyecto Expel Sistema experto de análisis probabilista de la peligrosidad sísmica. Consejo de Seguridad Nuclear. Documentos I+D. Ref: DID-16.08.
- Ramos, V.A, T. Jordan, R. Allmendinger, C. Mpodozis, S. Kay, J. Cortés and M. Palma, 1986. Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics* 5 (6), 855-880.
- Ramos, V.A. 1988. Tectonics of the Late Proterozoic–Early Paleozoic: a collisional history of Southern South America. *Episodes* 11(3), 168-174.
- Ramos, V.A., 1999a. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. *Anales* 29(3), 41-96.
- Ramos, V.A., 1999b. Los depósitos sinorogénicos terciarios de la región andina. En *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. *Anales* 29 (22), 651-682.
- Ramos, V.A. and S. Kay, 2006. Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35–39 S latitude). *Geological Society of America, Special Paper*, 407, 1-18.
- Sigismondi, M. E., 2012. Estudio de la deformación litosférica de la cuenca Neuquina: estructura termal, datos de gravedad y sísmica de reflexión. Tesis doctoral. Facultad de Cs. Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 381 pp.  
[http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis\\_n5361\\_Sigismondi](http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n5361_Sigismondi).
- Silvestro, J. y M. Zubiri, 2008. Convergencia oblicua: Modelo estructural alternativo para la Dorsal neuquina (39° S)-Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 63: 49-64.
- Sruoga, P. y V. C. Consoli, 2011. El Volcán Copahue. RELATORIO DEL XVIII CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO, 613-620.
- Sruoga, P., M. Elissondo, J. Fierstein, S. García, R. Gonzalez, R. y M. Rosas, 2015. Actividad explosiva postglacial del Cerro Barrancas, Complejo Volcánico Laguna del Maule (36° 05'S, 70° 30'O). Peligrosidad en Argentina. XIV Congreso Geológico Chileno, Actas At4St11013. La Serena, Chile.91.
- Stern, C., 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile*, 31(2), 161-206. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082004000200001>.
- Tassara A. y G. Yañez, 2010. Relación entre el espesor elástico de la litosfera y la segmentación tectónica del margen andino (15-47°S). *Rev. geol. Chile* vol.30, 2, 159-186. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-02082003000200002>.
- USACE, 1995. *Earthquake Design and Evaluation for Civil Works Projects*. (USACE). Engineering Manual 1110-2-1804.
- Vergani, G., A. Tankard, H. Belotti and H. Welsink, 1995. Tectonic evolution an paleogeography of the Neuquén basin, Argentina. *Petroleum system of South America*, American Association Petroleum Geologists, *Memoir* 62, 383 - 402.

- Wang, J.P., D. Huang, S. Chang and Y. Wu, 2014. New evidence and perspective to the Poisson process and earthquake temporal distribution from 55,000 events around Taiwan since 1900. *Natural Hazards Review*, 15(1), 38–47. doi:10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000110.
- Yrigoyen, M., 1999. Situación de la Argentina en el marco geológico de América del Sur. En *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Buenos Aires. *Anales* 29 (2), 35–39.
- Yuan, X., G. Asch, A. Bataillek., G. Bock, M. Bohm, H. Echtler, R. Kind, O. Oncken and I. Wólbern, 2006. Deep seismic images of the Southern Andes. En: Kay, S.M. & Ramos, V.A. (Eds.): *Evolution of an Andean Margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S)*. Geological Society of America, Special Paper 407, 61 -72.

## Anexo. Aceleraciones esperadas para Sismos de Diseño tipos: A, B, E, F y G

Aceleraciones - Sismo de Diseño A					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00199	0.00192	0.00133	0.00145	0.00041
Donovan	0.00864	0.00845	0.00645	0.00687	0.00286
Castano	0.00934	0.00912	0.00668	0.00717	0.00266
Patwardhan et al.	0.00187	0.00182		0.00121	0.00029
Woodward-Clyde	0.00292	0.00287		0.00187	0.00046
Gil et al.	0.00640	0.00634	0.00365	0.00405	0.00111
Crouse (1991)	0.00263	0.00236		0.00114	0.00012
Crouse (1987)	0.00599	0.00574		0.00491	0.00172
Ac - prom (%g)	<b>0.0050</b> <b>(0.00302)</b>	<b>0.0048</b> <b>(0.00298)</b>	<b>0.0045</b> <b>(0.00254)</b>	<b>0.0036</b> <b>(0.00253)</b>	<b>0.0012</b> <b>(0.00109)</b>

Aceleraciones - Sismo de Diseño B					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00146	0.00173	0.00273	0.00178	0.00049
Donovan	0.00709	0.00794	0.01050	0.00793	0.00323
Castano	0.00758	0.00861		0.00843	0.00306
Patwardhan et al.	0.00148	0.00176	0.00228	0.00155	0.00037
Woodward-Clyde	0.00240	0.00283	0.00337	0.00239	0.00060
Gil et al.	0.00563	0.00652	0.00664	0.00515	0.00147
Crouse (1991)	0.00164	0.00227	0.00315	0.00166	0.00019
Crouse (1987)	0.00417	0.00487	0.00824	0.00571	0.00186
Ac - prom (%g)	<b>0.0039</b> <b>(0.00256)</b>	<b>0.0046</b> <b>(0.00283)</b>	<b>0.0053</b> <b>(0.00320)</b>	<b>0.0043</b> <b>(0.00286)</b>	<b>0.0014</b> <b>(0.00121)</b>

Aceleraciones - Sismo de Diseño E					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00729	0.01149	0.00773	0.01269	0.01359
Donovan	0.02226	0.03073	0.02256	0.03213	0.03448
Castano	0.02827	0.04080	0.02749	0.04105	0.04617
Patwardhan et al.	0.01010	0.01677	0.00890	0.01576	0.01965
Woodward-Clyde	0.01612	0.02645	0.01356	0.02384	0.03067
Gil et al.	0.03458	0.05426	0.02721	0.04629	0.06141
Crouse (1991)	0.02293	0.03969	0.01785	0.03653	0.05059
Crouse (1987)	0.01274	0.01751	0.01640	0.02281	0.02033
Ac - prom (%g)	<b>0.0193</b> <b>(0.00940)</b>	<b>0.0297</b> <b>(0.01457)</b>	<b>0.0177</b> <b>(0.00761)</b>	<b>0.0289</b> <b>(0.01205)</b>	<b>0.0346</b> <b>(0.01687)</b>

Aceleraciones - Sismo de Diseño F					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.01008	0.01703	0.01062	0.01883	0.02618
Donovan	0.02807	0.04068	0.02829	0.04258	0.05503
Castano	0.03693	0.05636	0.03553	0.05649	0.07904
Patwardhan et al.	0.01471	0.02609	0.01286	0.02453	0.04042
Woodward-Clyde	0.02335	0.04077	0.01950	0.03681	0.06197
Gil et al.	0.04872	0.07991	0.03837	0.06896	0.11347
Crouse (1991)	0.03574	0.06335	0.02802	0.05921	0.10329
Crouse (1987)	0.01570	0.02236	0.02028	0.02942	0.03038
Ac - prom (%g)	<b>0.0267</b> (0.01323)	<b>0.0433</b> (0.02188)	<b>0.0242</b> (0.01008)	<b>0.0421</b> (0.01797)	<b>0.0637</b> (0.03255)

Aceleraciones - Sismo de Diseño G					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.01290	0.02294	0.01350	0.02539	0.04302
Donovan	0.03346	0.05032	0.03359	0.05271	0.07843
Castano	0.04523	0.07201	0.04316	0.07197	0.11883
Patwardhan et al.	0.01948	0.03617	0.01691	0.03401	0.06798
Woodward-Clyde	0.03075	0.05604	0.02555	0.05064	0.10227
Gil et al.	0.06255	0.10510	0.04936	0.09161	0.16976
Crouse (1991)	0.04874	0.08684	0.03849	0.08208	0.15961
Crouse (1987)	0.01833	0.02678	0.02376	0.03552	0.04067
Ac - prom (%g)	<b>0.0339</b> (0.01720)	<b>0.0570</b> (0.02923)	<b>0.0305</b> (0.01272)	<b>0.0555</b> (0.02414)	<b>0.0976</b> (0.04927)

Aceleraciones - Sismo de Diseño A		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00112	0.00124
Donovan	0.00602	0.00638
Castano	0.00644	0.00678
Gil et al.	0.00530	0.00519
Crouse (1991)	0.00333	0.00602
Crouse (1987)	0.00434	0.00586
Ac - prom (%g)	<b>0.0044</b> (0.00198)	<b>0.0052</b> (0.00203)



Aceleraciones - Sismo de Diseño B		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00133	0.00147
Donovan	0.00681	0.00719
Castano	0.00743	0.00779
Gil et al.	0.00650	0.00633
Crouse (1991)	0.00460	0.00824
Crouse (1987)	0.00529	0.00711
Ac - prom (%g)	0.0053 (0.00221)	0.0064 (0.00248)

Aceleraciones - Sismo de Diseño E		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00525	0.00479
Donovan	0.01850	0.01717
Castano	0.02428	0.02204
Gil et al.	0.03565	0.03038
Crouse (1991)	0.05505	0.09885
Crouse (1987)	0.02603	0.03231
Ac - prom (%g)	0.0275 (0.01682)	0.0343 (0.03317)

Aceleraciones - Sismo de Diseño F		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00737	0.00666
Donovan	0.02355	0.02173
Castano	0.03219	0.02900
Gil et al.	0.05086	0.04325
Crouse (1991)	0.08780	0.15848
Crouse (1987)	0.03671	0.04539
Ac - prom (%g)	0.0397 (0.02760)	0.0508 (0.05468)

Aceleraciones - Sismo de Diseño G		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00952	0.00856
Donovan	0.02828	0.02597
Castano	0.03987	0.03572
Gil et al.	0.06584	0.05597
Crouse (1991)	0.12161	0.22079
Crouse (1987)	0.04719	0.05825
Ac - prom (%g)	0.0521 (0.03892)	0.0675 (0.07736)



---

## **AVISO DE PROYECTO**

**ÁREA DE CONCESIÓN  
PASO DE LAS BARDAS NORTE**

**Perforación de pozo  
YPF.MdN.PBN.x-101(h)  
(Paso de las Bardas Norte)**

**PROVINCIA DE MENDOZA**

**JULIO DE 2022**



YPF S.A.

Provincia de Mendoza

**Apartado Fractura Hidráulica**  
**Decreto Provincial N° 248/18 Dirección General de Irrigación (DGI)**  
**Perforación de pozo**  
**YPF.MdN.PBN.x-101(h) (Paso Bardas Norte)**  
**Área de Concesión Paso de las Bardas Norte**  
**Provincia de Mendoza**

**ARTÍCULO 5° Decreto 248/18**

En el presente apartado se detalla la información requerida en el Decreto 248/18 para el procedimiento de estimulación a través de fractura hidráulica en formaciones No convencionales.

- a) Declaración jurada sobre la afectación negativa de acuíferos; de fuentes de provisión de agua de pobladores, de actividades agrícolas y ganaderas; de caudal ecológico; áreas naturales protegidas o corredores biológicos. [DECLARACIÓN JURADA](#)
- b) Declaración jurada con la información del volumen estimado y la fuente de provisión de agua a utilizar durante las etapas de perforación, explotación y terminación de pozos, debiendo acreditar fehacientemente la autorización del Departamento General de Irrigación a tales efectos. [DECLARACIÓN JURADA](#)

YPF S.A. ha gestionado con el Departamento General de Irrigación todos los permisos y declaraciones juradas pertinentes en relación al proyecto de Perforación del pozo YPF.MdN.PBN.x-101(h) Aguada Negra en el Área de Concesión Paso de las Bardas Norte. En Anexos se adjunta nota de solicitud al DGI [NOTA 1177-2022 DGI PRESENTACIÓN PROYECTO NOC SOLICITA PERMISO AGUA DULCE.](#)

- c) Acreditar la inscripción ante el Registro Único Petrolero (RUP) del Departamento General de Irrigación y haber obtenido las autorizaciones pertinentes de conformidad con la Resolución N° 778/96 y modificatorias del mencionado organismo hídrico.

El Área de Concesión Paso de las Bardas Norte se encuentra inscripto en el Registro Único Petrolero (RUP) del Departamento General de Irrigación, bajo número RUP-800027. Se adjunta [RENOVACIÓN INSCRIPCIÓN EN EL PROGRAMA DE MONITOREO, CONTROL Y VIGILANCIA](#)

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

## 1 CAPÍTULO 1: DE LOS ESTUDIOS PREVIOS\_ ARTÍCULO 7º

### 1.1 DATOS DE LOS POZOS

#### a) CARACTERÍSTICAS DE POZO NUEVO

Coordenadas - Sistema de Coordenadas Gauss Krüger Faja 2				Coordenadas Geográficas	Cota (msnm)
Pozo	Chos Malal 1914	Campo Inchauspe 69	POSGAR 07		
YPF.MdN.PBN.x-101(h)	x: 5895979,99 y: 2457549,53	x: 5896029,31 y: 2457714,19	x: 5895824,15 y: 2457623,59	-37,08582S -69,47661O	915,08

DATOS GENERALES DE POZOS	
AREA:	Paso Bardas Norte
TIPO DE POZO:	Exploratorio PBN.x-101(h)
OBJETIVO:	Explorar potencial reservorio en formación Vaca Muerta

#### b) TIPO DE POZO.

El pozo a perforar será un pozo horizontal de 1000 m de rama dirigido hacia el sur, (Az: 180° e inclinación 90°-92°). El nivel de navegación dentro de la Fm. Vaca Muerta se definirá luego de la perforación del pozo piloto vertical aledaño ya perforado, YPF.MdN.AN.x-101(p+h), Aguada Negra.

#### c) PROFUNDIDAD DE LA FORMACIÓN A FRACTURAR, ESPESOR, COLUMNA ESTRATIGRÁFICA, CARACTERÍSTICAS DE PERMEABILIDAD DE LAS PRINCIPALES FORMACIONES SELLO.

La profundidad final estimada para el pozo será:

- ✚ Pozo horizontal con rama de 1000 m (TD 3480 m MD)
- ✚ Profundidad de la formación a fracturar: 2495 m (TVD)
- ✚ Espesor Vaca Muerta 310 m

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

FORMACIÓN	TVD (m bbbp)	ESPESOR (m)
Gr. Neuquén	0	865
Fm Rayoso	865	135
Fm Rayoso Secc. Evaporítica	1000	205
Mb La Tosca	1205	45
Mb Troncoso sup.	1250	170
Mb Troncoso inf.	1420	60
Mb Chorreado	1480	70
Fm Agrio-Centenario	1550	177
Mb Avilé	1727	48
Fm Agrio inf.	1775	225
Fm Mulichinco	2000	210
Fm Quintuco	2210	20
Fm Vaca Muerta	2230	1250*
TD	3480	

\*espesor a navegar considerando rama horizontal

Tabla N°1: Pases previstos pozo PBN.x-101(h)

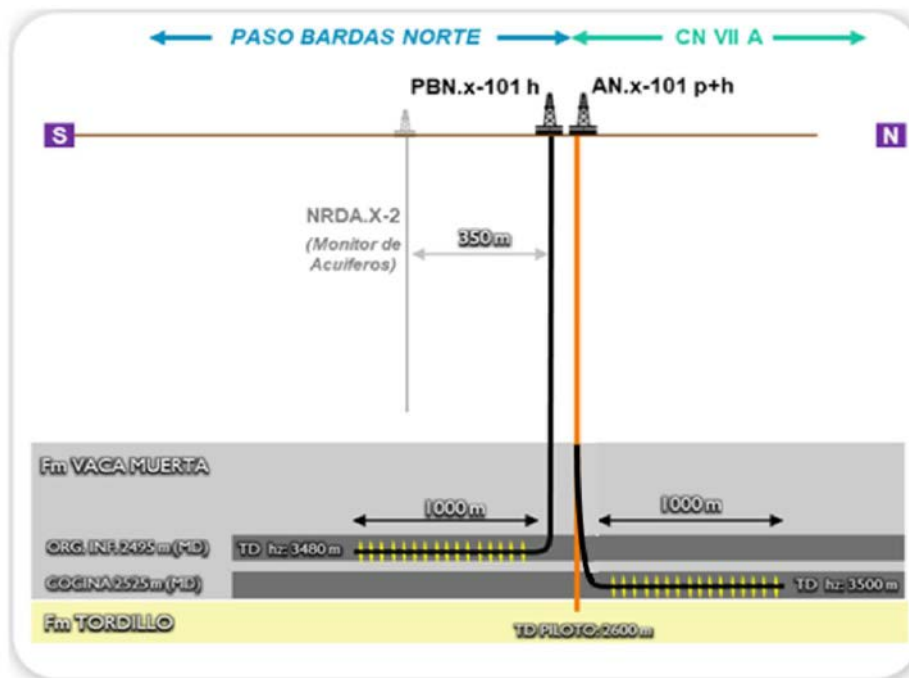


Figura N° 1: Esquema Profundidad final y formación a fracturar.

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

Características de permeabilidad de las principales formaciones sello.

La Fm Vaca Muerta, al tratarse de un reservorio no convencional, es considerada además roca sello, principalmente por su baja permeabilidad.

En el ámbito de las propuestas exploratorias, los datos petrofísicos de laboratorio más cercanos pertenecen a los testigos laterales tomados en el pozo YPF.MdN.PBN.e-38 (Paso Bardas Norte), ubicado a 5 km de los pozos propuestos. Los mismos arrojan un valor promedio de permeabilidad de 0,2 mD, con valores entre 0,002 y 2,3 mD.

Dichos datos son los únicos cuantitativos cercanos a la zona de estudio. Sin embargo, de forma cualitativa, se puede interpretar a partir del análisis de ensayos a pozo abierto (DST) registrados en los pozos YPF.Md.NEAl.x-1 (El Alazán) e YPF.Md.NEMo.x-1 (El Moro), que la permeabilidad de esta unidad es de regular a muy pobre. Los sondeos mencionados se encuentran a 4,9 km y 6,6 km de distancia de los pozos propuestos respectivamente.

**d) PROFUNDIDAD DE LOS ACUÍFEROS LIBRES Y/O CONFINADOS Y DISTANCIA A FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES.**

**Profundidad de los acuíferos libres y/o confinados**

Según estudios realizados en el área de estudio la profundidad de los niveles acuíferos identificados aumenta principalmente en el sector norte del área de estudio (CAm-norte) hasta alrededor de 550 mbnt en el extremo NO de CAm, hallándose en el orden de 200 a 250 mbnt en la zona sur (bloque PBN) y dentro de los primeros 150 m en el sector oeste (ChLSS). Ver punto 8.2 Niveles acuíferos con menos de 6.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de conductividad del Estudio Hidrogeológico en los bloques Cam, PBN, CN VII/A y ChLSS.

En función de los estudios realizados se observa que en el área se encuentran acuíferos de tipo confinados o semi-confinados.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

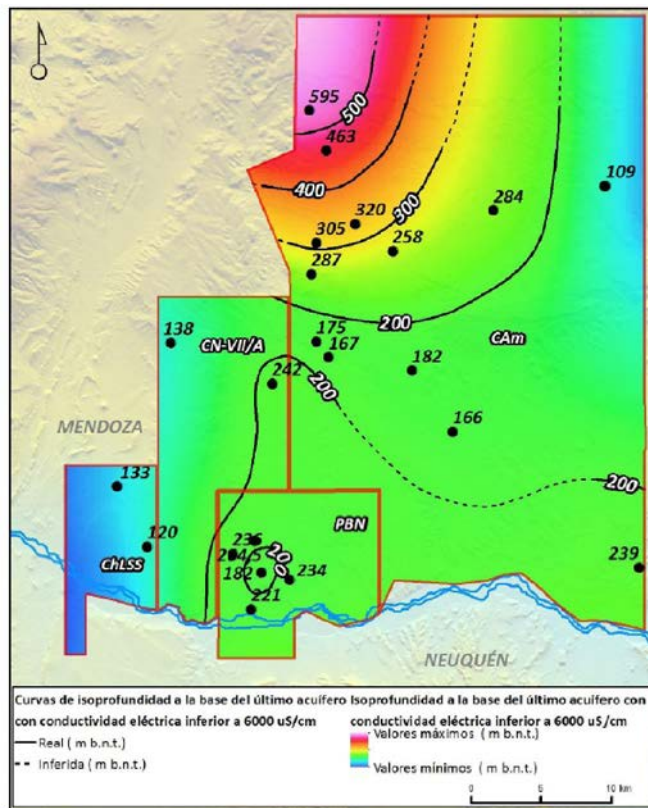


Figura 8.6: Profundidad del último nivel con resistividad  $R_{wa} > 1,67$ .

Con la cañería guía serán aislados los posibles acuíferos existentes (no se identifican acuíferos con conductividades menores a 6000  $\mu\text{m}/\text{cm}$  en profundidades mayores a 200 mbbp en los pozos cercanos).

### Distancia a fuentes de aguas superficiales

Respecto a la distancia de los cuerpos de agua superficiales al pozo en estudio la misma es de aproximadamente:

9.300 m al Norte del Río Colorado.



e) ESQUEMA DEL POZO.

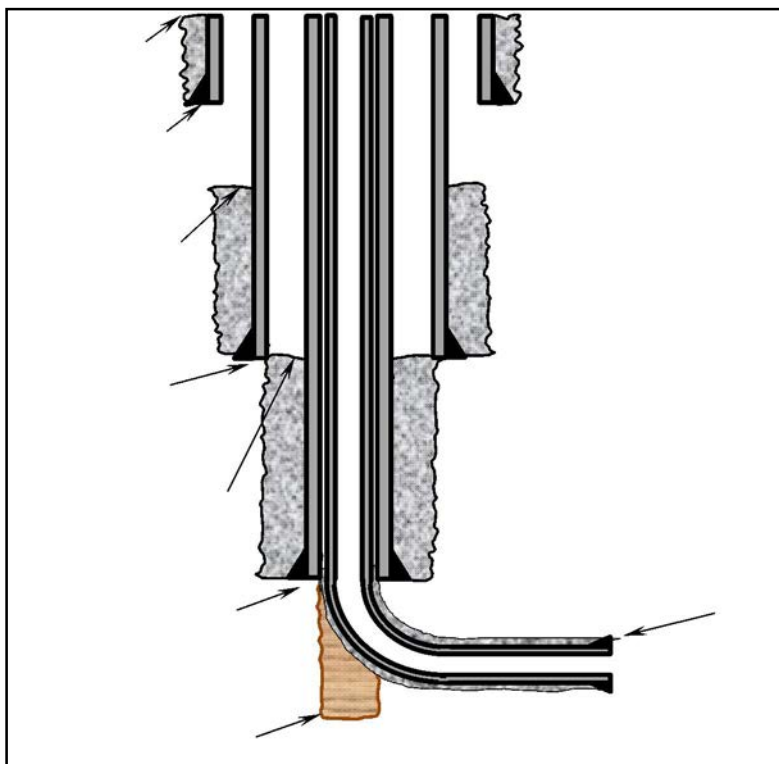


Figura N° 1: Esquema de cañerías y programa de cementación del pozo proyectado

- f) **EN EL CASO DE AMPLIACIONES DE LOCACIÓN: PRESENTAR CROQUIS A ESCALA DELINEANDO LOCACIÓN ORIGINAL Y AMPLIACIÓN CON ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL SUELO REMOVIDO O AFECTADO.**

No Aplica, el futuro pozo se perforará en una locación nueva

- g) **LOS POZOS NO CONVENCIONALES DE DESARROLLO DEL YACIMIENTO, DEBERÁN SER DISEÑADOS DE TAL FORMA DE OPTIMIZAR LA UTILIZACIÓN DE UNA LOCACIÓN APTA PARA CONTENER MÚLTIPLES POZOS, MINIMIZANDO LOS IMPACTOS PRODUCIDOS POR EL MOVIMIENTO DE SUELOS DE LAS MISMAS Y DE SUS ACCESOS.**

En la futura locación donde se perforará el pozo YPF.MdN.PBN.x-101(h) (Paso Barda Norte), se prevé además la perforación del pozo YPF.MdN.AN.x-101(pil+h) (Aguada Negra).

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

## **1.2 DATOS DE LA INTEGRIDAD DE LOS POZOS EXISTENTES**

- h) ESTADO DE LA CEMENTACIÓN PERFILES CBL Y VDL.**
- i) EN EL CASO DE UN POZO REPROFUNDIZADO PERFIL DE CORROSIÓN.**
- j) PRUEBA DE HERMETICIDAD DE CASING.**
- k) EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN DEL CASING.**
- l) PRUEBA DE INTEGRIDAD**

En el ámbito del pozo exploratorio en estudio, los datos petrofísicos de laboratorio más cercanos pertenecen a los testigos laterales tomados en el pozo YPF.MdN.PBN.e-38 (Paso Bardas Norte), ubicado a 5 km de los pozos propuestos. Los mismos arrojan un valor promedio de permeabilidad de 0,2 mD, con valores entre 0,002 y 2,3 mD.

Dichos datos son los únicos cuantitativos cercanos a la zona de estudio. Sin embargo, de forma cualitativa, se puede interpretar a partir del análisis de ensayos a pozo abierto (DST) registrados en los pozos YPF.Md.NEAl.x-1 (El Alazán) e YPF.Md.NEMo.x-1 (El Moro), que la permeabilidad de esta unidad es de regular a muy pobre. Los sondeos mencionados se encuentran a 4,9 km y 6,6 km de distancia de los pozos propuestos respectivamente.

## **1.3 DATOS DEL PROCESO DE FRACTURA**

- m) DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS A REALIZAR, TIEMPOS APROXIMADOS DE CADA UNA DE LAS MISMAS, DETALLE DE MAQUINARIAS A UTILIZAR, REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA.**

### **TAREAS A REALIZAR**

- Estimulación hidráulica

La estimulación hidráulica propiamente dicha es un proceso por el cual se fractura un reservorio saturado en hidrocarburos, para mejorar la capacidad de drenaje de los mismos. Físicamente hablando, se seleccionará dentro del pozo vertical, un intervalo que suele tener entre 5 y 40 metros de altura en la gran mayoría de los casos y se punza para establecer una conexión entre el pozo y el reservorio.

Seguidamente, se montará en locación y set de mezcladores, bombecedores de alta presión y válvulas de boca de pozo. Hecho este montaje, se procede a iniciar el bombeo hacia el pozo con agua y aditivos químicos para producir la rotura del reservorio en dicho intervalo punzado. Posteriormente, se irá subiendo caudal en la medida que la presión lo permita hasta un caudal de diseño que puede rondar entre los 20 y 70 bpm.

El tratamiento como tal, generalmente consiste en una primera etapa de bombeo de agua con aditivos químicos, donde además se suele bombear arena malla 100 (finas). Esta etapa, suele ser entre un 20 y un 50% del total del tratamiento. Durante la segunda mitad del tratamiento, se bombea geles de alta viscosidad y arenas de mayor granulometría, aquí es donde se suele bombear el agente sostén principal del trabajo y a mayores concentraciones. Por esto último, es que resulta necesario utilizar un fluido de mayor viscosidad, capaz de transportar este agente sostén.

**YPF S.A.****Provincia de Mendoza**

Para la terminación del pozo se plantea la ejecución de 17 etapas de estimulación hidráulica con la finalidad de cubrir la totalidad del tramo horizontal perforado en la zona de interés (1.000 m). La longitud individual de cada etapa de fractura hidráulica se planifica en 60 m.

Cuando se termine de estimular la última etapa, se lavará el agente apuntalante y se rotarán los tapones. Inmediatamente después de terminada esta operación comenzará el período de flowback. Finalmente, se procederá a ensayar el pozo. El ensayo de terminación, consistirá en evaluar el potencial del pozo mediante la medición de caudales de hidrocarburo, agua inyectada y/o agua de formación, y la evolución de la presión.

- Programa de Fractura

Para el pozo PBN.x-101(h) se espera realizar 17 etapas de fractura.

Dimensionamiento	
Cantidad de etapas por pozo	17
Presión de superficie	11000 psi

**Tabla N°2:** Características del programa de Fractura.

Consumo por Etapa	
Agua	1500 m <sup>3</sup>
Agente Sostén	240 Tn

**Tabla N°3:** Consumo de agua durante el programa de Fractura.

Tipo de Arena	Malla
Arena Natural	50/120
Arena Natural	30/140
Arena Natural	30/70

**Tabla N°4:** Tipo de arena del programa de Fractura.

Sistema de Fluido	Rango de volúmenes por etapa (m <sup>3</sup> )	Reductor de Fricción	Poliacridamida	Gelificante	Buffer	Bactericida	Ruptor	Reticulante	Surfactante
Slickwater	700 - 1000	x				x			x
Gel Lineal	300 - 450			x	x	x	x		x
Gel Crosslinkado	150 -350			x	x	x	x	x	x
HVFR	600 -800		x			x	x		x

**Tabla N°5:** Productos del programa de Fractura.

Aditivo	Rango de uso (lb/Mgal)
Poliacridamida	7 - 30
Reductor de Fricción	3 - 6
Gelificante	15 - 30
Reticulante	0.2 - 0.8
Buffer	0.5 - 1
Ruptor	0.1 - 0.5
Surfactante	0.3 - 1

**Tabla N°6:** Productos del programa de Fractura.

**YPF S.A.****Provincia de Mendoza**

- Consumo de agua de estimulación

En esta acción se consideran los volúmenes de agua a utilizar durante la acción de estimulación, se prevé la utilización de agua dulce proveniente de un punto de toma del Río Colorado. La autorización del punto de toma del Río se gestionará con el DGI y se informará previamente a vuestra dependencia. Dicho punto de toma se ubicará en cercanía de alguna de las siguientes locaciones PBN-31, PBN-23 y PBN-51 (Punta de las Bardas Norte), considerando la conveniencia en función de la estacionalidad del río.

El agua requerida para la estimulación hidráulica (fractura) se almacenará en un tanque de reserva (tanque australiano) de 5000 m<sup>3</sup> de capacidad a montar en alguna de las locaciones mencionadas anteriormente, en cercanía al punto de toma de agua del Río Colorado. Desde éste tanque se rebombeará el agua a través de cañerías flexibles (Flexipipes). Esta cañería se tenderá preferiblemente sobre terreno natural para evitar cruce de caminos o bien en laterales de caminos hasta un segundo tanque, de iguales características, a montar en la locación del pozo en estudio PBN.x-101(h).

Es importante mencionar que ambos tanques australianos serán montados previamente para la perforación del pozo AN.x-101(pil+h), con el que el pozo en estudio compartirá locación.

Se estima un consumo de agua de aproximadamente 25.500 m<sup>3</sup> durante todas las etapas de estimulación del pozo en estudio.

- Manejo de flowback

La cantidad de agua de flowback esperada es de aproximadamente 7500 m<sup>3</sup>, el cual será enviado a las instalaciones del circuito de proceso productivo y gestionado como agua de producción. A continuación, se muestra un esquema con el proceso de disposición transitoria y final que tendrá el flowback.

Gestión del agua de retorno empleada en estimulación hidráulica

1. Almacenamiento transitorio en la locación

El agua de retorno (flowback), será almacenada, de maneras transitorias en la locación, en receptáculos metálicos (piletas) de 60 m<sup>3</sup> de capacidad, debidamente impermeabilizadas. Estos receptáculos (piletas) contarán con descarga – conexión para camión de evacuación de fluidos con acople rápido. Desde aquí, el agua será trasladada, en camiones cisterna.

2. Descripción del flujo de agua de flowback

El agua de retorno (flowback) proveniente de las operaciones se gestionará de la siguiente manera:

Una vez que el pozo comience a producir, período de flowback, el fluido del pozo será conducido en principio, hacia un separador de arena, luego hacia un choke-manifold a fin de reducir la presión y por último, la producción de gas, agua y condensado será dirigida a un separador trifásico instalado en la locación.

El gas del separador será derivado hacia la fosa de quema.

La producción de líquidos de salida del separador, será conducida a piletas metálicas en la locación y transportada en camiones hacia la PTC Chihuido de las Salinas Centro, durante 20 días aproximadamente.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

### TIEMPOS APROXIMADOS

Es importante destacar que con PADs de 2 pozos se realizan aproximadamente 6.5 etapas/día de promedio, con picos de 8 etapas/día.

### DETALLE DE MAQUINARIAS A UTILIZAR

Equipamiento:

de la UAF: Trailers, luminarias, piletas, sampi, manlift  
de fractura: Bombas HP, líneas HP, unidad hidratadora, blender, sandking  
de flowback: Choke manifold, trash catcher, SSV, desander, FPDO  
de rotado de TPNs: CTU, MDF  
Grua  
Frac Stack

### REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA

<b>Personal afectado a la etapa de perforación</b>	Company Rep	2
	OGE Wellsite	2
	WL Plug&Perf	8
	Op htas – plug	2
	Op Grúa	2
	UAF	6
	Flowback	6
	Estimulación	24
	Cabezales	4
	Stack	4
	Company Rep	2
	OGE Wellsite	2

#### n) ESQUEMA DE FRACTURAS.

Esquema de Fractura	
Largo de etapa	60 m
Cantidad de clusters	10

Concentración de arena	Caudal	Agente Sostén
0.3 - 2.00 ppa	80 - 90 bpm	Natural
2.00 - 2.5 ppa	80 - 90 bpm	Natural

#### o) NÚMERO DE FRACTURAS, PRESIÓN APROXIMADA DE FRACTURA, CONSUMO DE AGUA APROXIMADO POR FRACTURA.

Dimensionamiento	
Cantidad de etapas por pozo	17
Presión de superficie	11000 psi

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Consumo por Etapa	
Agua	1500 m <sup>3</sup>
Agente Sostén	240 Tn

Tipo de Arena	Malla
Arena Natural	50/120
Arena Natural	30/140
Arena Natural	30/70

**p) UN ANÁLISIS DE INTERCOMUNICACIÓN CON POZOS ADYACENTES QUE DEBE CONSIDERAR TODA LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y GEOFÍSICA RELEVANTE.**

Se modela el alcance lateral y vertical que van a tener las fracturas hidráulicas que se realizarán en los pozos, y en la etapa de piloto y/o desarrollo del campo, se establece un distanciamiento tal entre los pozos horizontales que prevengan la interferencia entre pozos adyacentes. En los yacimientos NOC de Vaca Muerta actualmente en explotación en Neuquén se usa normalmente un distanciamiento entre pozos de 300 metros. De todas formas, como se ha dicho, este estudio se actualiza una vez que se decida pasar a la fase piloto.

Para el caso de los pozos exploratorios de este proyecto, dada la distancia horizontal de más de 400m y vertical de 250 m entre la TD del pozo más próximo y el nivel estimado de navegación y su fractura hidráulica más cercana; no se producirían interferencias de pozo, según los modelos de esfuerzos y fractura generados, y de acuerdo a los antecedentes conocidos por la empresa en el ámbito de desarrollo actual.

**q) DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE PRESIÓN A REALIZAR PREVIO A LA FRACTURA EN EL REVESTIMIENTO DEL POZO, LAS TUBERÍAS QUE SE VAN A UTILIZAR, LAS LÍNEAS DE INYECCIÓN, VÁLVULAS ASOCIADAS, CABEZA DE POZO Y TODO OTRO COMPONENTE DEL SISTEMA INVOLUCRADO EN DICHAS OPERACIONES. CONTIENIENDO PRESIÓN MÁXIMA, TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PRUEBA A ESA PRESIÓN.**

Las PHs de integridad se realizaran a 13200 psi (~1200 + 10%). La prueba debe registrar 10 minutos estables, por lo que en general desde el inicio del bombeo hasta el desfogue insume entre 15 minutos y media hora.

Por parte del equipamiento, deberá ser categoría 15.000 psi para operar en estos valores. Este rating incluye al cabezal (o camisa de fractura), las líneas de superficie, y el equipamiento de bombeo. El sistema de bombeo generalmente tiene 2 cortes, uno electrónico seteado a la presión máxima de trabajo, y otro mecánico asociado a la protección de los equipos (seteado en este caso por debajo de los 15kpsi).

**1.4 DATOS DEL RECURSO HÍDRICO A UTILIZAR:**

**r) ORIGEN DEL AGUA DE FRACTURA, CANTIDAD TOTAL A UTILIZAR.**

El agua dulce que se empleará durante todas las etapas del proyecto se obtendrá en un punto de toma del Río Colorado, el cual será ubicado en cercanía de las locaciones de los pozos PBN-31, PBN-23 y PBN-51 (Punta de las Bardas Norte), en función de la estacionalidad del río.

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

Durante la etapa de estimulación hidráulica el volumen de agua a emplear será de aproximadamente 25.500 m<sup>3</sup>.

Para la estimulación hidráulica se prevé la utilización de agua dulce proveniente de un punto de toma del río Colorado. La misma se almacenará en un tanque de reserva (tanque australiano) de 5000 m<sup>3</sup> de capacidad a montar en alguna de los siguientes pozos PBN-31, PBN-23 y PBN-51 (Punta de las Bardas Norte), en cercanía al punto de toma de agua. Desde este tanque se rebombeará el agua a través de cañerías flexibles (Flexipipes). En caso de ser necesario se podrá montar un tercer tanque de almacenamiento en la locación del pozo abandonado RDA.x-2 (Rincón del Álamo), ubicado a aproximadamente 500 m al Oeste de la locación del pozo en estudio.

En virtud de los análisis de agua y ensayos realizados, se determinó la compatibilidad y óptima dosificación del reductor de fricción con la muestra de agua que se utilizará durante la operación. Se utilizará el agua de inyección disponible al momento hasta un 50%.

**s) PERMISO DE USO DE AGUA POR PARTE DE LA AUTORIDAD COMPETENTE.**

El DGI evaluará la sustentabilidad hídrica para extraer agua superficial para ser utilizada como agua de fractura. La autorización de extracción quedará sujeta a la disponibilidad del recurso y siempre que no afecte derechos adquiridos de terceros.

YPF S.A. ha presentado al DGI la solicitud de permiso de uso de agua a través de la nota N° 1177-2022 Se adjunta [NOTA 1177-2022 DGI PRESENTACIÓN PROYECTO NOC SOLICITA PERMISO AGUA DULCE.](#)

Por lo expuesto anteriormente dicho permiso de uso de agua se encuentra en trámite.

**t) ALMACENAMIENTO DEL AGUA DE FRACTURA, UBICACIÓN, TIPO DE PILETA, DESTINO FINAL, MOVIMIENTOS DE SUELO.**

El agua requerida para la estimulación hidráulica (fractura) se almacenará en un tanque de reserva (tanque australiano) de 5000 m<sup>3</sup> de capacidad a montar en alguna de las siguientes locaciones PBN-31, PBN-23 y PBN-51 (Punta de las Bardas Norte), en cercanía al punto de toma de agua del Río Colorado y considerando la estacionalidad del río. Desde este tanque se rebombeará el agua a través de cañerías flexibles (Flexipipes). Esta cañería se tenderá preferiblemente sobre terreno natural para evitar cruce de caminos o bien en laterales de caminos hasta un segundo tanque, de iguales características, a montar en la locación del pozo en estudio. En caso de ser necesario se podrá montar un tercer tanque de almacenamiento en la locación del pozo abandonado NRDA.x-2 (Rincón del Álamo), ubicado a aproximadamente 500 m al Oeste de la locación del pozo en estudio.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

### 1.5 DATOS DE LOS ADITIVOS A UTILIZAR EN LA ESTIMULACIÓN

#### u) PRODUCTOS QUÍMICOS A UTILIZAR, DESCRIPCIÓN, VOLÚMENES, CONCENTRACIONES.

Sistema de Fluido	Rango de volúmenes por etapa (m <sup>3</sup> )	Reductor de Fricción	Poliacrilamida	Gelificante	Buffer	Bactericida	Ruptor	Reticulante	Surfactante
Slickwater	700 - 1000	x				x			x
Gel Lineal	300 - 450			x	x	x	x		x
Gel Crosslinkeado	150 -350			x	x	x	x	x	x
HVFR	600 -800		x			x	x		x

Aditivo	Rango de uso (lb/Mgal)
Poliacridamida	7 – 30 lb/Mgal
Reductor de Fricción	3 – 6 lb/Mgal
Gelificante	15 – 30 lb/Mgal
Reticulante	0.2 - 0.8 gal/Mgal
Buffer	0.5 – 1 gal/Mgal
Ruptor	0.1 - 0.5 lb/Mgal
Surfactante	0.3 - 1 gal/Mgal

#### v) DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES, GRADO DE TOXICIDAD EN LAS CONCENTRACIONES USADAS.

La función, nombre comercial y composición química de los productos a utilizar durante las diferentes etapas de fractura según la compañía son los siguientes:

Función	Compañía 1	
	Nombre comercial	Materia activa
Surfactante	ISURF/LoSurf	Poliéteres (estabilizados en medio alcohólico)
Bactericida	Be-9	Cloruro de tributil (Tetradecil) fosfonio
Reductor de Fricción	FightR EC-1/FDP	Poliacrilamida
Gelificante	WG-35	Goma guar
Reticulante	CL-31 - CL-43	Metaborato de potasio - Alcano modificado + Boratos
Buffer	BA-20	Acetato de amonio
Ruptor	SP Breaker - PHPA	Persulfato de sodio - Perborato de sodio, tetrahidrato (PHPA)

Tabla N°7: Productos del programa de Fractura (Compañía 1).



YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Función	Compañía 2	
	Nombre comercial	Materia activa
Surfactante	F114	Alcoholes y derivados de aminas cuaternarias
Bactericida	B244	glutaraldehído
Reductor de Fricción	HIFlow5/J702	poliacrilamida
Gelificante	J580	goma guar
Reticulante	L010	ácido bórico
Buffer	M002	hidróxido de sodio
Ruptor	J218	persulfato de amonio

Tabla N°8: Productos del programa de Fractura (Compañía 2).

Función	Compañía 3	
	Nombre comercial	Materia activa
Surfactante	ARF-SF8/ARA-SF1	Surfactantes no iónicos (estabilizados en medio alcohólico)
Bactericida	ARF-933	Pentanodial (Glutaraldehído)
Reductor de Fricción	DWP-621	DWP-621: FR de base éter
	Calvisc/R-V1008 (HVFR seco)	Poliacrilamida
Gelificante	ARF-994	Goma Guar
Reticulante	DWP-126/DWP-134	Sal de borato
Buffer	ARF-BF6	Sales e hidróxidos alcalinos
Ruptor	DWP-975	Persulfato de amonio

Tabla N°9: Productos del programa de Fractura (Compañía 3).

En el **punto 1.10.4** se adjuntan las hojas de seguridad de los productos químicos mencionados en los cuadros anteriores. [HOJAS DE SEGURIDAD DE PRODUCTOS QUÍMICOS A UTILIZAR EN LA ESTIMULACIÓN](#)

#### w) TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS EXCEDENTES.

Cabe destacar que no existen excedentes de los productos químicos a utilizar ya que se utilizan las cantidades equitativas.

### 1.6 DATOS DEL AGUA DE RETORNO

#### x) DESCRIPCIÓN Y PROCESO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL RETORNO DEL AGUA UTILIZADA EN LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA (FLOWBACK) DEL POZO.

La cantidad de agua de flowback esperada es de aproximadamente 7560 m<sup>3</sup>, el cual será enviado a las instalaciones del circuito de proceso productivo y gestionado como agua de producción. A continuación, se muestra un esquema con el proceso de disposición transitoria y final que tendrá el flowback.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza



**y) ALMACENAMIENTO Y DISPOSICIÓN DEL AGUA DE RETORNO, UBICACIÓN, TIPO DE PILETA, DESTINO FINAL Y MOVIMIENTOS DE SUELO.**

1. Almacenamiento transitorio en la locación

El agua de retorno (flowback), será almacenada, de maneras transitorias en la locación, en receptáculos metálicos (piletas) de 60 m<sup>3</sup> de capacidad, debidamente impermeabilizadas. Estos receptáculos (piletas) contarán con descarga – conexión para camión de evacuación de fluidos con acople rápido. Desde aquí, el agua será trasladada, en camiones cisterna.

2. Descripción del flujo de agua de flowback

El agua de retorno (flowback) proveniente de las operaciones, se gestionará de la siguiente manera:

Una vez que el pozo comience a producir, período de flowback, el fluido del pozo será conducido en principio, hacia un separador de arena, luego hacia un choke-manifold a fin de reducir la presión y por último, la producción de gas, agua y condensado será dirigida a un separador trifásico instalado en la locación.

El gas del separador será derivado hacia la fosa de quema.

La producción de líquidos de salida del separador, será conducida a piletas metálicas en la locación y transportada en camiones hacia la PTC Chihuido de las Salinas Centro, durante 20 días aproximadamente.

### 1.7 DATOS DE SISMICIDAD

**z) CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA Y ESTIMACIÓN DE LOS RIESGOS DE ACUERDO A LOS DATOS DEL IMPRES U OTRA FUENTE.**

Según el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 del Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), en el Mapa de Zonificación Sísmica de la República Argentina se identifican 5 zonas con diferentes niveles de riesgo sísmico, definiéndose al mismo como la probabilidad de que ocurra una determinada amplitud de movimiento de suelo en un intervalo de tiempo fijado.

El INPRES tiene a su cargo una Red Nacional de Acelerógrafos (RNA), disponiendo 15 de ellos en la Provincia de Mendoza y uno de ellos en el departamento de Malargüe. En la Provincia del Neuquén se han dispuesto 4 Acelerógrafos, siendo el más cercano al área del proyecto el que se ubica en la localidad de Buta Ranquil, Departamento Pehuenches.

El sector donde se ubicará el proyecto se caracteriza por una baja actividad sísmica (Riesgo Sísmico Bajo), según el reglamento 103 del CIRSOC corresponde a la Zona 1: peligrosidad sísmica reducida.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

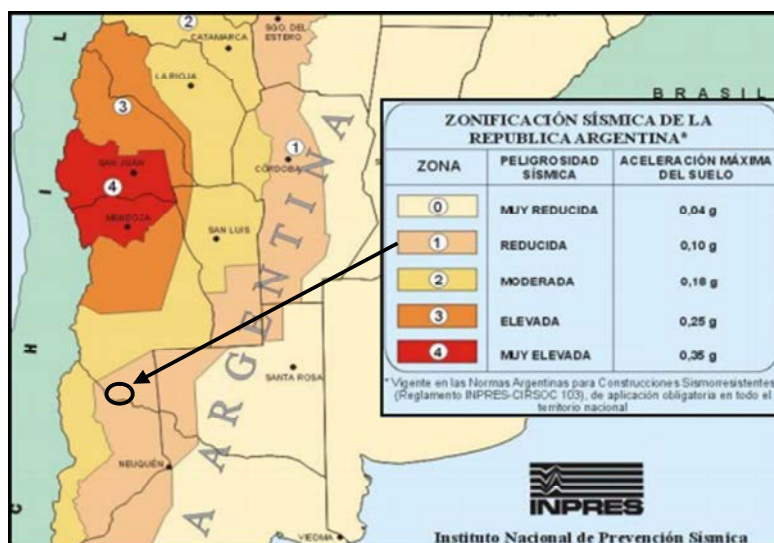


Figura N° 2: Zonificación sísmica de la República Argentina. Fuente: <http://inpres.gov.ar/RNA.htm>

En el punto 1.10.3 se anexa un estudio y análisis de peligrosidad sísmica en el Sur de Mendoza, donde se estima la amenaza entorno al sitio del proyecto con el fin establecer un nivel base de actividad sísmica. [ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL SUR DE MENDOZA](#)

Según el informe “Análisis de Peligrosidad Sísmica en el Sur de Mendoza” se estima la amenaza sísmica entorno al sitio 37.14°S, 69.49°O, ubicado al sur de la provincia de Mendoza, considerando la sismicidad en el área delimitada por los meridianos 35.2°S-38.9°S y los paralelos 67.5°O-71.5°O a fin de incluir todas las fuentes sismogénicas que pudiesen afectar al sitio de estudio y establecer un nivel base de actividad sísmica. Para ello, se recopila la información disponible en catálogos públicos en el período 1970-2019 analizando su completitud y homogeneizando las magnitudes reportadas a escala de magnitud momento (Mw). Comparando con la información geológica y sismotectónica disponible, se definen 7 zonas sismogénicas teniendo en cuenta profundidades de las fuentes, variaciones en la densidad superficial de epicentros y principales estructuras que originan dicha actividad. Para cada una de esas zonas, mediante técnicas probabilistas, se estiman las curvas de excedencia de magnitudes correspondientes a sismos de diseño propuestos considerando cuatro períodos de retorno seleccionados según la vida útil de las obras a desarrollar en el sitio. Con dichas magnitudes se evalúan las aceleraciones máximas más probables empleando fórmulas de atenuación disponibles en la bibliografía para áreas similares a la de estudio.

#### aa) LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS HORIZONTALES Y VERTICALES Y ZONAS NATURALMENTE FISURADAS.

En el sector de la propuesta no se visualizan en sísmica 3D y 2D fallas geológicas. Hacia el oeste, próximo al frente de la faja plegada y corrida, se identifican fallas subverticales principalmente de rumbo N-S.

En las figuras siguientes, se muestran los mapas estructurales en profundidad para el techo y la base de la Fm. Vaca Muerta, remarcando en ambos las trazas de las fallas interpretadas.

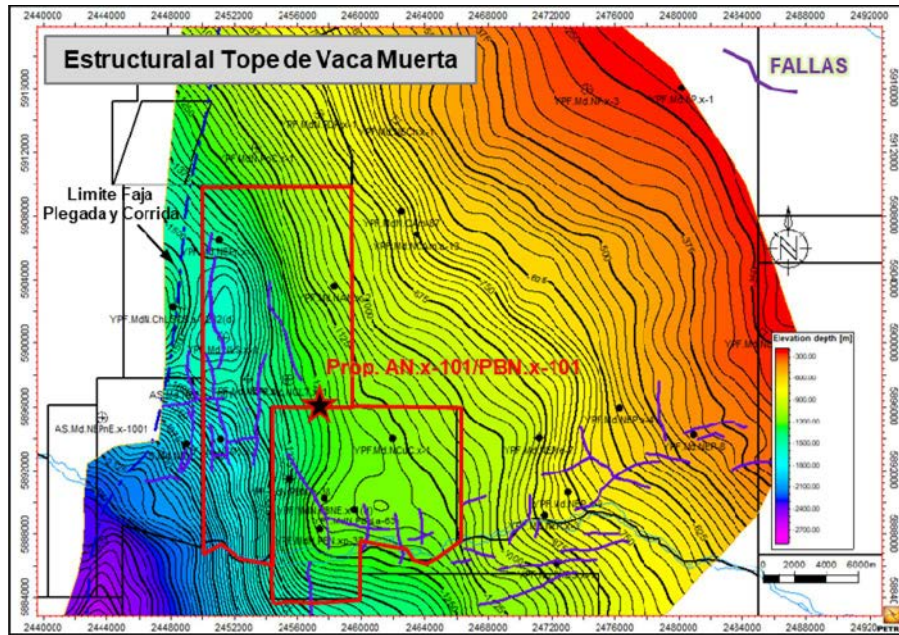


Figura N° 3: Mapas estructural en profundidad para el techo de la Fm Vaca Muerta.

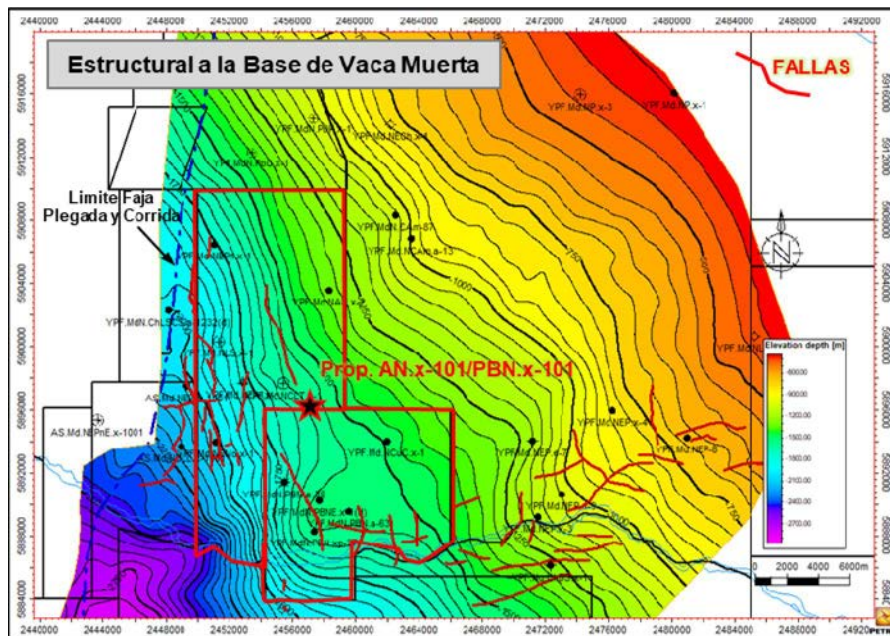


Figura N° 4: Mapas estructural en profundidad para la base de la Fm Vaca Muerta.

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

## 1.8 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

- bb) MEDIDAS PREVENTIVAS
- cc) MEDIDAS CORRECTIVAS
- dd) MEDIDAS MITIGADORAS
- ee) MEDIDAS COMPENSADORAS

A continuación se mencionan las medidas de prevención y mitigación de impactos cuya implicancia está directamente relacionada con la fractura hidráulica y en el punto xxx del presente informe se encuentran un resumen de aquellas medidas de prevención, mitigación y correctivas desarrolladas para el presente proyecto, a fin de minimizar los efectos ambientales del mismo, sobre los diferentes componentes de los subsistemas ambientales: físico, biológico y socioeconómico y cultural.

Restauración físico-cualitativa del suelo	
Impacto a prevenir o minimizar	Contaminación.
Factor ambiental involucrado	Suelo.
Acción del proyecto	Manejo de combustible, aceites, productos químicos, agua de fractura Manejo de insumos y fluidos varios Generación de residuos y materiales en desuso
Etapas de ejecución	Al finalizar cada etapa del proyecto.
<b>Medidas preventivas</b> Se colocará debajo de cada equipo algún material aislante, impermeable, como bandejas colectoras, láminas plásticas de espesor suficiente, o bien se construirán piletines de H° A°, con capacidad suficiente, en el caso del Tk.  El agua para fractura se transportará a través de una cañería flexible en superficie desde un punto de extracción habilitado y se almacenará en piletas en la futura locación.  El agua de retorno o flowback será transportada y tratada por una empresa habilitada.  Los tanques a utilizar en la locación para contener flowback contarán con contención secundaria y sistemas para monitorear los niveles, así como colectores (manifold) para controlar y evacuar simultáneamente.	
<b>Medidas correctivas</b> Los sectores de suelo contaminados con combustible, aceites u otro tipo de fluido de similares características producto de pérdidas y/o derrames puntuales ocurridos durante la operación normal de las instalaciones y equipos, de acuerdo al procedimiento operativo específico de gestión de suelos contaminados.  Para recuperar suelos modificados, se recomienda utilizar técnicas de laboreo que permitan: <ul style="list-style-type: none"><li>- aumentar la superficie expuesta a la acción de los agentes atmosféricos, a fin de facilitar el intercambio gaseoso,</li><li>- incrementar la eficiencia de utilización del agua de las plantas por una mayor infiltración, reducir el escurrimiento superficial y, aumentar la capacidad de penetración de las raíces en el suelo.</li></ul> Se extraerán y coleccionarán fluidos que se hubieran acumulado en láminas protectoras y/o bandejas colectoras, antes de ser retiradas finalmente.	

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Medida: restauración de flora y fauna	
Impacto a minimizar o prevenir	Eliminación de la Flora Nativa y Fauna
Factor afectado	Flora y Fauna
Acción del proyecto	Manejo de residuos, de agua de fractura y materiales en desuso
Etapas de ejecución	Etapas de Perforación, fractura
<b>Medidas Preventivas</b> Referido a los residuos se sugiere realizar una buena clasificación de los mismos y dimensionar los volúmenes a generar para de esta manera contar con contenedores suficientes.  Debido a la predominancia y persistencia de la acción del viento en el sector, se recomienda realizar rondas de recolección de residuos a diario durante la etapa operativa. Esto tiene como finalidad no influir negativamente en el entorno lindante.  Los materiales en desuso deberán permanecer ordenados en el sector que se disponga para tal fin y su persistencia en la locación debe ser limitada. Tanto la fauna autóctona como el ganado doméstico corren el riesgo de verse afectados ante la eventualidad de entrar en contacto con los mismos. En muchos casos alambres, sunchos, postes, tapa roscas y cañerías, entre otros, pueden significar un riesgo de lesión para los mismos o bien comportar una disminución de la movilidad que, en casos extremos, puede conducir al deceso.  <b>Medida Correctiva</b> Ante eventuales incidentes que impliquen la afectación de medio con agua de fractura, se recomienda utilizar polímeros absorbentes para la captación de la misma y, posteriormente, efectuar un buen lavado de la superficie afectada. Utilizando para tal fin agua dulce.  <b>Medidas compensadoras</b> Así mismo, se recomienda asistir al medio para promover una recuperación más rápida de los componentes biológicos (flora y fauna) mediante restauración ecológica.  Cabe destacar que cuando se trabaja de manera holística en restauración, se lo hace en pos de una recuperación no solo de la cobertura vegetal sino de las interacciones fauna-flora. Un diseño adecuado de restauración supone este beneficio.  Se recomienda para tal fin, utilizar especies ruderales y realizar el trabajo con especialistas.	

Preservación de la calidad y disponibilidad de agua superficial y subterránea	
Impacto a prevenir o minimizar	Afectación del drenaje natural. Consumo
Factor ambiental involucrado	Agua superficial y subterránea
Acción del proyecto	Consumo de agua
Etapas de ejecución	Todas las etapas
<b>Medidas preventivas</b> La programación de la cañería guía, en los metros estipulados, y su posterior cementación asegurará la protección de los eventuales acuíferos freáticos que pudieran existir en la zona.  Se efectuarán mantenimientos preventivos del árbol de surgencia, bombas, válvulas, colectores, separador, tanques, etc.	

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

Restauración del paisaje	
Impacto a prevenir o minimizar	Pérdida de naturalidad y afectación de la calidad visual del paisaje. Fragmentación visual.
Factor ambiental involucrado	Paisaje: componente de inter-fase entre los subsistemas físico-biológico-socioeconómico, que conforman el sistema ambiental. Constituye además, un indicador perceptible de los cambios que ocurren en el sistema ambiental.
Acción del proyecto	Montaje y desmontaje de equipos (de perforación y terminación), instalaciones y campamento Operación de los equipos Montaje, puesta en servicio y desmontaje de la cañería flexible Manejo de insumos y fluidos Manejo de residuos y materiales en desuso
Tipo	Medidas preventivas
Etapas de ejecución	Todas las etapas
<p><u>Medidas preventivas</u>                      Se procurará, en todos los casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporación de pautas técnicas y/o constructivas que minimicen la incidencia visual significativa de la obra proyectada (alturas, colores a emplear, etc.).</li> <li>- Minimización de afectación de unidades prístinas.</li> <li>- Priorización y optimización de uso del espacio intervenido.</li> </ul> <p>Se seleccionarán tecnologías, actualmente disponibles y con posibilidades de aplicación, que reduzcan la ocupación del espacio y el impacto visual, tales como la utilización de estructuras tubulares, materiales naturales, colores mimetizables, etc.</p>	

## 1.9 MEDIDAS DE CONTROL

### ff) SE DESCRIBIRÁ UN PLAN DE MONITOREO DE LAS MEDIDAS Y ACCIONES DE MITIGACIÓN RECOMENDADAS.

A los efectos de llevar un plan de seguimiento y control se realizará un programa de monitoreo que conste de visitas a partir del comienzo de la etapa de construcción.

Se considera muy importante la capacitación del personal actuante en todo lo relacionado con normas de prevención y seguridad ambiental. En cada monitoreo se verificará el cumplimiento de las recomendaciones expuestas en este AP, en el Capítulo correspondiente al Plan de Mitigación de Impactos. También se corroborarán los Impactos Ambientales identificados en la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales.

En los cuadros siguientes se ejemplifican las medidas mencionadas, la frecuencia tentativa de monitoreo de cada una de éstas y su respectivo registro.

#### Plan de seguimiento y control en la Etapa de Construcción

Acciones que impactan en forma negativa	Indicador	Frecuencia	Reporte
Construcción de caminos	Superficie de caminos a construir sobre terreno natural/superficie total	Única vez al finalizar etapa de construcción	IF*

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

	Conformidad de obra respecto al proyecto original (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de construcción	IF*
Construcción de locación, para perf. de pozo y montaje de instalaciones anexas	Conformidad de obra respecto al proyecto original (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de construcción	IF*
Construcción de la bodega	Forma constructiva (excavación y cemento)	Única vez al finalizar etapa de construcción	IF*
Movimiento de máquinas viales	Estado de los caminos y reducción en la generación de polvo en suspensión (cumple / no cumple)	Periódico	IMAA/IS**
	Mantenimiento de máquinas para control de ruido y emisiones gaseosas	Periódico	Mantenimiento
Manejo de residuos	Presencia / ausencia de incorrecta disposición de residuos	Periódico	IF*
	Generación, clasificación, disposición transitoria y disposición final de residuos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**

**Tabla N° 10:** Plan de seguimiento y control en la Etapa de Construcción.

**Plan de seguimiento y control en las Etapas de Perforación y Terminación.**

<b>Acciones que impactan en forma negativa</b>	<b>Descripción / Indicador</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Reporte</b>
Transporte, montaje y desmontaje de los equipos y campamentos	Estado de los caminos y reducción en la generación de polvo en suspensión (cumple / no cumple)	Periódico	En Inspección de perforación
	Cantidad y tipo de eventos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Operación de los equipos	Traspaso de mando del pozo desde equipo perforador a equipo de terminación (cumple / no cumple)	Por cada pozo perforado	En Inspección de perforación
	Traspaso de mando del pozo desde equipo de terminación a supervisor de producción (cumple / no cumple)	Por cada pozo terminado	En Inspección de perforación
	Monitoreo sísmico	Antes, durante y posterior a la perforación/terminación del pozo	
Cementación de cañerías	Correcta cementación	Por cada pozo terminado	Perfil CBL
Manejo de combustible y aceite lubricante	Presencia / ausencia de pérdidas o derrames	Única vez al finalizar etapa de terminación	En Inspección de terminación
	Superficie afectada con combustible y/o lubricante/superficie total	Única vez al finalizar etapa de terminación	En Inspección de perforación
	Cantidad y tipo de eventos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Manejo de productos químicos	Presencia / ausencia de derrames	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento / Registro MIES



YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Acciones que impactan en forma negativa	Descripción / Indicador	Frecuencia	Reporte
	Cantidad y tipo de eventos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Manejo de lodo y cutting	Generación de residuos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
	Análisis de lodo / cutting de perforación previo a disposición final	Mensual	IMAA/IS**
Manejo de petróleo y agua de formación	Presencia / ausencia de derrames	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento / Registro MIES
	Cantidad y tipo de eventos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Manejo de residuos	Presencia / ausencia de incorrecta disposición de residuos	Única vez al finalizar etapa de terminación del pozo	En Inspección de perforación
	Generación, clasificación, disposición transitoria y disposición final de residuos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Consumo de agua para la estimulación hidráulica	Caudal medido en zona de piletta de agua industrial.	Diario	En Inspección de fractura

Tabla N°11: Plan de seguimiento y control en las Etapas de Perforación y Terminación.

**Plan de seguimiento y control en la Etapa de Montaje y Producción**

Acciones que impactan en forma negativa	Descripción / Indicador	Frecuencia	Reporte
Montaje de Instalaciones de Producción	Superficie de las líneas de interconexión a montar/superficie total	Única vez al finalizar etapa de montaje y producción	En Inspección de obra
	Conformidad de obra respecto al proyecto original (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de montaje y producción	En Inspección de obra
	Estado general de las instalaciones	Luego de tormentas	Mantenimiento
	Consumo de agua para pruebas de hermeticidad	Única vez al finalizar las pruebas	En Inspección de obra
Estado de los caminos y reducción en la generación de polvo en suspensión (cumple / no cumple)	Anual	IMAA/IS**	En Inspección de obra
	Estado general de las instalaciones de producción (cumple / no cumple)	Anual	IMAA/IS**
	En caso de eventual contingencia: Derrame	Presencia de derrame	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Acciones que impactan en forma negativa	Descripción / Indicador	Frecuencia	Reporte
	Eventual Análisis: Muestreo de suelos en sitios saneados	Según requerimiento de AA o magnitud de incidente	Reporte MIES IMAA/IS
	Informes finales de incidentes ambientales (FIAS)	Anual	Registro MIES IMAA/IS
Circulación de vehículos y maquinarias viales	Mantenimiento de vehículos para control de ruido y emisiones gaseosas	Periódico	Mantenimiento
Manejo de Residuos	Presencia / ausencia de incorrecta disposición de residuos	Periódico	En Inspección de obra
	Generación de residuos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**
Monitoreo del acuífero	Muestreo en el pozo monitor	Periódico	Análisis físico químicos (ver parámetros en Nota*)

Tabla N°12: Plan de seguimiento y control en la Etapa de Montaje y Producción.

**Nota\*:** Parámetros según Res. DGI N° 249/2018: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, alcalinidad total (expresada como bicarbonatos y carbonatos), dureza total, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, boro, metano, VOCs, BTEX, hidrocarburos totales, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo total, hierro total, manganeso, níquel, plomo, zinc, vanadio, aluminio, estroncio, litio, cobalto, mercurio, selenio, radio y uranio. Se realizará un muestreo inicial previo comenzar con las operaciones de estimulación y otro al finalizar la estimulación. Las determinaciones serán comparadas.

**Plan de seguimiento y control en la Etapa de Abandono:**

Acciones que impactan en forma negativa	Descripción / Indicador	Frecuencia	Reporte
Abandono de pozo	Estado de los caminos y reducción en la generación de polvo en suspensión (cumple / no cumple)	Periódico	IMAA/IS**
	Programa de abandono de pozo (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
	Retiro de anclajes, relleno de bodega y de pozos auxiliares (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
	Escarificado de la locación y bloqueo de acceso a locación (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
Abandono de la línea de conducción	Retiro de la línea (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
	Escarificado de pista de servicio (cumple / no cumple)	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
Manejo de combustible, fluidos e insumos (cemento)	Presencia / ausencia de derrames	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Acciones que impactan en forma negativa	Descripción / Indicador	Frecuencia	Reporte
		Reporte inmediato a la AdA ante la ocurrencia de un incidente.	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento
Manejo de residuos y material en desuso	Presencia / ausencia de incorrecta disposición de residuos	Única vez al finalizar etapa de abandono	Informe de abandono de pozo
	Generación de residuos por Concesión de Explotación	Anual	IMAA/IS**

Tabla N°13: Plan de seguimiento y control en la Etapa de Abandono.

\*Se prevé la instalación de 4 estaciones sismológicas (red) de tres componentes tipo Trillium Compact Posthole de 20s con un rango dinámico de 152 dB y un digitalizador de 24 bits de alta resolución tipo Centaur. Los sensores realizarán monitoreo y grabado continuo (24 h) con procesamiento de datos en tiempo real. Las comunicaciones de datos son continuas con una latencia típica de menos de 4 segundos. La red sismológica se distribuirá convenientemente según plan de pozos a ser monitoreados.

Según la magnitud de control previamente acordada (Ejemplo a partir de magnitud 1 en escala de Richter), se recibirán notificaciones por mensaje de texto, comunicaciones electrónicas y/o contacto telefónico con el personal de YPF para el/los eventos grabados dentro de la región de interés que cubre la red.

Cada estación se alimenta de manera autónoma con un cargador basado en paneles solares y banco de baterías. Periódicamente, personal técnico hará recorrido y control del estatus de los equipos para asegurar monitoreo permanente.

Para la instalación de cada sensor, se cubre un área total de emplazamiento no mayor a los 2 m<sup>2</sup> en superficie. Se instalan dentro de una bóveda metálica enterrados a una profundidad de 1 m. Esto para preservar que los sensores no sean vandalizados. (Figura 3: Ejemplo descripción de instalación).

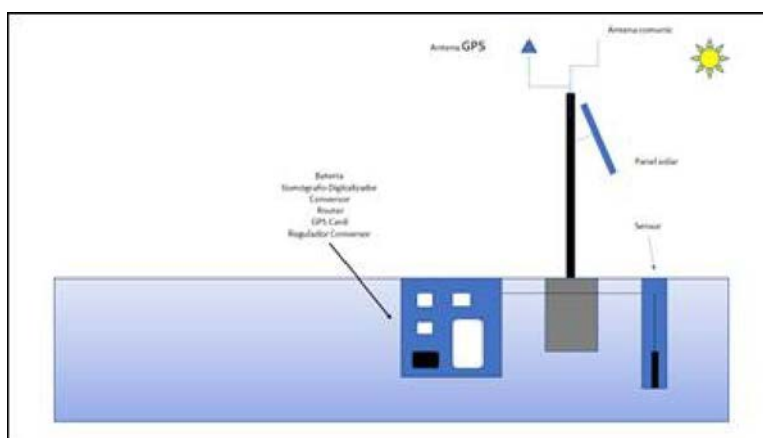


Figura N° 5: Descripción Estación de Monitoreo

\*\*IMAA/IS: Informe de Monitoreo Ambiental Anual / Informe de Situación.

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

**gg) SE FORMULARÁN INDICADORES DE DESEMPEÑO QUE CONTEMPLAN LA SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES, LA OCURRENCIA DE INCIDENTES, LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO, LA UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS Y CUALQUIER OTRO ASPECTO QUE PUDIESE ESTAR RELACIONADO CON POSIBLES AFECTACIONES AL AMBIENTE. LA AUTORIDAD DE APLICACIÓN DEBERÁ APROBAR LOS INDICADORES PROPUESTOS.**

*Es importante destacar que los Indicadores que se describen a continuación serán aprobados por la Autoridad de Aplicación en el momento que la misma se expida en función al Aviso de Proyecto "Perforación de pozo YPF.MdN.AN.x-101(pil+h) Aguada Negra" y el presente Apartado sobre Fractura Hidráulica Decreto Prov. N° 248.*

YPF S.A.

Provincia de Mendoza

Indicador		Frecuencia	Reporte
Seguridad en las instalaciones	Estado de los caminos: Metros cuadrados de camino repasados/día	Periódico	En Inspección de perforación
Ocurrencia de incidentes	Correcta cementación de cañerías	Al finalizar la etapa de perforación	Perfil CBL
	M <sup>2</sup> de suelo afectado. Superficie afectada con combustible y/o lubricante/superficie de la locación	Única vez al finalizar etapa de terminación	En Inspección de perforación
	M <sup>2</sup> de suelo afectado por derrames de combustible y/o aceite	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento / Registro MIES
Utilización de productos químicos	M <sup>2</sup> de suelo afectado por Superficie afectada con productos químicos/superficie total	Única vez al finalizar etapa de terminación	En Inspección de perforación
	Presencia / ausencia de derrames de productos químicos	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento / Registro MIES
	Presencia / ausencia de derrames de flowback	Reporte inmediato a la AA ante la ocurrencia de un incidente	Reporte de incidente ambiental dentro de las 24 hs de ocurrido el evento / Registro MIES
	Análisis de flowback previo a disposición final	Al finalizar la etapa de estimulación	IMAA/IS**
Utilización del recurso hídrico	Volumen medido en zona de pileta de agua industrial.	Diario	En Inspección de fractura
	Muestreo en el pozo monitor	Periódico	Análisis físico químicos (ver parámetros en Nota*)
Otros	Monitoreo sísmico**	Previo, durante y posterior a la estimulación.	IMAA/IS**
	Presencia / ausencia de incorrecta disposición de residuos	Única vez al finalizar etapa	En Inspección de perforación
	Generación, clasificación, disposición transitoria y disposición final de residuos	Periódico	En inspección

**Nota\*:** Parámetros según Res. DGI N° 249/2018: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, alcalinidad total (expresada como bicarbonatos y carbonatos), dureza total, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, boro, metano, VOCs, BTEX, hidrocarburos totales, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo total, hierro total, manganeso, níquel, plomo, zinc, vanadio, aluminio, estroncio, litio, cobalto, mercurio, selenio, radio y uranio. Se realizará un muestreo inicial previo comenzar con las operaciones de estimulación y otro al finalizar la estimulación. Las determinaciones serán comparadas.

---

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

**1.10 ANEXOS**

**1.10.1 DECLARACIÓN JURADA**



Mendoza, 8 de julio de 2022

Sra. Directora  
Dirección de Protección Ambiental  
Miriam Skalany  
S \_\_\_\_\_ // \_\_\_\_\_ D

**As.: Perforación del pozo exploratorio no convencional con objetivo  
la Fm. Vaca Muerta YPF.MdN.PBN.x-101 (h) (Paso Bardas Norte)**

**DECLARACIÓN JURADA  
(art. 5° inciso a y b, Decreto 248/2018 de la Provincia de Mendoza)**

De mi mayor consideración:

María Fernanda Raggio en nombre y representación de YPF S.A., conforme personería que acredito con copia del poder que acompaño; constituyendo domicilio legal en calle **25 de mayo 1084, Entrepiso, Ciudad, Mendoza** y domicilio electrónico en la casilla de correo **notificacioneslegalesmendoza@ypf.com**, me presento ante Ud. y respetuosamente digo que:

En cumplimiento de los incisos a) y b) del art. 5° del Decreto 248/18, que establecen:

*“Los proyectos de exploración y explotación en yacimientos o reservorios no convencionales, deberán completar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, dispuesto en los Decretos 437/93, 691/95 y 170/08, debiéndose ajustar además a los siguientes requisitos:*

*a) Declaración jurada sobre la afectación negativa de acuíferos; de fuentes de provisión de agua de pobladores, de actividades agrícolas y ganaderas; de caudal ecológico; áreas naturales protegidas o corredores biológicos.*

*b) Declaración jurada con la información del volumen estimado y la fuente de provisión de agua a utilizar durante las etapas de perforación, explotación y terminación de pozos, debiendo acreditar fehacientemente la autorización del Departamento General de Irrigación a tales efectos.”*



Y en nombre de mi representada, manifiesto con carácter de declaración jurada, que durante las etapas de perforación y terminación del pozo exploratorio YPF.MdN.PBN.x-101(h), (en adelante, el "POZO EXPLORATORIO"), se cumplirá con las medidas de prevención y mitigación previstas en el Aviso de Proyecto, tendientes a evitar la afectación de acuíferos o fuentes de provisión de agua de pobladores, de actividades agrícolas y ganaderas; de caudal ecológico, áreas naturales protegidas o corredores biológicos.

Por otro lado y en igual carácter, informamos que el volumen estimado de agua a utilizar durante las etapas de perforación y terminación del POZO EXPLORATORIO es de 25.984 metros cúbicos, y la fuente de provisión de agua será el Río Colorado. Al respecto, acompañamos en Anexo, copia del pedido de autorización presentado ante el Departamento General de Irrigación, esperando que así lo autorice.

Sin otro particular, lo saludo atentamente.

  
**María Fernanda Raggio**  
**Apoderado YPF S.A**





Mendoza, 8 de julio de 2022

Sra. Directora  
Dirección de Protección Ambiental  
Miriam Skalany  
S \_\_\_\_\_ // \_\_\_\_\_ D

**As.: Perforación del pozo exploratorio no convencional con objetivo  
la Fm. Vaca Muerta YPF.MdN.AN.x-101 (p+h) (Aguada Negra)**

**DECLARACIÓN JURADA  
(art. 5° inciso a y b, Decreto 248/2018 de la Provincia de Mendoza)**

De mi mayor consideración:

María Fernanda Raggio en nombre y representación de YPF S.A., conforme personería que acredito con copia del poder que acompaño; constituyendo domicilio legal en calle **25 de mayo 1084, Entrepiso, Ciudad, Mendoza** y domicilio electrónico en la casilla de correo **notificacioneslegalesmendoza@ypf.com**, me presento ante Ud. y respetuosamente digo que:

En cumplimiento de los incisos a) y b) del art. 5° del Decreto 248/18, que establecen:

*“Los proyectos de exploración y explotación en yacimientos o reservorios no convencionales, deberán completar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, dispuesto en los Decretos 437/93, 691/95 y 170/08, debiéndose ajustar además a los siguientes requisitos:*

- a) Declaración jurada sobre la afectación negativa de acuíferos; de fuentes de provisión de agua de pobladores, de actividades agrícolas y ganaderas; de caudal ecológico; áreas naturales protegidas o corredores biológicos.*
- b) Declaración jurada con la información del volumen estimado y la fuente de provisión de agua a utilizar durante las etapas de perforación, explotación y terminación de pozos, debiendo acreditar fehacientemente la autorización del Departamento General de Irrigación a tales efectos.”*



Y en nombre de mi representada, manifiesto con carácter de declaración jurada, que durante las etapas de perforación y terminación del pozo exploratorio YPF.MdN.AN.x-101(p+h), (en adelante, el "POZO EXPLORATORIO"), se cumplirá con las medidas de prevención y mitigación previstas en el Aviso de Proyecto, tendientes a evitar la afectación de acuíferos o fuentes de provisión de agua de pobladores, de actividades agrícolas y ganaderas; de caudal ecológico, áreas naturales protegidas o corredores biológicos.

Por otro lado y en igual carácter, informamos que el volumen estimado de agua a utilizar durante las etapas de perforación y terminación del POZO EXPLORATORIO es de 26.714 metros cúbicos, y la fuente de provisión de agua será el Río Colorado. Al respecto, acompañamos en Anexo, copia del pedido de autorización presentado ante el Departamento General de Irrigación, esperando que así lo autorice.

Sin otro particular, lo saludo atentamente.



**María Fernanda Raggio**  
**Apoderado YPF S.A**

---

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

**1.10.2 RENOVACIÓN INSCRIPCIÓN EN EL PROGRAMA DE MONITOREO, CONTROL Y VIGILANCIA**

**RENOVACIÓN****Programa de Monitoreo, Control y Vigilancia****en las áreas de concesión de explotación operadas por YPF en la provincia de Mendoza**

Entre el Departamento General de Irrigación, en adelante el "DGI", representado en este acto por el Sr. Superintendente Ing. Agrimensor Sergio MARINELLI, ad referéndum del Honorable Tribunal Administrativo, en adelante el "HTA", con domicilio en calle Barcala 206, Ciudad de Mendoza, e YPF SA, en adelante la "YPF", representada en este acto por Ing. Julio Andrés Ongaro, en su carácter de Gerente de Negocio Mendoza Norte, con domicilio en calle 25 de mayo 1084, Entrepiso, Ciudad de Mendoza, todos denominados en forma conjunta como las PARTES, y:

**CONSIDERANDO:**

Que las PARTES celebraron en fecha 2/12/2013 un Acta Acuerdo ratificado por la resolución n° 579/13 del HTA (expte. 262.531 y su acumulado 264.400), por el cual acordaron la implementación de un Programa de Monitoreo, Control y Vigilancia en las áreas de concesión de explotación operadas por YPF ubicadas en la Cuenca Cuyana y Cuenca Neuquina de la provincia de Mendoza, con el objeto de prevenir y evaluar posibles efectos negativos de la actividad en el ámbito de la jurisdicción y competencia del DGI, en adelante el PROGRAMA. En virtud de la cláusula quinta de este Acta Acuerdo, YPF quedó exceptuada de pagar el canon anual en el Registro Único de Establecimientos ("RUE") con relación a aquellas áreas de concesión de explotación detalladas en el anexo primero del mismo.

Que las PARTES actualizaron en fecha 5/12/2018 el alcance del PROGRAMA a través de un nuevo convenio denominado "Acuerdo conciliatorio y de pago", ratificado por la resolución n° 720/18 del HTA (expte. 729.266-2), por el cual se convino la continuidad del PROGRAMA y se actualizaron las áreas comprendidas en el mismo, incorporándose las áreas de concesión Chachahuen Sur, Mesa Verde, Cajón de los Caballos (Sector oriental), Valle del Rio Grande y Puesto Hernández y dándose de baja las áreas de concesión La Brea y Cerro Mollar Norte en las que YPF dejó de ser operadora.

Que el acuerdo celebrado el 5/12/2018 fue prorrogado tácitamente durante el período 2019, conforme surge del pago realizado por YPF el 16/12/2019 del Boleto emitido por el DGI n° 893972/2019 ("CONVENIO ENTRE Y.P.F. S.A Y EL D.G.I. PROGRAMA DE MONITOREO CUENCA CUENCACUYANASEGÚN RESOL 720/18 H.T.A.").

Que las PARTES han convenido abonar los gastos correspondientes al período 2020 renovando a tal efecto el PROGRAMA con posibilidad de prórroga, incorporando el área de concesión Cerro Morado Este al listado de áreas comprendido en el Anexo al mismo, las que pasaron a totalizar 26 áreas de concesión de explotación operadas por YPF S.A..

Por lo que las PARTES acuerdan renovar el PROGRAMA, sujeto a las siguientes cláusulas y condiciones:

<b>YPF S.A.</b>	
<b>MESA DE ENTRADAS</b>	
Documentación admitida al solo efecto de inscripción	
Fecha	<b>11 DIC 2020</b>
Hora	
Firma y sello	

  
**JULIO A. ONGARO**  
 GERENTE NEGOCIO MENDOZA  
 REGIONAL OESTE - YPF S.A.

  
**Ing. Agrim. Sergio Marinelli**  
 Superintendente General de Irrigación

**PRIMERA: Renovación del PROGRAMA y actualización de áreas.**

Las PARTES acuerdan renovar el PROGRAMA con relación a las veintiséis (26) áreas de concesión de explotación donde YPF es operadora ubicadas en la Cuenca Cuyana y Cuenca Neuquina de la provincia de Mendoza y que se detallan en el listado que se adjunta como ANEXO, conforme con el cual, el DGI se compromete a actualizar el RUP.

**SEGUNDA: Gastos período 2020.**

El DGI ha determinado los gastos correspondientes al PROGRAMA para el período 2020 en la suma de pesos cinco millones setenta mil (\$ 5.070.000), los que YPF se compromete a abonar en un plazo de cinco (5) días hábiles a contar desde la notificación de la homologación del presente acuerdo por el HTA, mediante depósito y/o transferencia en la cuenta corriente n° 412165-005, CBU 0270066310004121650053 del Banco Supervielle Sucursal Centro Mendoza, sirviendo como suficiente y eficaz recibo de pago a todos los efectos legales el comprobante bancario que acredite el depósito o la transferencia que YPF deberá presentar ante el DGI.

**TERCERA: Vigencia.**

El PROGRAMA se considerará renovado para el período 2020 una vez aprobado el presente acuerdo por el HTA y será prorrogado automáticamente por períodos de un (1) año, siempre que el DGI emita y notifique a YPF una boleta en concepto de gastos del PROGRAMA y la misma sea abonada por YPF.

**CUARTA: RUP.**

YPF quedará exceptuada de pagar el canon anual en el Registro Único Petrolero (RUP) mientras se mantenga vigente el PROGRAMA.

**QUINTA: Domicilio y jurisdicción.**

Las PARTES fijan sus domicilios legales en los señalados en el encabezado, donde serán válidas todas las notificaciones que se practiquen. En caso de diferencias, se someten a la jurisdicción y competencia de los Tribunales Ordinarios de la Primera Circunscripción Judicial de la Provincia de Mendoza, renunciando a cualquier otro fuero o jurisdicción que pudiera corresponder.

En prueba de conformidad, se suscriben dos (2) ejemplares de un mismo tenor y a un solo efecto, a los \_\_ días del mes de diciembre de 2020.

  
**JULIO A. ONGARO**  
 GERENTE NEGOCIO MENDOZA  
 REGIONAL OESTE - YPF S.A.

  
**Ing. Agrim. Sergio Marinelli**  
 Superintendente General de Irrigación

**ANEXO**

CUENCA	ÁREA DE CONCESIÓN	RUP
CUYANA	Barrancas	200162
	Ceferino	200475
	La Ventana	200268
	Rio Tunuyán	200282
	Vizcacheras	200266
	Zampal Oeste	500108
	Mesa Verde	S.I.
NEUQUINA	Altiplanicie del Payún	800054
	Cajón de los Caballos (Sector Oriental)	S.I.
	Cañadón Amarillo	800028
	Cerro Fortunoso	800016
	Cerro Morado	S.I.
	Chachahuén Sur	800088
	Chihuído de la Salina	800029
	Chihuído de la Salina Sur	800058
	Chihuído de la Sierra Negra	800059
	El Manzano	800006
	El Portón	800017
	Llancanelo	800008
	Llancanelo R	800057
	Loma de la Mina	800025
	Paso de las Bardas Norte	800027
	Puesto Hernández	S.I.
	Puesto Molina Norte	800018
Puntilla del Huincán	800007	
Valle del Rio Grande	800004	

S.I. no está inscripto en el RUP, por lo que el DGI se compromete a tramitar el alta interna.

  
**JULIO A. ONGARO**  
 GERENTE NEGOCIO MENDOZA  
 REGIONAL OESTE - YPF S.A.

  
**Ing. Agrim. Sergio Marinelli**  
 Superintendente General de Irrigación

---

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

**1.10.3 NOTA 1177-2022 DGI PRESENTACIÓN PROYECTO NOC SOLICITA PERMISO AGUA DULCE.**



Mendoza, 29 de Junio de 2022

Nota 1177-2022

**Sr. Superintendente**

**Departamento General de Irrigación**

**Ing. Agrim. Sergio Marinelli**

S \_\_\_\_\_ // \_\_\_\_\_ D

**Ref.: Informa Proyecto NOC y Solicita  
Permiso de toma de Agua del  
Río Colorado.**

De nuestra consideración:

Tenemos el agrado de dirigirnos a Ud. con el objeto de presentarle el Proyecto Piloto NOC a Formación Vaca Muerta en Malargüe Sur, el mismo se encuentra enmarcado dentro del Carta Intención firmada entre la Provincia de Mendoza e YPF S.A. el día 26/07/2021 y ratificado a través del Decreto 1117-2021.

El proyecto piloto Vaca Muerta tiene como objetivo la evaluación y desrisko de esta unidad, para conocer mediante pozos horizontales su potencialidad de producción y economicidad en el sector sur-mendocino de la plataforma nor-oriental de la cuenca neuquina.

Para cumplir este objetivo existe una importante sinergia de actividad conjunta en los bloques Paso de las Bardas Norte y CN-VII A, que permitirá evaluar de esta manera un mayor volumen de recursos y la respectiva productividad de la Formación.

La propuesta es la realización de dos pozos horizontales en la Fm. Vaca Muerta, partiendo desde una única locación ubicada en el límite de los dos bloques. Cada pozo tendrá una extensión de rama horizontal de 1000 metros y 17 etapas de fractura, con un pozo vertical piloto en el área CN-VII A que permitirá la adquisición de datos e información para determinar el mejor nivel de navegación.





Es por lo mencionado que la rama horizontal de uno de los pozos se perforará en dirección al área CN-VII A y la rama horizontal del segundo pozo se dirigirá hasta el bloque Paso de las Bardas Norte siempre dentro de una misma locación y de acuerdo con las siguientes características:

- Pozo en CN-VII A: La propuesta es la perforación de un pozo piloto vertical que como ya fue mencionado, permitirá adquirir la información (registros eléctricos y geológicos de pozo), que permita la definición de la zona de navegación para el posterior side-track y perforación de una rama horizontal de 1000 metros hacia el norte. La completación de la sección horizontal se realizaría mediante 17 fracturas hidráulicas no convencionales distanciadas aproximadamente en 60 m.
- Pozo en Paso de Las Bardas Norte: será un pozo con rama horizontal de 1000m con dirección sur, y 17 fracturas hidráulicas en la etapa de completación en alguno de los niveles definidos en el piloto vertical perforado en el área CN-VII A.

YPF tiene previsto iniciar la operación de perforación en el tercer cuatrimestre del presente año.

Asimismo, y debido a que la resolución 249-2018 del Departamento General de Irrigación, reglamenta aspectos propios de su competencia para el proyecto propuesto es que hacemos llegar al Sr. Superintendente la siguiente documentación:

- Descripción Técnica del Proyecto.
- Detalles que impiden la provisión de agua de formación necesaria para la estimulación hidráulica y la solicitud de exceptuar el art. 3 para la realización de este piloto.
- Plan de Monitoreo Propuesto con las características y ubicación del Pozo Monitor CN VIIA M-1. Aprobado Res. 615-2021 y 685-2022.



Por lo ut supra mencionado, solicitamos al Sr. Superintendente se tenga por informado de nuestro proyecto y nos conceda el permiso de utilización de agua a tomar del Río Colorado para la realización de este.

Sin otro particular, saludamos a Ud. con atenta consideración.



**PROYECTO VACA MUERTA MENDOZA**

**PROPÓSITO DE YPF:** Es convertir recursos naturales en energía para mejorar la calidad de vida de las personas e impulsar el progreso del país.

**EXPLORACIÓN:** Es una actividad de interés público nacional y consiste en la búsqueda constante de nuevos activos y es parte esencial de la generación del ciclo de valor de las compañías energéticas integradas.

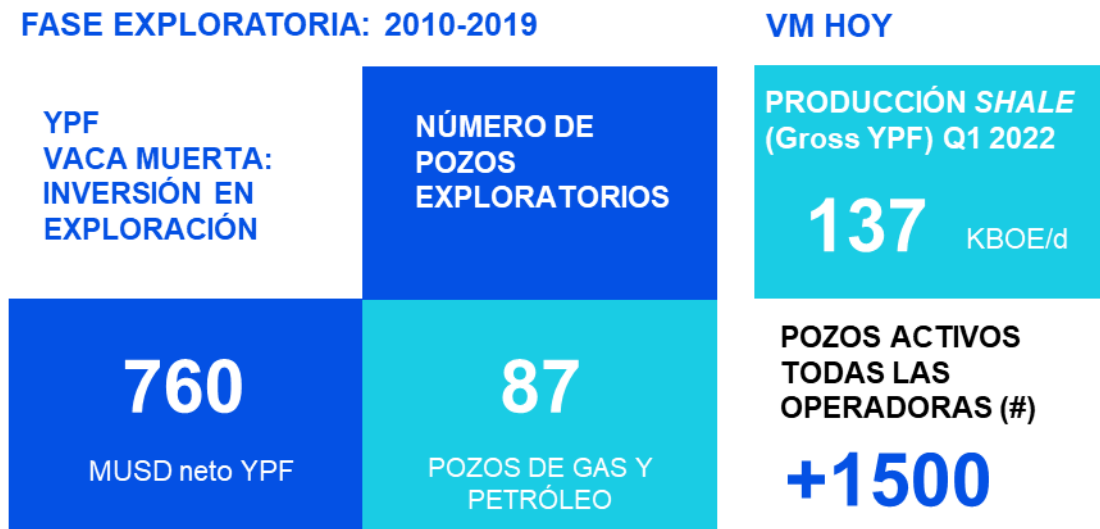
YPF, a lo largo de su historia, ha generado los descubrimientos de hidrocarburos más importantes de todo el país y EXPLORAR es un eslabón fundamental de la cultura de la compañía.

**A.- EXPLORACIÓN VACA MUERTA: descripción del proyecto**

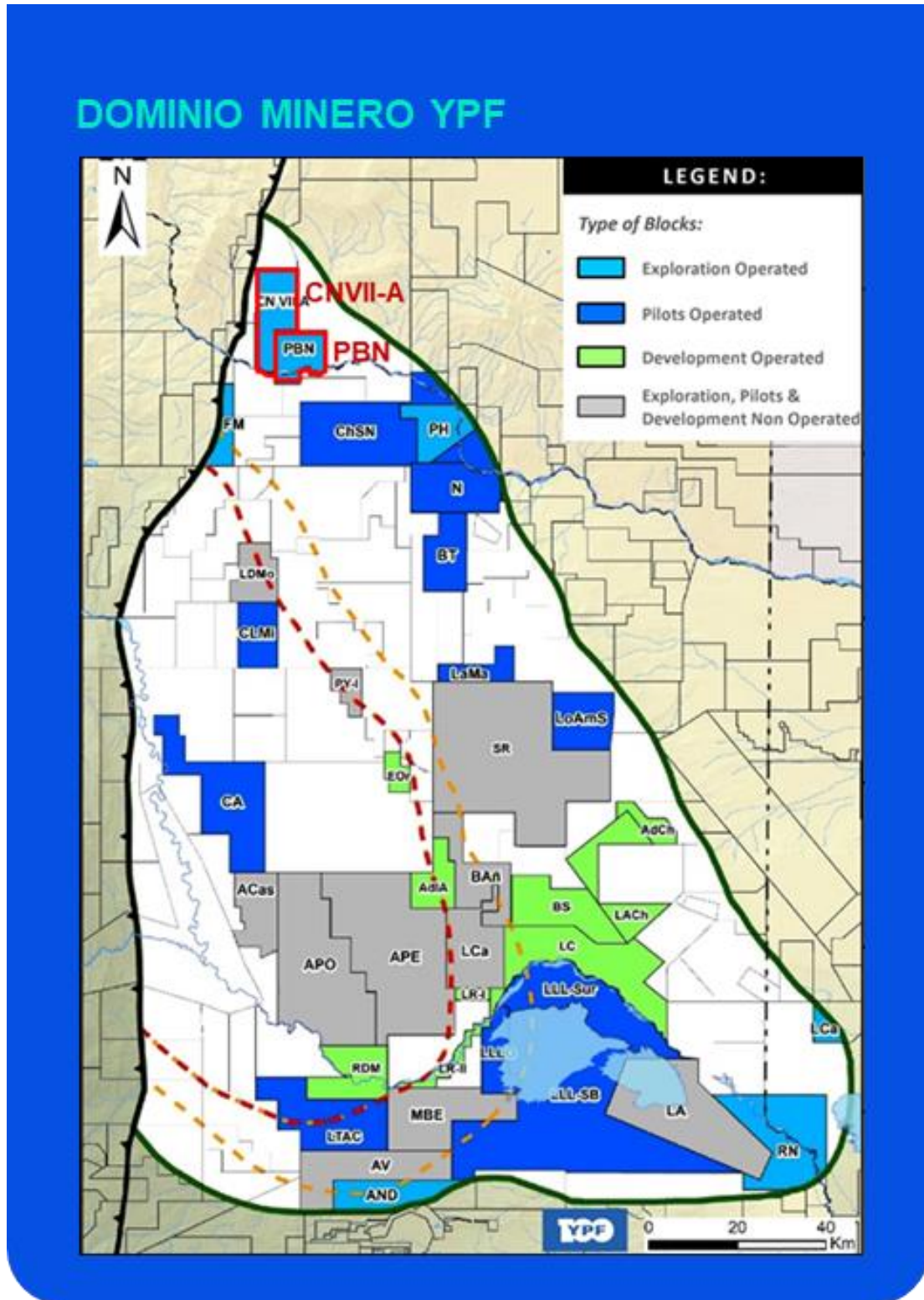
VACA MUERTA es una formación geológica de 30.000 km<sup>2</sup> ubicada principalmente en la provincia de Neuquén, pero también en el sur Mendocino y Oeste de Río Negro, que contiene grandes volúmenes de gas y petróleo a más de 2500 metros de profundidad.

HOY representa un “hub” energético con potencial de transformarnos en un país exportador de energía.

**ACTIVIDAD EXPLORATORIA 2010-2019: DEFINICIÓN DEL HUB VACA MUERTA**



YPF S.A.  
 25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
 5500 Mendoza, Argentina.  
[mesadeentradasmendoza@ypf.com](mailto:mesadeentradasmendoza@ypf.com)  
 CUIT 30-54668997-9.



YPF S.A.  
25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
5500 Mendoza, Argentina.  
[mesadentradasmendoza@ypf.com](mailto:mesadentradasmendoza@ypf.com)  
CUIT 30-54668997-9.



## ¿DE QUÉ HABLAMOS CUANDO HABLAMOS DE *SHALE PLAYS*?

GENERACIÓN

EXPULSIÓN

MIGRACIÓN

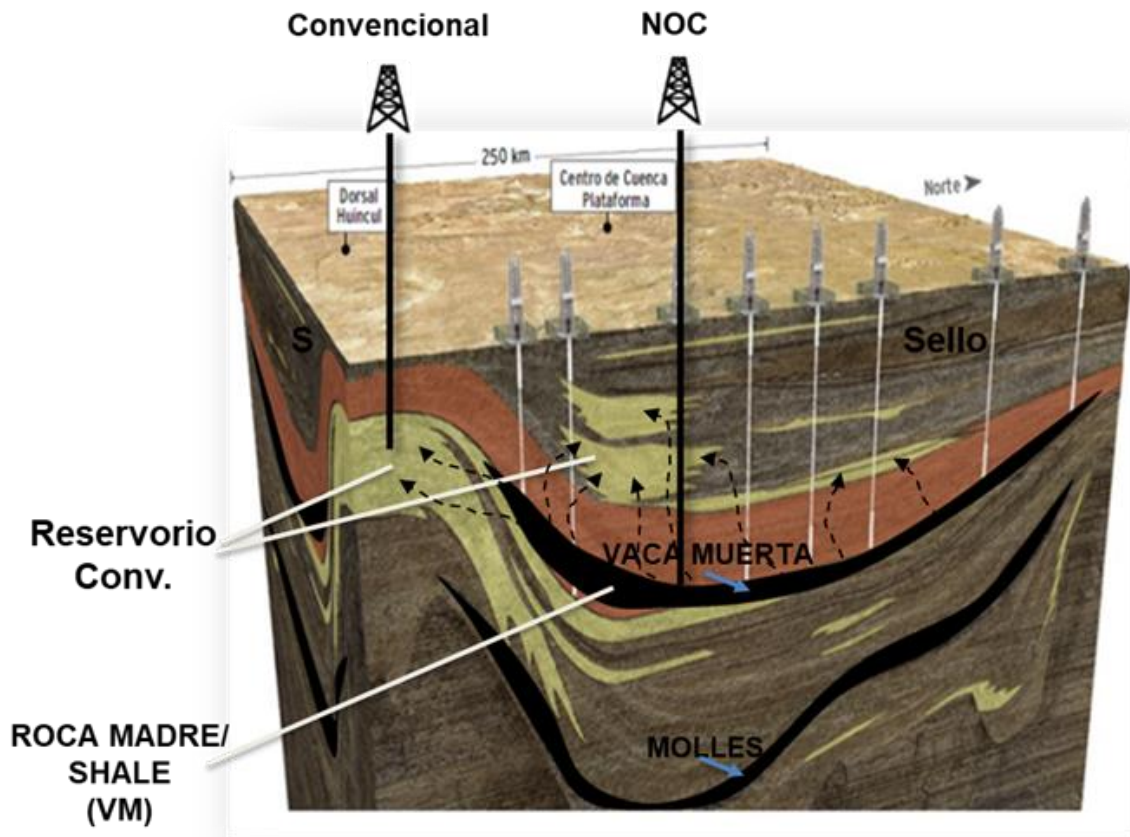
Hablamos de rocas de grano muy fino, de extremadamente baja permeabilidad que tienen un elevado contenido de materia orgánica (COT) que, por efectos de presión y temperatura, sufre transformaciones que dan lugar a la generación de hidrocarburos. Se las denomina rocas madre.

Parte del hidrocarburo generado es **expulsado fuera de la roca madre** y, luego de un proceso **de migración**, se aloja en rocas reservorio (convencional).



El término "shale" describe una gran variedad de rocas constituidas por partículas **extremadamente pequeñas (<4µ)**





## ¿EN QUÉ CONSISTE LA ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA?

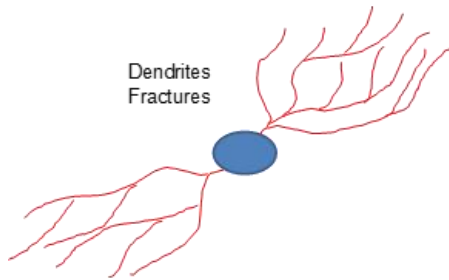
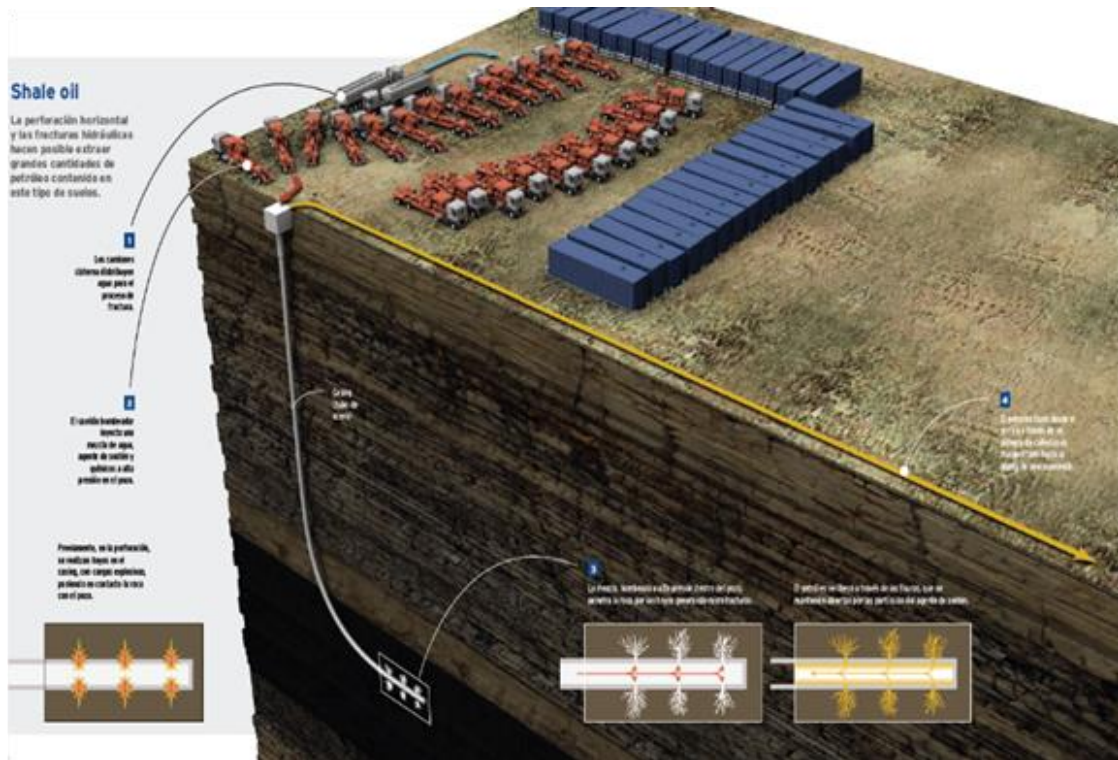
### HC RETENIDO

Parte del hidrocarburo queda contenido en la roca madre (generadora).

Los reservorios NOC sólo pueden producir volúmenes comerciales de hidrocarburos mediante técnicas de **estimulación hidráulica**.

### ESTIMULACIÓN HIDRÁULICA

Hoy se aplican tecnología de última generación en estimulación con los más altos estándares de seguridad aplicados a esta técnica que aseguran la eficiencia y el cuidado del medio ambiente.



Durante la inyección las fracturas se abren



Cuando se para la inyección, las fracturas se cierran



La arena (apuntalante) impide que las fracturas se cierren y permite la producción de gas

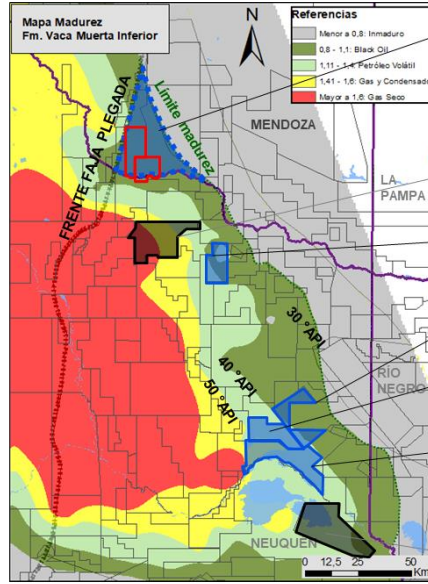
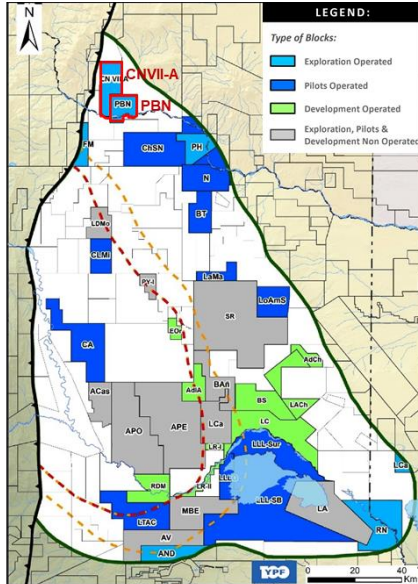


YPF S.A.  
25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
5500 Mendoza, Argentina.  
mesadeentradasmendoza@ypf.com  
CUIT 30-54668997-9.



## COMPARACIÓN ZONA "CORE" NEUQUÉN

### COMPARACIÓN ZONA CORE NEUQUÉN



**YPF** ZONA DE INTERES AL NORTE DEL RÍO COLORADO \*  
**800 Km<sup>2</sup>**  
**MENDOZA**

**Chvron** El Trapial \*\*

**YPF** Bajo del Toro \*\*  
Ingresa fase de desarrollo

**YPF** La Amarga Chica  
48,5 kboe/d

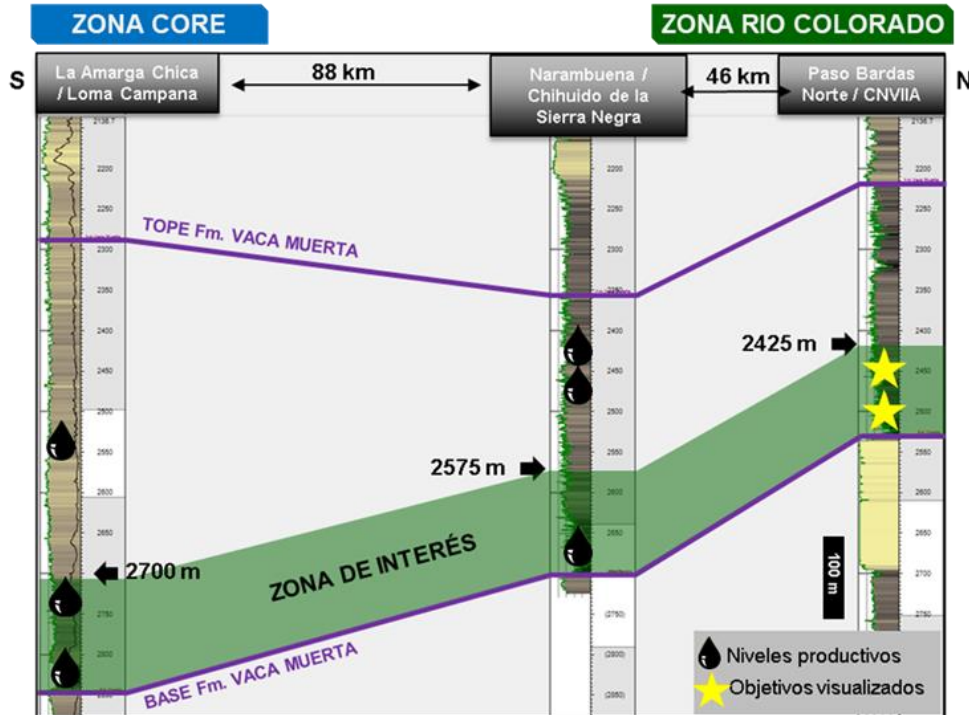
**YPF** Bandurria Sur  
31,3 kboe/d

**YPF** Loma Campana  
82 kboe/d

**Pan American ENERGY** Lindero Atravesado  
18,4 kboe/d

\* Payún Oeste / CNVIA / PBN / ChSS / CAM \*\* CENCH otorgada

## CORTE N-S: RÍO COLORADO AL HUB CORE

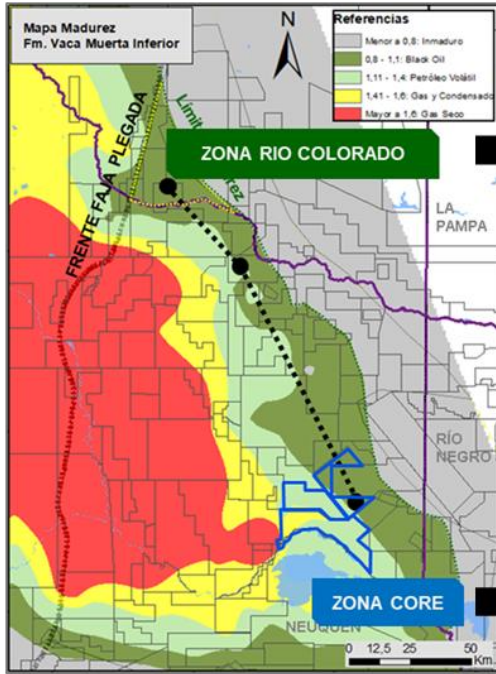


YPF S.A.  
25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
5500 Mendoza, Argentina.  
mesadeentradasmendoza@ypf.com  
CUIT 30-54668997-9.





### MAPA MADUREZ F. VACA MUERTA



**ZONA RIO COLORADO**

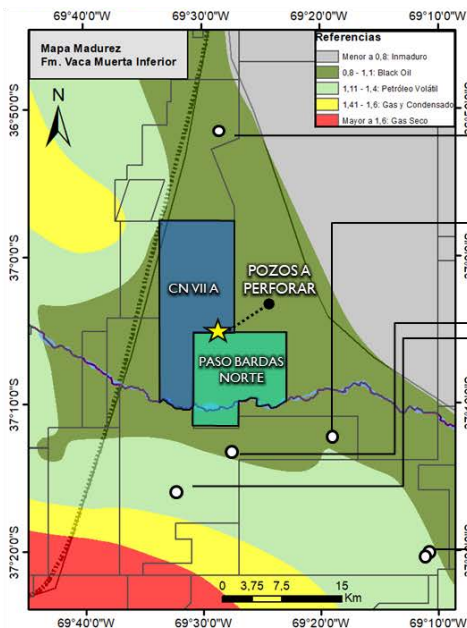
MADUREZ P° negro  
 DENSIDAD (°API) 30-39  
 COT 3-6%  
 FRACTURABILIDAD buena  
 PROFUNDIDAD 2200-2800 m  
 SOBREPRESIÓN 0.7 psi/ft

**ZONA CORE**

MADUREZ P° liviano  
 DENSIDAD (°API) 30-49  
 COT 4-6%  
 FRACTURABILIDAD buena  
 PROFUNDIDAD 2500-3000 m  
 SOBREPRESIÓN 0.9 psi/ft

### BLOQUES PASO DE LAS BARDAS NORTE Y CN VII A

#### ANTECEDENTES



**YPF**  
**YPF.MdN.LaFi.x-1 (La Fija.x-1)**  
 Año 2011  
 Dos etapas de fractura: Caudal 100 m<sup>3</sup>/d P° (25° API). Acumuló 1,93 Km<sup>3</sup> de P°

**YPF**  
**YPF.Nq.Corr.x-1 (Corralera.x-1)**  
 Año 2012  
 Cuatro etapas de fractura. Caudal 4 m<sup>3</sup>/d de P° (44° API), y 30 km<sup>3</sup>/d de gas con CO2

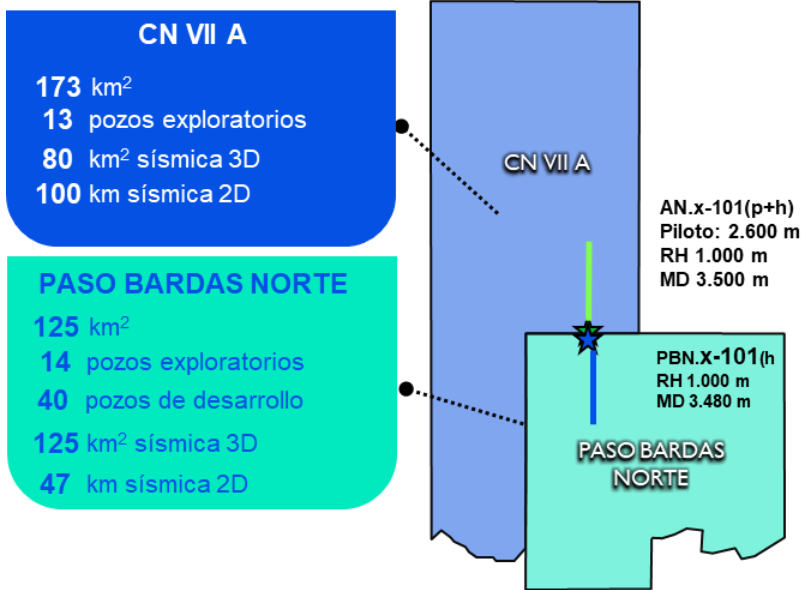
**phoenix GLOBAL RESOURCES**  
**Kil.Nq.CoNE.x-1(hz) (Corralera Noreste) - Kil.Nq.CoSu.x-1(hz) (Corralera Sur)**  
 Año 2022  
 Ensayaron agua de formación + 5% P° con CO2 (45-50° API)

**YPF**  
**YPF.Nq.ChSN-701(horizonta) (Chihuido de la Sierra Negra)**  
 Año 2019  
 29.000 m<sup>3</sup> P° acumulado (37,5° API)  
**ChSN-700(horizonta) (Chihuido de la Sierra Negra)**  
 Año 2019  
 23.500 m<sup>3</sup> P° acumulado (35,8° API)

YPF S.A.  
 25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
 5500 Mendoza, Argentina.  
[mesadeentradasmendoza@ypf.com](mailto:mesadeentradasmendoza@ypf.com)  
 CUIT 30-54668997-9.



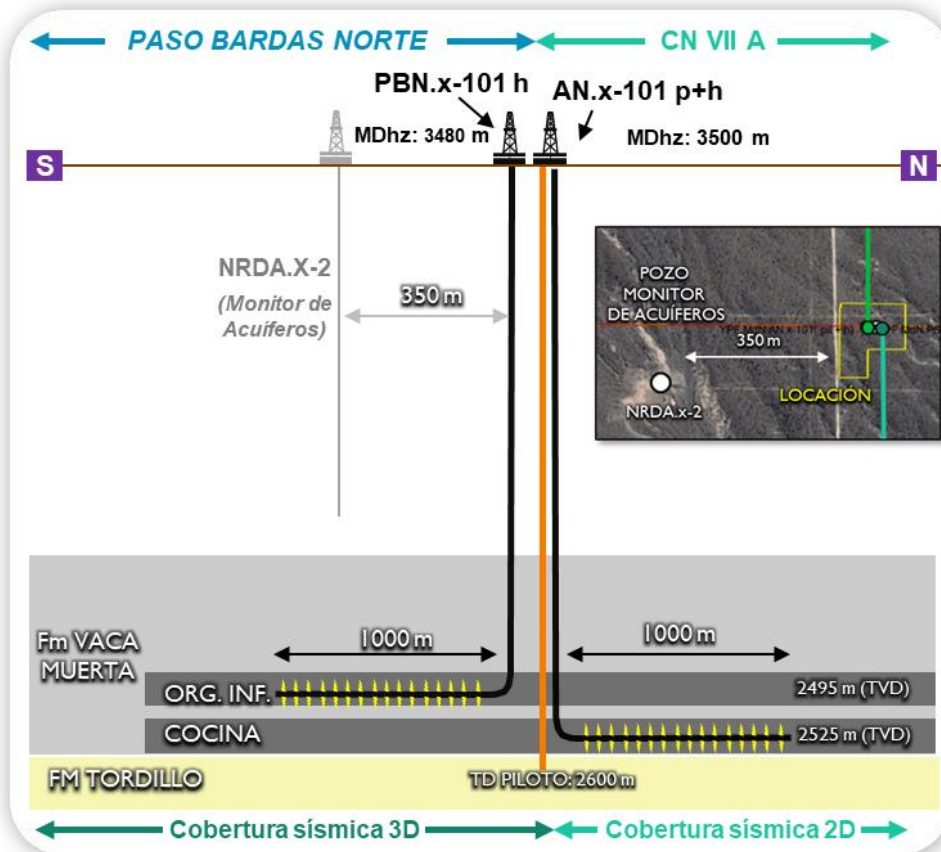
**ACTIVIDAD PROPUESTA**



**PERFORACIÓN:** 1 pozo piloto vertical y 2 ramas horizontales de 1.000 m hacia el norte y hacia el sur.

**TERMINACIÓN:** 17 fracturas hidráulicas distanciadas 60 m entre sí. Diseñadas con 1500 m<sup>3</sup> de agua y 5000 bls. de arena cada una.

**COMPROMISO 1° P.E.:** 928,78 UTs se cubrirán en exceso (60%) con la ejecución del proyecto.



YPF S.A.  
 25 de Mayo 1084, Entrepiso.  
 5500 Mendoza, Argentina.  
 mesadeentradasmendoza@ypf.com  
 CUIT 30-54668997-9.



## ORIGEN Y USO DEL AGUA DE FRACTURA

- Para la estimulación hidráulica de los pozos exploratorios del proyecto del sur de Mendoza, YPF estima que se requerirán **50.000 m3 de agua**.
- **Existe dificultad técnica** (Planta de Chihuído de la Salina) para suministrar el agua de producción.
- **Riesgo ambiental, operativo y logístico para transportar** y almacenar esa agua en camiones y piletas desde la planta al pozo.
- El agua de producción contiene sólidos, sales, e HC, que comprometen la calidad, e introducen riesgos de obliterar la producción de los pozos fracturados, y de esta manera **atenta con no conocer el verdadero potencial de Vaca Muerta. Elemento CRÍTICO en la etapa exploratoria.**
- Por estos motivos **es CRÍTICO para YPF contar con la autorización para utilizar agua dulce del Río Colorado en la etapa exploratoria.**



## **B.- Solicitud Permiso Uso de Agua Dulce (Punto 3. Res. 249)**

### **1) Dificultad técnica de la PIA (Pta. de Inyección de agua) CHLS para poder suministrar agua de producción:**

- a. Actualmente la cantidad de agua coproducida que se destina a los proyectos de inyección secundaria es de 2200 m<sup>3</sup>/d. Esta cantidad de agua es la mínima que nos permite inyectar la configuración actual de las bombas de la PIA CHLS ya que se encuentran prácticamente en su presión de cierre (150 kg/cm<sup>2</sup>) y fuera de su punto de operación óptimo. En el caso de utilizar agua de formación en el cargadero de la PIA CHLS deberíamos parar cíclicamente la inyección de agua aproximadamente día por medio (utilizando 200 m<sup>3</sup>/d para proveer a los camiones de logística).

Implicancias para la planta de CHLS:

- Pondría en riesgo la integridad de toda la instalación (acueductos troncales, satélites, líneas de pozos y la propia instalación de fondo de los pozos inyectores) ya arranques y paros cíclicos del sistema de inyección producen golpes de ariete que resienten todas las instalaciones.
- Una vez que se retome la inyección, se debe verificar la inyectividad el estado, y los posibles cambios con equipo de Wireline. Probablemente exista arrastre de sólidos en la puesta en marcha, debiendo realizarla de manera progresiva.
- Produciría una merma en la producción del proyecto de secundaria de PTC CHLS. Las simulaciones indican una disminución de producción en torno al 16% del total producido en enero 2022.

En resumen, la disponibilidad de agua de producción en las plantas de YPF en CHLS no es suficiente para cubrir el volumen requerido para ejecutar las 16 etapas de fractura que equivalen a 25.000 m<sup>3</sup> por cada pozo, en un lapso de 15 días.

### **2) Calidad del agua de producción:**

- a. El agua de inyección proviene de las formaciones de Chihuído de la Salina, Cañadón Amarillo, El Portón, y agua del Complejo Industrial El Portón. Actualmente se realizan bacheos de químicos para estabilizar PH y controlar la formación de carbonatos. Si el agua se va a acumular en tanques para luego estimular, el contacto con aire/oxígeno produciría la decantación de carbonatos aportando sólidos. Se estima que, al estar almacenada en piletas durante períodos de tiempo prolongados produciría una cantidad importante de sólidos, principalmente carbonatos en suspensión, lo que podría afectar la performance de los fluidos de fractura. Se indica en Imagen 1 diagrama de proceso de la PIA CHLS.

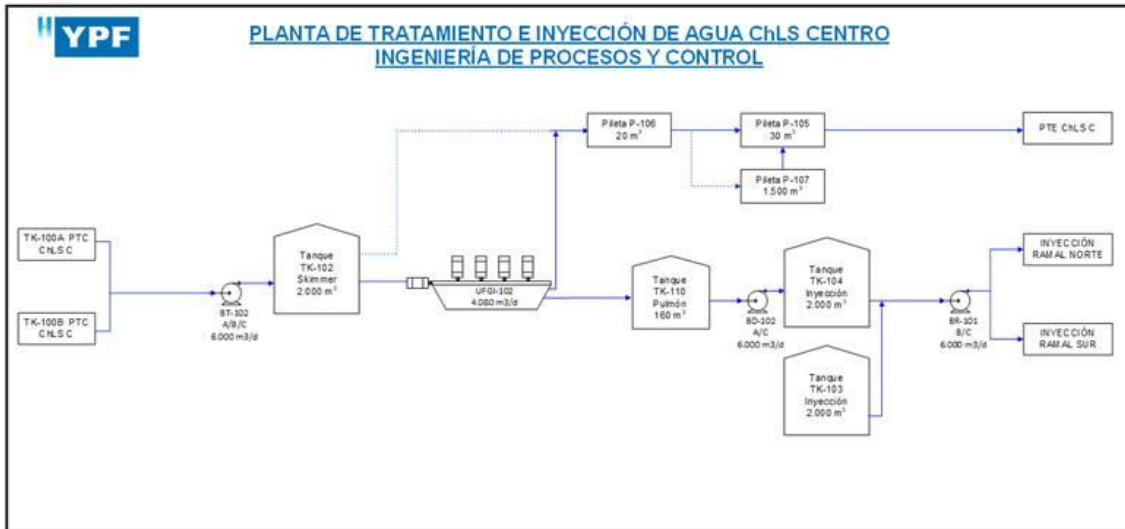


Imagen 1

### 3) Operativa del servicio de logística de agua:

a. Se estima por los tiempos de carga, distancias y descarga de los camiones, una unidad trabajando 24 hrs. no podrá realizar más de 3 viajes diarios. Esto implica un gran movimiento de camiones para poder transportar la cantidad de agua necesaria para las fracturas con los riesgos asociados a transportar agua coproducida. En la Imagen 2 se puede apreciar el recorrido más probable para un posible transporte de líquidos, donde, como se puede ver cada viaje de agua implica un recorrido de 75 km. En la imagen también se muestra:

- En círculos amarillos marcas que representan puntos de escorrentía donde habitualmente ocurren cortes de los caminos debido a las altas precipitaciones (primavera-verano) las que implicarían un riesgo de corte intermitente (hasta reparación) del suministro de agua.
- En círculo rojo se indica la denominada Cuesta del Álamo, que presenta dificultad para vehículos de gran porte con carga lo que presenta riesgo de incidente de este tipo.

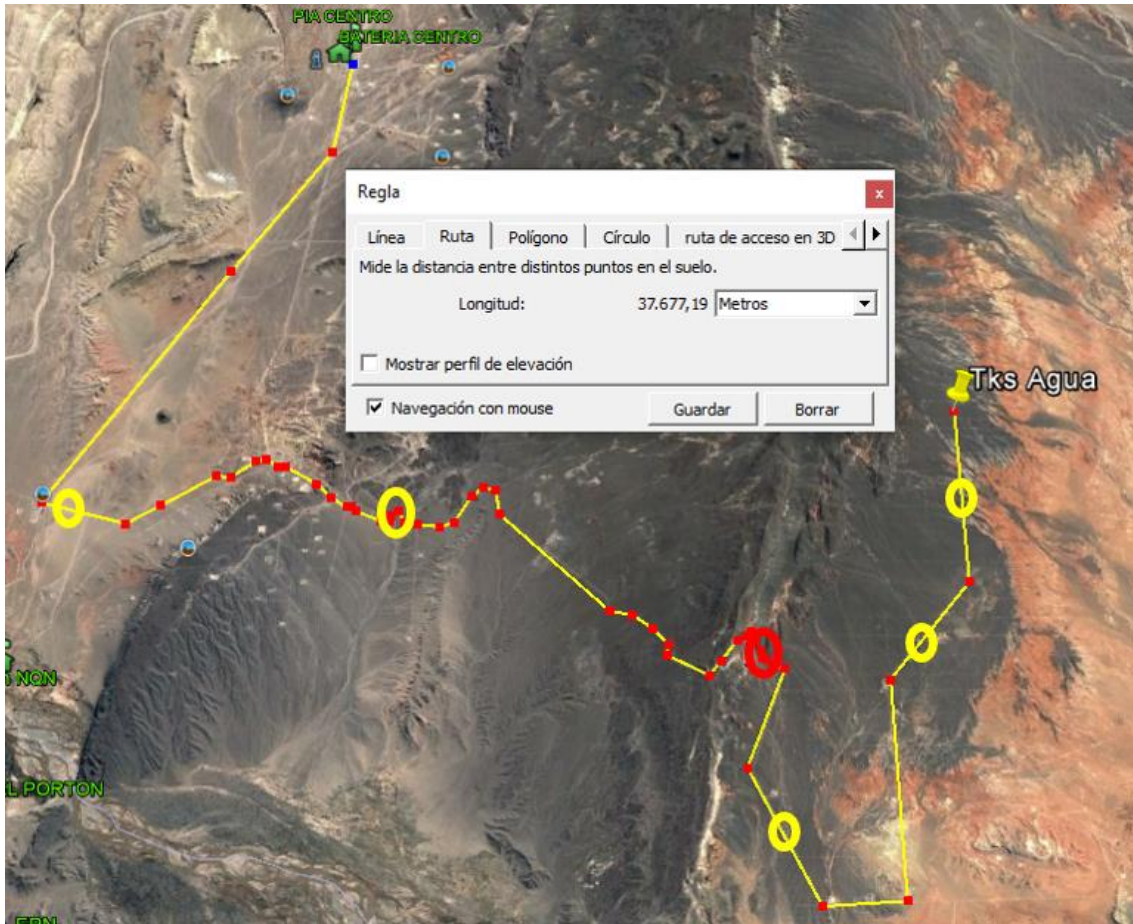


Imagen 2

#### 4) Presencia de otros Operadores en la zona que pudieren proveer el agua de producción

En función de lo solicitado por la resolución 249-2018 del Departamento General de Irrigación en referencia a solicitar agua de producción a Operadores cercanos, informamos que uno de los operadores en la zona sur de la provincia de Mendoza es Pluspetrol en la concesión CNQ-7 que dista unos 150 km del proyecto. Esta distancia determina que el transporte mediante camiones sea inviable.

Otros operadores menores se ubican en el ámbito de los alrededores de la ciudad de Malargüe, distante a más de 200 km de la ubicación del proyecto.

Por lo tanto, creemos que esta alternativa aparece como impracticable para este proyecto en particular.



**Resumen:**

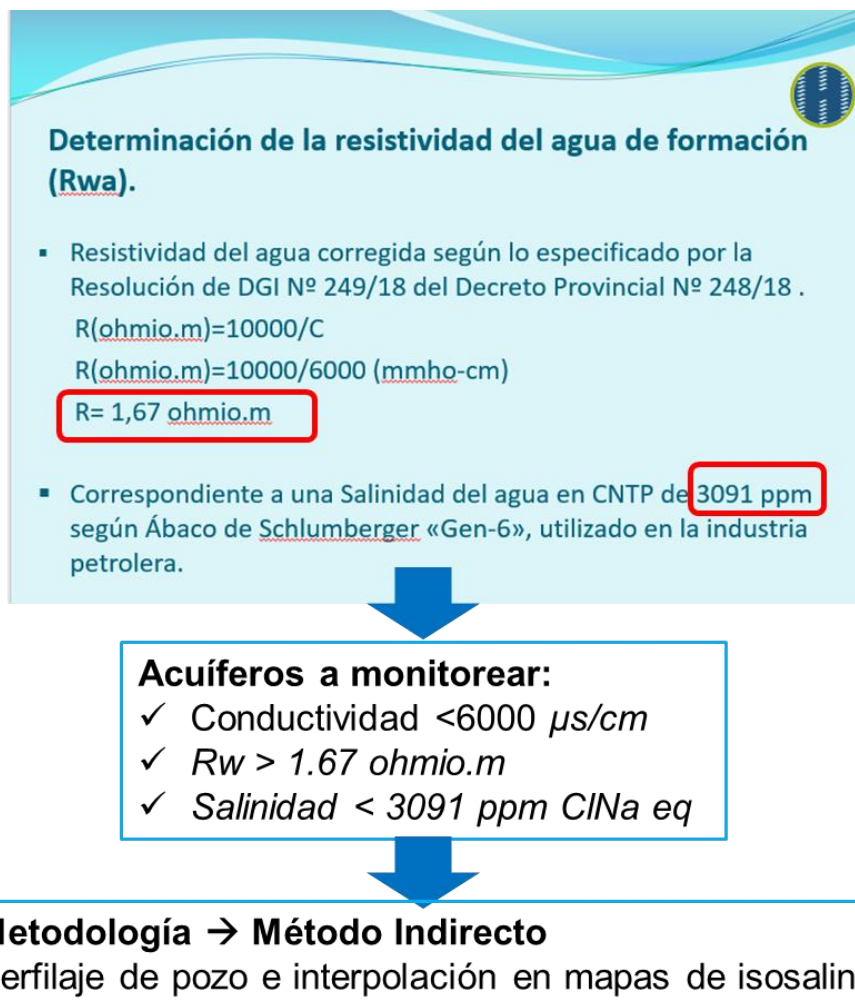
- Atendiendo a todo lo expuesto, **YPF solicita que, en esta etapa exploratoria**, el Departamento General de Irrigación conceda el permiso de utilización de agua a tomar del Río Colorado para la realización de este proyecto.



### **D.- Plan de monitoreo: (Punto 2. Res. 249)**

La Resolución N.º 249/18 del DGI establece que en función de los resultados de los estudios de Línea de Base Hidrológica e Hidrogeológica, la empresa deberá proponer al DGI un Plan de Monitoreo, el cual deberá contar con requerimientos mínimos, entre ellos:

- *Debe contar con pozos de monitoreo que permitan el acceso y muestreo del agua subterránea en todos los acuíferos descriptos que presenten una conductividad eléctrica inferior a 6.000  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en los estudios previos.*
- *El DGI podrá exigir la construcción de pozos de monitoreo, aprobar su localización, profundidad y diseño constructivo; en la cantidad suficiente en función de las características de la Línea de Base hidrogeológica. Deberán ser construidos con carácter previo al inicio de las actividades del proyecto.*







**Ubicación del pozo monitor de acuíferos**

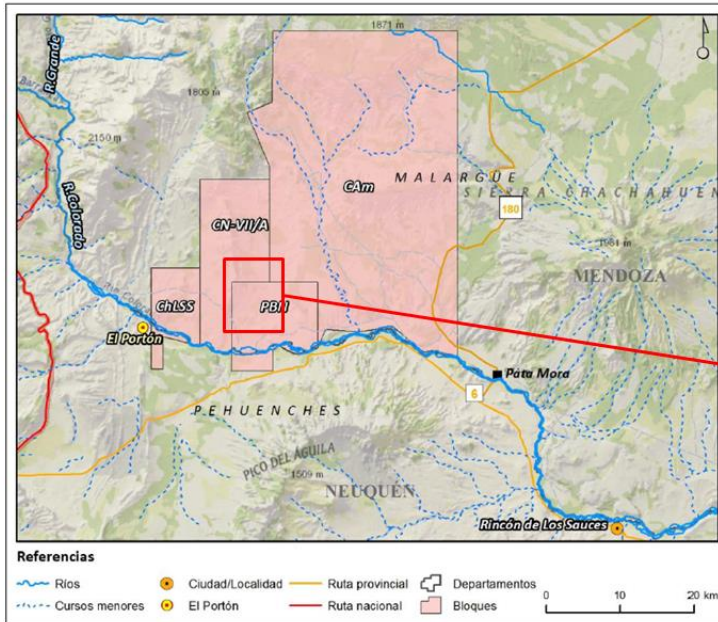
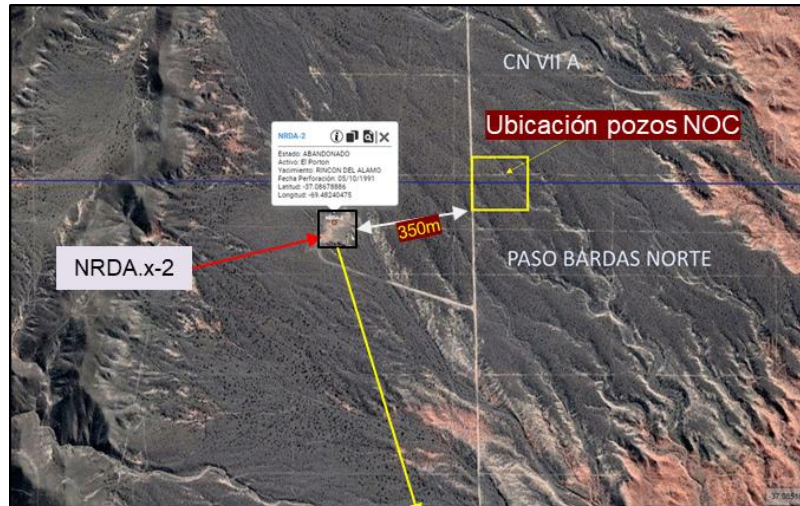
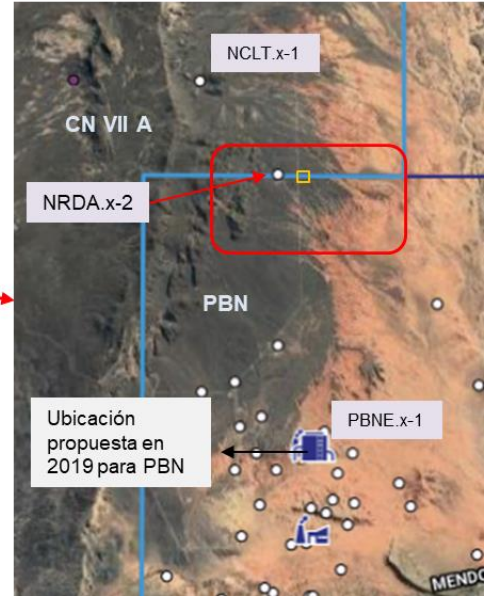


Figura 2.1: Ubicación general y accesos a la zona de estudio.



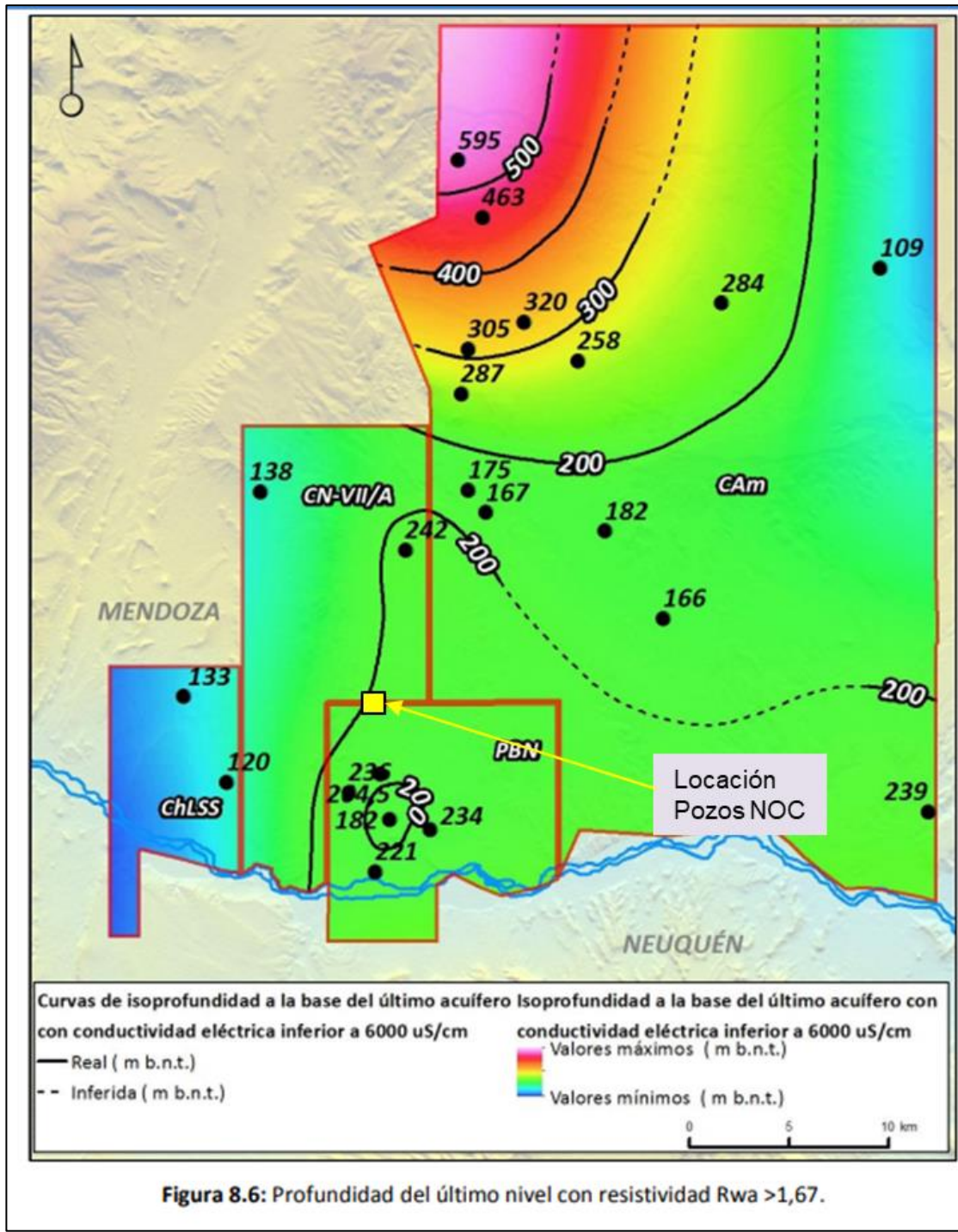
Posición propuesta para pozo monitor de acuíferos.  
 Locación del pozo abandonado **Rincón del Alamo x-2**.  
 Ubicado a 350 metros al oeste de los pozos a estimular.

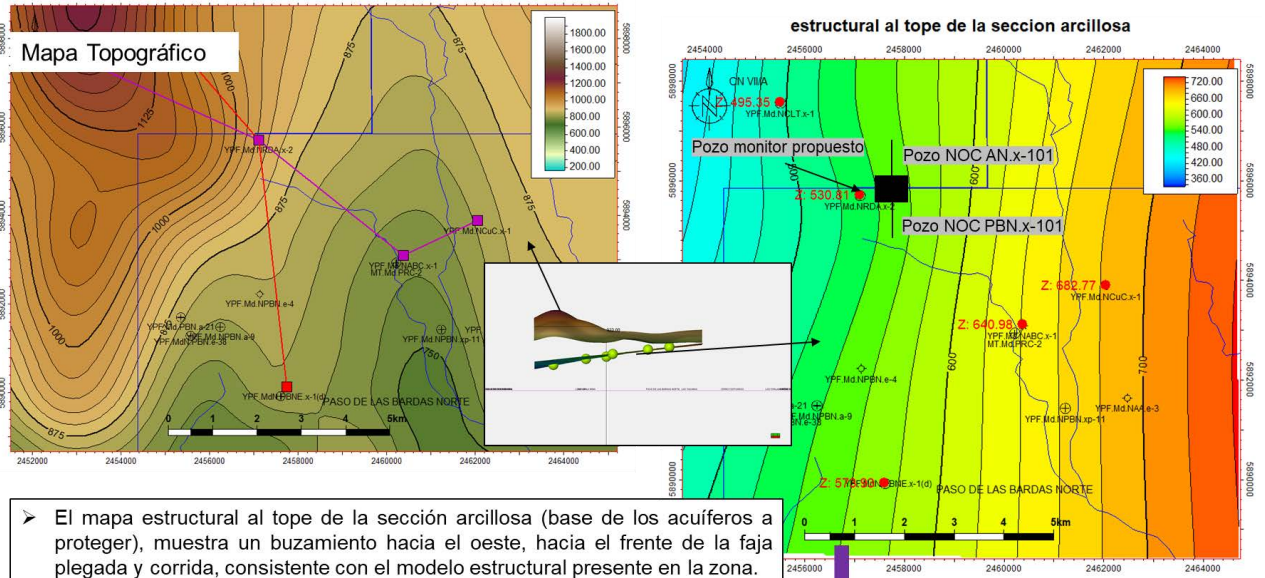
Coordenadas Gauss Kruger (Chos Malal)

x: 5.895.870,02  
 y: 2.457.034,88  
 z: 922 msnm



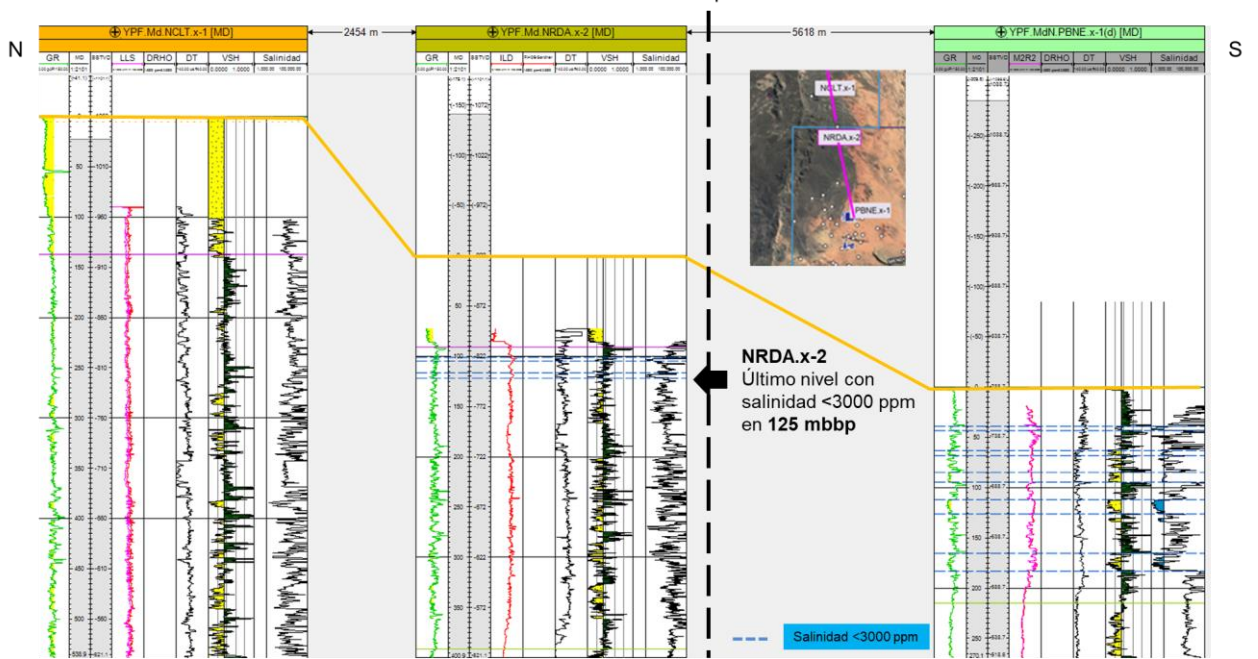
**Mapa de isoprofundidad último acuífero con conductividad <math><6000 \mu\text{s}/\text{cm}</math>**





- El mapa estructural al tope de la sección arcillosa (base de los acuíferos a proteger), muestra un buzamiento hacia el oeste, hacia el frente de la faja plegada y corrida, consistente con el modelo estructural presente en la zona.
- Asumiendo un modelo teórico sin influencia del río en la recarga, se puede considerar que el movimiento gravitacional del agua subterránea sigue el buzamiento de la capa.

Corte Estructural NCLT.x-1 – NRDA.x-2 – PBNE.x-1

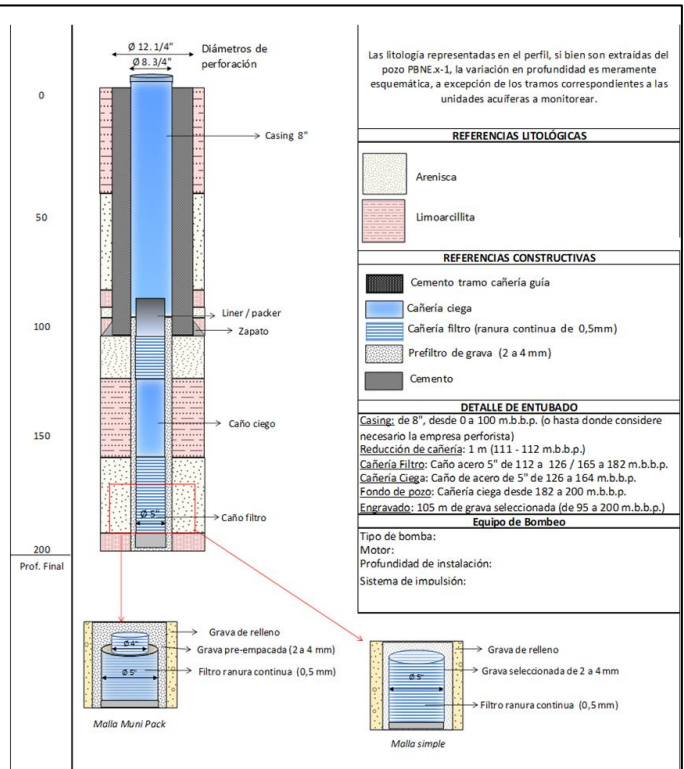
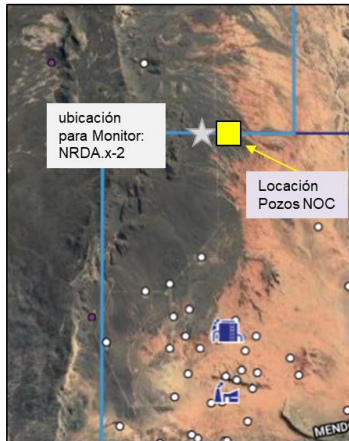


YPF S.A.  
 25 de Mayo 1084, Entepiso.  
 5500 Mendoza, Argentina.  
 mesadentradasmendoza@ypf.com  
 CUIT 30-54668997-9.



## Diseño preliminar pozo monitor

Locación: NRDA.x-2



## Conclusiones:

- Según cálculo de  $R_w$  en pozo NRDA.x-2, donde se prevé colocar el pozo Monitor, no se interpretan niveles acuíferos con  $R_w > 1,67 \text{ ohm.m}$  por debajo de los 125 mbbp (equivalentes a una conductividad  $< 6000 \mu\text{S/cm}$  y salinidad  $< 3000 \text{ ppm}$  de ClNa eq).
- Asumiendo un modelo teórico sin influencia del río en la recarga, se puede considerar que el movimiento gravitacional del agua subterránea sigue el buzamiento de la capa.
- Se recomienda colocar el monitor en la locación del pozo abandonado YPF.Md.NRDA.x-2 ya que el mapa estructural del nivel impermeable por debajo de los acuíferos presentes buza hacia el oeste, por lo que esta ubicación al oeste de los pozos productores sería un óptimo punto de monitoreo.
- Este pozo monitor se encuentra aprobado Res. 615-2021 y 685-2022 del DGI.
- De acuerdo con los resultados de la perforación, se definirá un plan de monitoreo que se acordará con Irrigación.



A continuación, se propone el siguiente plan de monitoreo en el pozo perforado:

ACCIONES QUE EVALÚAN IMPACTO	DESCRIPCIÓN / INDICADOR	FRECUENCIA	REPORTE
Monitoreo del primer nivel acuífero	Muestreo del contenido de los iones mayoritarios, minoritarios, y trazas del acuífero	1 muestra de 2 litros, previo purgado de pozo, cada tres meses	Análisis físicoquímicos (según requerimientos DGI 249/2018) y evaluación de la evolución en el tiempo

Es muy importante y necesario establecer un muestreo de línea base (Un blanco o Cero para la zona), por ello se muestreará el pozo monitor antes que se desarrolle actividad de perforación y estimulación de los pozos.

Es recomendable, además, que, si pasa un tiempo considerable desde la perforación del pozo monitor y la actividad de perforación y estimulación, hacer un muestreo también para entender posibles variaciones en el tiempo por influencia de infiltración vertical o recarga por parte del río.

*“Una completa caracterización físicoquímica del agua, implica conocer no solo los iones mayoritarios, es decir, concentraciones de 1-1000 ppm (Cationes: Calcio, magnesio, sodio. Aniones: cloruros, bicarbonato, sulfato) también es necesario conocer los constituyentes secundarios en concentraciones de 0,01 -10 ppm (hierro +2 hierro +3, carbonato, estroncio, potasio, flúor, boro, nitrato, nitrito) constituyentes menores en concentraciones de 0,0001-0,1 ppm (Antimonio, Aluminio, Arsénico, Bario, Bromato, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, Plomo, Litio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Selenio, Uranio, Vanadio, Zinc, etc.) y constituyentes traza presentes generalmente en concentraciones menores a 0,001 ppm (Berilio, Bismuto, Cesio, Plata, Estaño, Talio, etc.).”*

---

**YPF S.A.**

**Provincia de Mendoza**

***1.10.4 ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL SUR DE MENDOZA***

# ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL SUR DE MENDOZA

## RESUMEN

El presente informe estima la amenaza sísmica entorno al sitio 37.14°S, 69.49°O, ubicado al sur de la pcia. de Mendoza, considerando la sismicidad en el área delimitada por los meridianos 35.2°S-38.9°S y los paralelos 67.5°O-71.5°O a fin de incluir todas las fuentes sismogénicas que pudiesen afectar al sitio de estudio y establecer un nivel base de actividad sísmica. Para ello, se recopila la información disponible en catálogos públicos en el período 1970-2019 analizando su completitud y homogeneizando las magnitudes reportadas a escala de magnitud momento (Mw). Comparando con la información geológica y sismotectónica disponible, se definen 7 zonas sismogénicas teniendo en cuenta profundidades de las fuentes, variaciones en la densidad superficial de epicentros y principales estructuras que originan dicha actividad. Para cada una de esas zonas, mediante técnicas probabilistas, se estiman las curvas de excedencia de magnitudes correspondientes a sismos de diseño propuestos considerando cuatro períodos de retorno seleccionados según la vida útil de las obras a desarrollar en el sitio. Con dichas magnitudes se evalúan las aceleraciones máximas más probables empleando fórmulas de atenuación disponibles en la bibliografía para áreas similares a la de estudio.

## INTRODUCCIÓN

Un **peligro** es un evento físico, de origen natural o antropogénico, que puede ser perjudicial para la vida y la salud, la subsistencia, la propiedad, la economía o el medio ambiente. La **peligrosidad** de un proceso natural es una medida de su capacidad de afectar a una región y es un parámetro intrínseco del proceso, su fuente y la región, e independiente de la existencia de infraestructura o personas que pudiesen ser afectadas. El **riesgo**, por otro lado, es una descripción y medida de las consecuencias potencialmente perjudiciales y resulta de las interacciones entre peligros naturales y condiciones humanas para una determinada área y para un período de referencia.

Un **desastre** es una interrupción significativa del funcionamiento de una comunidad o sociedad que causa pérdidas humanas y/o materiales, económicas o ambientales excediendo la capacidad de la comunidad o sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando sus propios recursos. Es decir que un desastre es función del proceso de riesgo. Resulta de la combinación de amenazas, condiciones de vulnerabilidad e insuficiente capacidad o medidas para reducir las consecuencias negativas y potenciales del riesgo.

Entre los peligros naturales con mayor incidencia en la estimación del riesgo y por ende en la ocurrencia de desastres, se encuentran los terremotos. Un **terremoto o sismo** es una liberación brusca de energía que se genera en la litósfera terrestre debido a la acumulación continuada de esfuerzos. La energía liberada en la fuente del sismo se propaga por el subsuelo provocando, a su paso, el movimiento del terreno.

La **peligrosidad sísmica** puede expresarse a través de la probabilidad de igualación o excedencia de un cierto valor de la intensidad del movimiento del suelo producto de la

ocurrencia de sismos, en un determinado espacio y durante un período de tiempo estipulado (Ramírez Rayo et al., 2008; Ortiz Panchi, 2013). De esta manera, la definición de peligrosidad comprende la evaluación del nivel de movimiento del suelo que constituya un peligro potencial para el espacio analizado en un período de exposición.

Sea  $L$  un nivel de excedencia asociado a una probabilidad previamente evaluada, y sea  $t$  el tiempo para el cual es esperable que suceda un sismo en el área de influencia tal que el movimiento ocasionado ( $l$ ) supere a  $L$ ; la probabilidad de exceder el nivel  $L$  es la peligrosidad  $H$ ,

$$H = P(l \geq L, t).$$

Comúnmente, se utiliza la probabilidad de excedencia anual ( $t = 1$  año), por lo cual,  $H = P(l \geq L)$ .

La peligrosidad  $P$  puede ser calculada mediante métodos deterministas o probabilistas. Su evaluación mediante métodos probabilistas presenta la ventaja de proveer una estimación de la probabilidad anual de excedencia (parámetro fundamental de su definición), así como de la incertidumbre de los cálculos (Cornell, 1968). Estos métodos probabilistas deducen las relaciones de recurrencia de los eventos sísmicos en una zona a partir de un espectro de diseño en base a una familia representativa de sucesos. Sin embargo, los métodos puramente probabilistas poseen la desventaja de no poder proporcionar información unívoca para la definición de sismos de diseño (o eventos tipo), a diferencia de los métodos deterministas. Estos últimos, basados en la evaluación del escenario más desfavorable, permiten la construcción de sismos de diseño a partir de parámetros como la aceleración pico del suelo o la intensidad macrosísmica. Por ello, en los últimos años, se han propuesto procedimientos para la estimación de la peligrosidad en base a la combinación de métodos probabilistas (estimación de probabilidades anuales de excedencia) y deterministas (definición de sismos de diseño) (USACE, 1995; ICC, 2003). Estos métodos combinados buscan un aumento de la robustez en el cálculo de la peligrosidad (ej., McGuire, 2001; Kochkin y Crandell, 2003).

La aplicación de los métodos deterministas y probabilistas para el cálculo de la peligrosidad supone la previa selección de una metodología de zonificación del área de estudio o, bien, de un análisis del área completa, sin división. Las metodologías de zonificación comprenden la subdivisión del área de estudio en base a las particularidades geológicas (distribución de fallas, lineamientos, geomorfología, presencia de sistemas volcánicos, etc.) que definen sus características sismogénicas. Las metodologías no zonificadas sugieren la utilización de una única área alrededor del espacio de interés; estas son generalmente utilizadas en casos de una reducida sismicidad (ej., Lapajne et al., 2003).

La evaluación de la peligrosidad requiere de un análisis de la naturaleza de los sismos ocurridos en la región de influencia.

## **SISMOTECTÓNICA**

### **Rasgos tectónicos continentales**

El territorio de la República Argentina ocupa gran parte de la mitad austral del continente sudamericano. De los tres rasgos primordiales que caracterizan al continente (Figura 1), dos se encuentran incluidos parcialmente en territorio argentino (la Plataforma Sudamericana y



la Cordillera de los Andes) mientras que el tercero se desarrolla íntegramente en territorio argentino (la Plataforma Patagónica). Cada uno de estos elementos contiene fracciones menores con historias geológicas complejas. Es así como el basamento primordial de Sudamérica se considera un complejo collage resultado de las interacciones entre placas y microplacas, procesos deposicionales, orogénicos, magmáticos y metamórficos que se estabilizaron hace unos 2500-2000 Ma (Ramos, 1988). Las variaciones en la velocidad de convergencia entre placas en el Océano Pacífico por el Oeste o de divergencia entre placas en el Océano Atlántico por el Este dejaron registros que demuestran la alternancia de reactivaciones magmáticas con ingresiones y regresiones marinas sobre el continente, así como estructuras que muestran regímenes de esfuerzos extensionales alternando con regímenes compresivos. La subducción y acreción de placas a lo largo del margen pacífico, así como la apertura del Océano Atlántico y los fracturamientos regionales en los escudos y áreas cratónicas hacia el Este, han marcado al orógeno andino provocando un volcanismo zonal y fuerte actividad sísmica recurrente. La deformación restringida originalmente a la faja occidental de los Andes fue avanzando hacia el antepaís causando apilamiento tectónico de sobrecorrimientos que aún siguen activos según lo muestra la actividad sísmica frecuente (Yrigoyen, 1999).

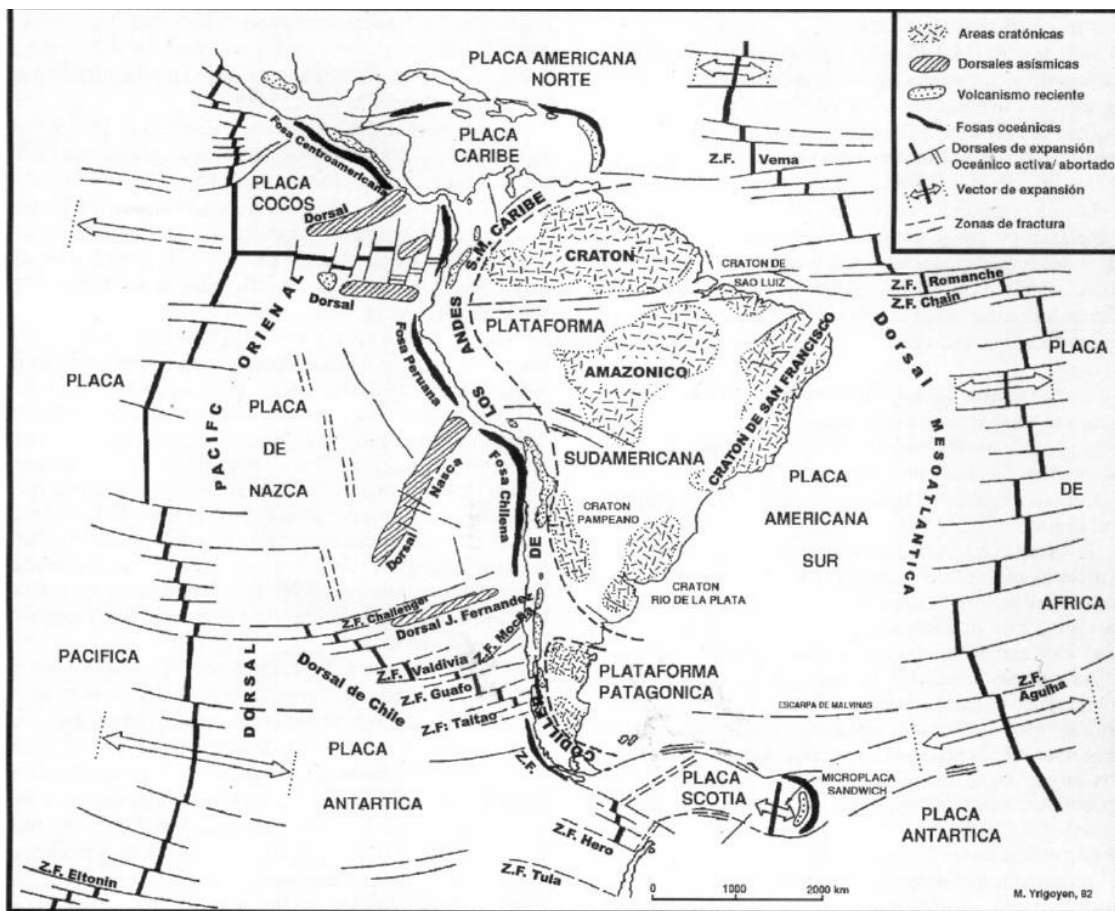


Figura 1. Elementos estructurales primordiales de América del Sur (Yrigoyen, 1999).

### La región de estudio y los rasgos geológicos asociados a su dinámica actual

El recuadro en la Figura 2 derecha delimita la región seleccionada (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O) para la estimación de la peligrosidad sísmica en el sitio de interés. En particular se consideró un área lo suficientemente pequeña como para involucrar a las zonas sismogénicas

cuya actividad pudiese afectar significativamente al sitio de interés. Se impuso también al área una extensión suficientemente amplia como para incluir un catálogo de sismicidad que diera un grado aceptable de confianza al análisis estadístico de este estudio.

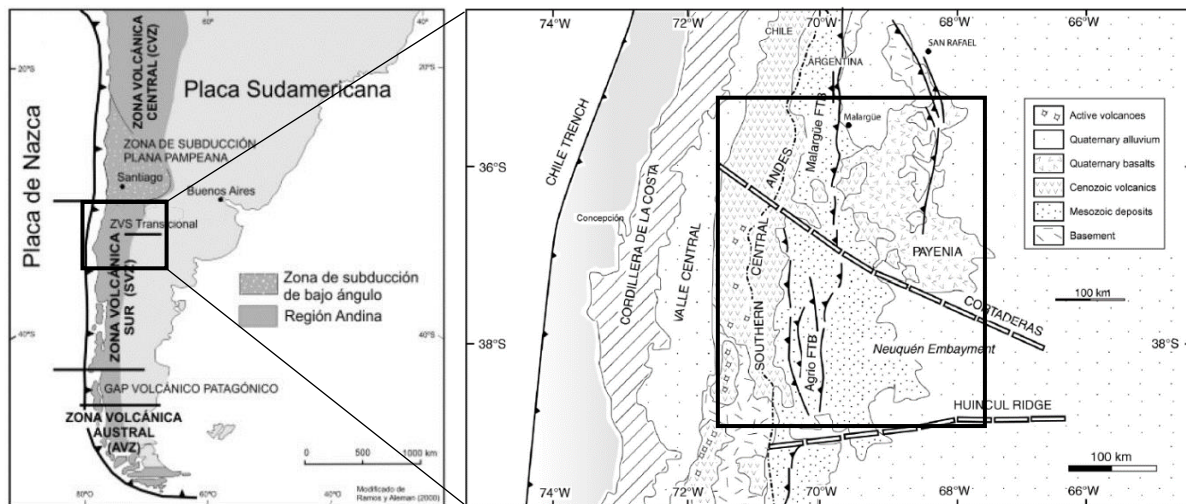


Figura 2. Izquierda: Segmentación del arco andino en zonas volcánicas debido a las variaciones del ángulo de subducción de la Placa de Nazca (modificada de Haller y Risso, 2011). Derecha: Principales rasgos geotectónicos entre los 34°S y 40°S desde la fosa hasta el retroarco andino mostrando las provincias geológicas involucradas, las fajas plegadas y corridas (FTB) y los lineamientos Cortaderas y Huincul (modificada de Ramos y Kay, 2006). El recuadro en la figura de la derecha delimita la región seleccionada para el análisis de fuentes sísmogénicas (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O) que puedan afectar al sitio de interés.

En esta región la placa de Nazca subduce con un ángulo normal, de unos 30° (Pesicek et al., 2012), dando lugar a la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVSA) (Figura 2 izquierda). En la misma se han identificado estratovolcanes individuales, complejos volcánicos y conos monogenéticos que presentan distribuciones espaciales diversas, así como organizaciones internas en relación con la orientación del arco volcánico en general y de las fallas de basamento de primer y segundo orden, tanto activas como inactivas (Cembrano y Lara, 2009).

Un análisis de los principales rasgos tectónicos y estructurales de la región en relación con el volcanismo y la sismicidad asociados permitirá delimitar y caracterizar las áreas sísmogénicas cuya actividad pueda afectar al sitio de interés. De acuerdo con Ramos y Kay (2006), este se encuentra entonces en la Cuenca Neuquina, en la zona limítrofe entre las provincias geológicas de Payenia y el Engolfamiento Neuquino (Figura 2 derecha). Si bien cada provincia geológica presenta una historia y características geológicas particulares, los límites entre unidades vecinas pueden ser transicionales (Ramos, 1999). En la ZVSA la relación entre tectónica y volcanismo es compleja, sugiriéndose que las discontinuidades corticales reactivadas ejercen un fuerte control. Dichas discontinuidades tienen orientaciones NO-SE que coinciden con la orientación de complejos volcánicos elongados (p. ej. Complejo Volcánico Nevados de Chillán) o incluso con las alineaciones observadas entre algunos sistemas volcánicos (p. ej. Puyehue - Cordón Caulle, Villarrica - Quetrupillán - Lanín o Nevado de Longaví - Lomas Blancas - Resago) (Cembrano y Lara, 2009). Uno de los lineamientos más discutidos es el Lineamiento Cortaderas (Figura 2 derecha) que marca un claro límite a los rasgos tectónicos de la región (Ramos y Kay, 2006).

A continuación, se describen los principales rasgos de cada una de las provincias geológicas que intervienen en la región:

**Cordillera Principal – segmento sur de los Andes Centrales:** Hacia el oeste y en territorio argentino, se distingue la Cordillera Principal, caracterizada en el norte del área por el desarrollo de la faja plegada y corrida de Malargüe (FPCM) con vergencia E y paralela al margen. Se conoce que la FPCM es una inversión tectónica de un sistema extensional (reactivación de fallas normales como fallas inversas) que afecta al basamento y aún a rocas más antiguas (inclusive a más de 15 km de profundidad) (Kozlowski et al., 1993, Giambiagi et al., 2008) dando como resultado una estructura compresional compleja (Ramos, 1999) así como la presencia de depósitos marinos de una transgresión atlántica que cubrió gran parte de la cordillera.

Entre los sistemas de fallas más activos dentro de la FPCM se encuentra el Sistema de Fallas El Fierro, que concentra gran parte de la sismicidad superficial en la zona de estudio y ejerce un fuerte control estructural en la evolución de varios sistemas magmáticos como es el caso del Complejo Volcánico Planchón-Peteroa (CVPP, 35° 13' 23"S, 70° 34' 05"O) (Stern, 2004) (Figura 3).

El Volcán Peteroa es el único actualmente activo del complejo. Las crónicas y documentos de archivo registran, desde el año 1600, cerca de 20 erupciones del CVPP con bajo grado de explosividad, destacándose las de 1937, 1991, 2010-2011 y el proceso actual iniciado en diciembre de 2018. Sin embargo, el registro de avalanchas, flujos piroclásticos y lahares originados por la actividad más antigua de este complejo posicionan al CVPP en el segundo lugar del ranking de riesgo volcánico de Argentina (Elissondo y Farias, 2016).

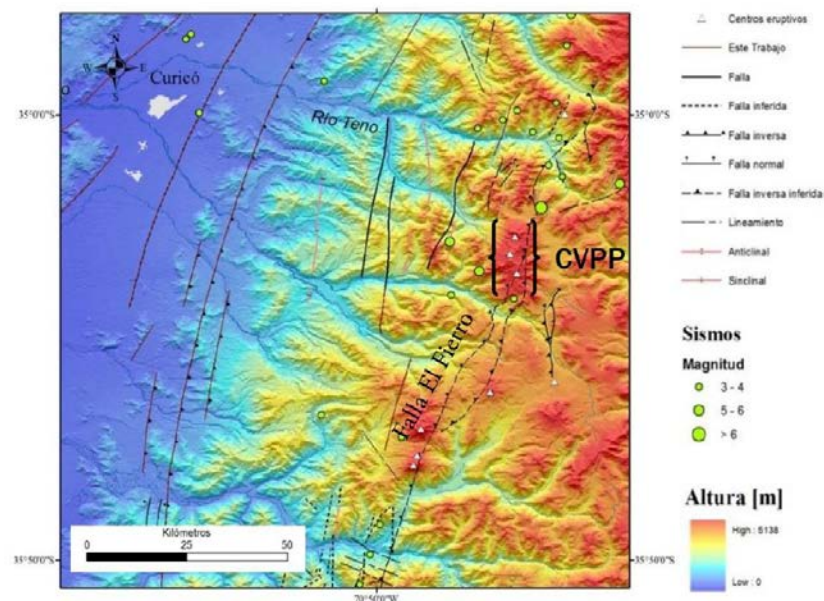


Figura 3. Estructuras que delimitan la FPCM en la Cordillera Principal. Hacia el este, el sistema de fallas El Fierro claramente controla la ubicación de los centros volcánicos marcados con triángulos blancos. (Alfaro Soto, 2011).

Aproximadamente a los 36°S la FPCM, da lugar a la faja plegada y corrida del Agrio (FPCA) que se aleja del arco volcánico hacia el este (Figura 4). Un exponente del arco volcánico en esta latitud es el Complejo Volcánico Laguna del Maule (CVLM, 36° 01' 12"S, 70° 34' 47"O)(Figura 6). Con una extensión superficial de unos 500 km<sup>2</sup>, el CVLM se desarrolla principalmente en territorio chileno alrededor de la laguna del Maule. Sin embargo, su actividad explosiva tiene registros principalmente en territorio argentino (Cerro Barrancas), en las nacientes del río Barrancas, sobre el límite de las pcias. de Mendoza y Neuquén (Sruoga et al., 2015). En los

últimos 25000 años se han identificado al menos 40 centros de emisión que generaron más de 80 eventos eruptivos tanto explosivos como efusivos. A pesar de no existir documentación de actividad eruptiva histórica, el CVLM ocupa el tercer puesto en el ranking de riesgo volcánico (Elissondo y Farias, 2016) debido a su explosividad, el volumen de productos emitidos y al proceso inflacionario que sostiene al menos desde 2007 con una tasa de 25 cm/año estimada por Interferometría Radar Satelital (InSAR).

Entre los 37°S y 38°S, el arco volcánico ha sufrido extensión ortogonal al arco con una pequeña componente de desplazamiento de rumbo dextral durante el Pleistoceno y Holoceno, en contraste con lo observado más al norte. Expresiones de dicha extensión son la fosa de Loncopué y la fosa de Las Loicas (36°S - 39°S) ubicadas entre el arco y la FPCA (Figura 5). Entre ellas se encuentra la cordillera del Viento (Ramos, 1999b) en cuyo extremo norte se ubica el Sistema Volcánico Domuyo (SVD, 36° 20' 24" S, 70° 15' 0").

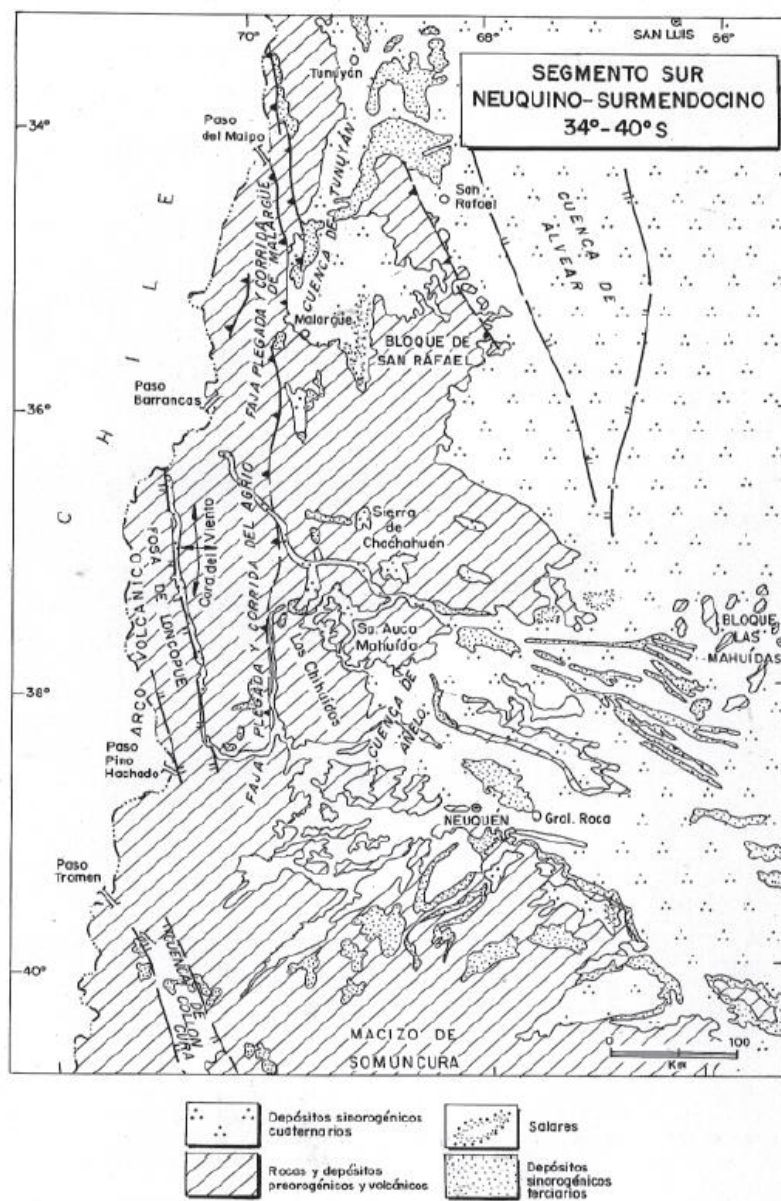


Figura 4. Depósitos sinorogénicos terciarios y cuaternarios y principales estructuras en la Cordillera Principal y en la región extraandina de Mendoza y Neuquén entre los 34°S y 40° S. (Ramos, 1999b).

La actividad volcánica más reciente en el SVD ha sido datada en 0.11 Ma sin embargo, presenta abundante actividad sísmica, una tasa de inflación del orden de 12 cm/año desde 2015 (Lundgren et al., 2018) y un alto flujo calórico que ocupa el segundo valor más alto medido en sistemas hidrotermales del mundo, solo atrás de Yellowstone (Chiodini et al., 2014). Se plantean dos posibles orígenes para estas manifestaciones, la existencia de actividad volcánica más reciente pero indocumentada o intrusión magmática somera relacionada posiblemente a una reactivación reciente del SVD.

Entre la Fosa de Loncopué y el arco volcánico (Figura 5), el frente orogénico está constituido por la zona de falla de Antiñir-Copahue (ZFAC) (Folguera et al., 2016), con fallas de alto ángulo y vergencia este, transpresivas dextrales y transtensivas dextrales. La ZFAC se vincula por el suroeste con la zona de falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) el mayor sistema de falla intrarco que domina la región entre los 38°S y los 47°S (Folguera et al., 2004). La ZFLO tiene un comportamiento transpresional con desplazamiento de rumbo dextral (Hervé et al., 1994).

La transición entre la ZFAC y la ZFLO está representada por el lineamiento volcánico Callaqui-Copahue-Mandolegüe (Folguera y Ramos, 2000; Melnick et al., 2006; Folguera et al., 2016). La ZFLO aquí es discontinua, con formación de grábenes y desarrollo de estructuras con

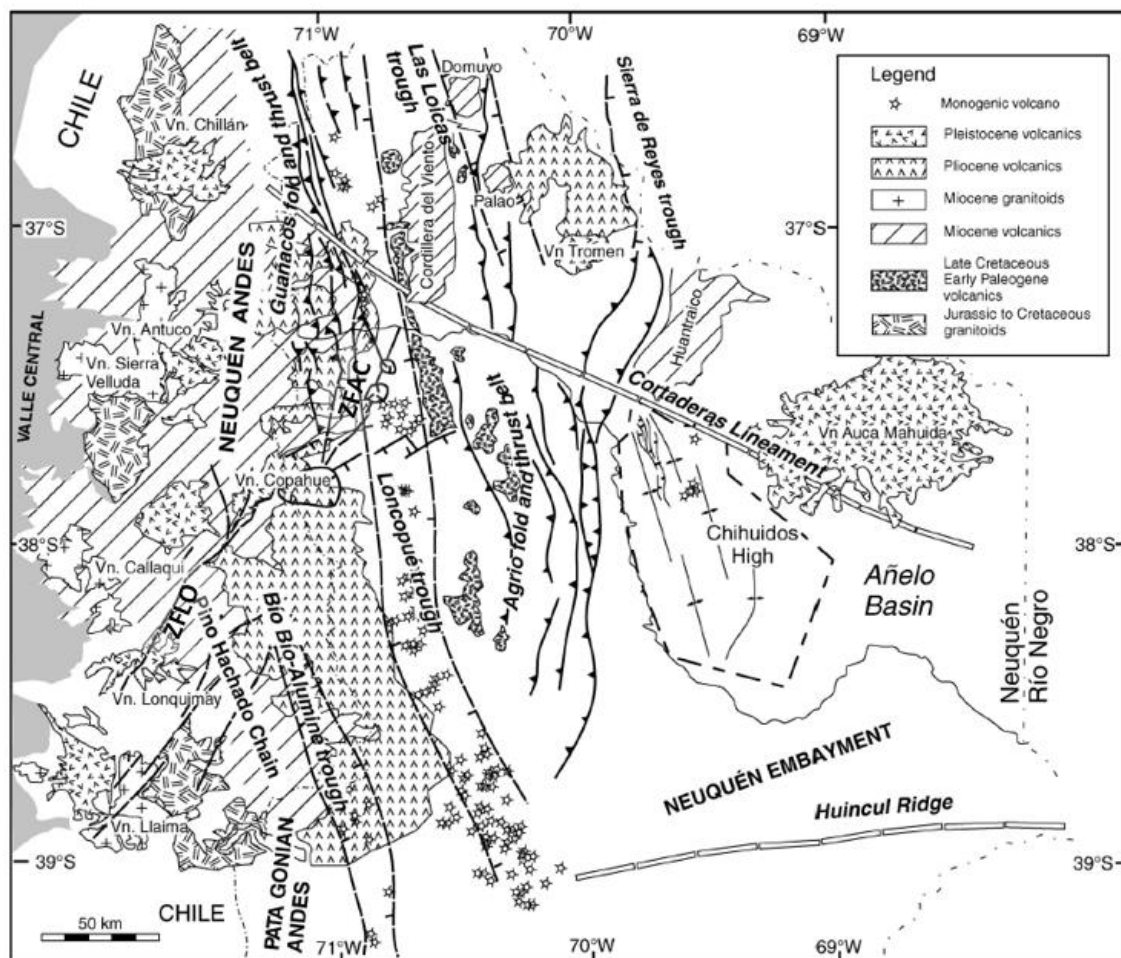


Figura 5. Mapa geológico generalizado del norte de la pcia. de Neuquén y sur de Mendoza mostrando las estructuras al norte y sur del lineamiento Cortaderas mencionadas en el texto (modificada de Ramos y Kay, 2006).

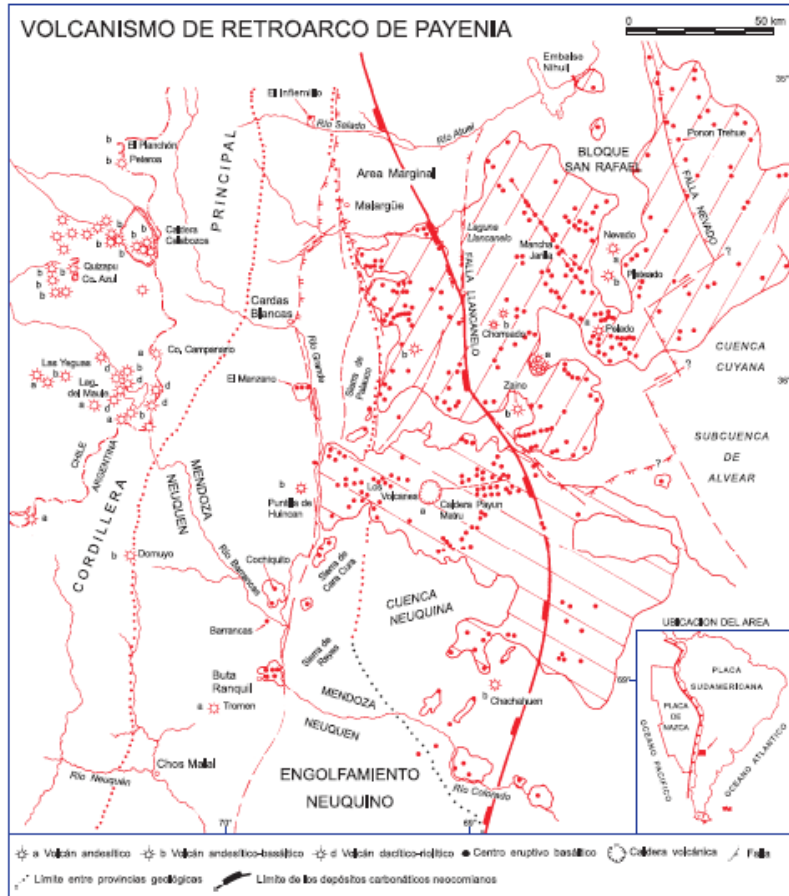


Figura 6. Rasgos geológicos principales de Payenia con su volcanismo de retroarco cenozoico y del Bloque de San Rafael. (Ramos, 1999a).

geometría de «cola de caballo» y atravesadas por segmentos ortogonales con orientación E-O, NO-SE y NE-SO.

En el extremo norte de la ZFLO, el Volcán Copahue ( $37^{\circ} 51' 22''S$ ,  $71^{\circ} 10' 23''O$ ) forma parte del Complejo Volcánico Copahue-Caviahue (CVCC) que se ha desarrollado bajo un régimen transtensional con desplazamiento dextral (Sruoga y Consoli, 2011). Situado a  $\sim 30$  km al este del eje principal del arco volcánico actual, la persistencia en su actividad estaría obedeciendo a causas tectónicas ya que su ubicación coincide con el cruce de estructuras regionales mayores de alcance cortical (Melnick et al., 2006). Presenta una alineación de cráteres en sentido NE de los cuales solo el más oriental se encuentra activo. En este último, solo en los últimos 250 años se registraron 12 erupciones, la mayoría de ellas freáticas, destacándose las de 1992, 2000 y el proceso eruptivo freático-freatomagmático iniciado en 2012 que ha podido ser monitoreado instrumentalmente en forma continua. El volcán Copahue presenta una laguna cratérica y un importante sistema hidrotermal cuyas variaciones evidencian la dinámica del sistema. Por su actividad reciente y su cercanía a centros poblados, ocupa el primer lugar en el ranking de riesgo volcánico argentino (Elissondo y Farias, 2016).

**Payenia:** Al este de la FPCM y de la FPCA se desarrollan una serie de cuencas terciarias y cuaternarias con orientación NO sobre la provincia geológica de Payenia constituyendo la porción centro-norte de la región estudiada. Esta provincia se caracteriza por sus campos volcánicos desarrollados al sur de la pcia. de Mendoza (Figura 6) que, por la variedad de composiciones magmáticas, incluyen desde extensas coladas basálticas que fluyeron incluso

sobre las provincias geológicas aledañas (como Llanquihue y Puelén) hasta volcanes monogenéticos y grandes estratovolcanes y calderas (p. ej. la caldera del Payún Matrú, el V. Nevado y el V. Plateado) algunos de los cuales registraron actividad histórica, con dataciones inferiores a 10000 años.

**Bloque de San Rafael:** Sobre el extremo noreste de la región se encuentra el Bloque de San Rafael, una antigua planicie de erosión glacial que actualmente sufre basculamiento y levantamiento por la deformación andina (González Díaz, 1972) representada por una serie de corrimientos con vergencia hacia el este (Figura 6). Un rasgo distintivo en la historia geológica de este bloque es el haber permanecido descubierto durante la transgresión atlántica que afectó a la Cordillera Principal.

**Engolfamiento Neuquino:** La región extrandina de Neuquén y sur de Mendoza, entre el lineamiento Cortaderas y la dorsal de Huincul (Figura 2), conforman el Engolfamiento Neuquino (Herrero Ducloux, 1946) donde afloran principalmente depósitos continentales y escasos depósitos marinos de la primera transgresión del Océano Atlántico. En el subsuelo se encuentran a su vez dos grandes ciclos marinos de sedimentación provenientes del Océano Pacífico.

Según Sigismondi (2012), el Engolfamiento Neuquino constituye el sector extrandino de la Cuenca Neuquina (35.20°S a 40.10°S y 66.20°O a 70.50°O), mientras que el sector andino occidental de la misma está representado por el extremo sur de los Andes Centrales (Figura 2). Otros autores restringen la Cuenca Neuquina al Engolfamiento Neuquino. Actualmente el 42% de la producción de petróleo de la Argentina y el 55% de la producción de gas corresponden a yacimientos de la Cuenca Neuquina, por lo que resulta ser la cuenca más importante del país en cuanto a la producción de hidrocarburos (Casadio y Montagna, 2015).

Esta provincia combina estructuras epidérmicas en su sector oriental con otras que involucran basamento. Se la interpreta como una zona de inversión tectónica de sistemas extensionales que han sufrido desplazamientos de rumbo y compresiones (Vergani et al., 1995). Las estructuras neotectónicas en el retroarco de la Cuenca Neuquina indican la persistente contracción andina E-O como es el caso de la FPCA desarrollada entre los 36°S y 38°S en el antepaís argentino (Folguera et al., 2004).

Estudios geofísicos demostraron variaciones latitudinales del flujo térmico en la región, con un gradiente promedio mayor en el norte que en el sur (Sigismondi, 2012). Esto da lugar a un gradiente de la rigidez flexural (Figura 7), responsable principal de la deformación cortical y del basamento. La deformación en el norte se propaga sin interrupción dando origen a la faja plegada y corrida del Agrio-Chos Malal (FPCA-ChM), a volcanismo de retroarco, a plegamientos y a una zona sismogénica amplia y trabada donde se han registrado grandes terremotos. Al este de la FPCA-ChM el antepaís se presenta segmentado en un conjunto de sistemas de anticlinales y cuencas remanentes con eje general NO-SE y vergencia oeste (p. ej. el dorso de los Chihuidos, la fosa de Añelo, el sistema Entre Lomas y el sistema Picón Leufú) que presentan evidencias de deformación actual (Mosquera y Ramos, 2006; Messenger et al., 2010).

Trabajos recientes han documentado la coexistencia de esta compresión en la FPCA con volcanismo de retroarco como por ejemplo los volcanes Tromen (37° 08' 38"S, 70° 01' 58"O) y el Auca Mahuida (37° 44' 16.8"S, 68° 55' 26.4"O). El volcán Tromen es un estratovolcán cuya cumbre se encuentra cortada por dos calderas superpuestas, pero se observan también bocas

de emisión en el flanco NE. Sus productos han sido tanto efusivos (domos y coladas de lava) como explosivos (ignimbritas). Se conocen 5 erupciones históricas (1820, 1822, 1823, 1827, 1828) a partir de crónicas y documentos escritos pero cuyas edades no han sido

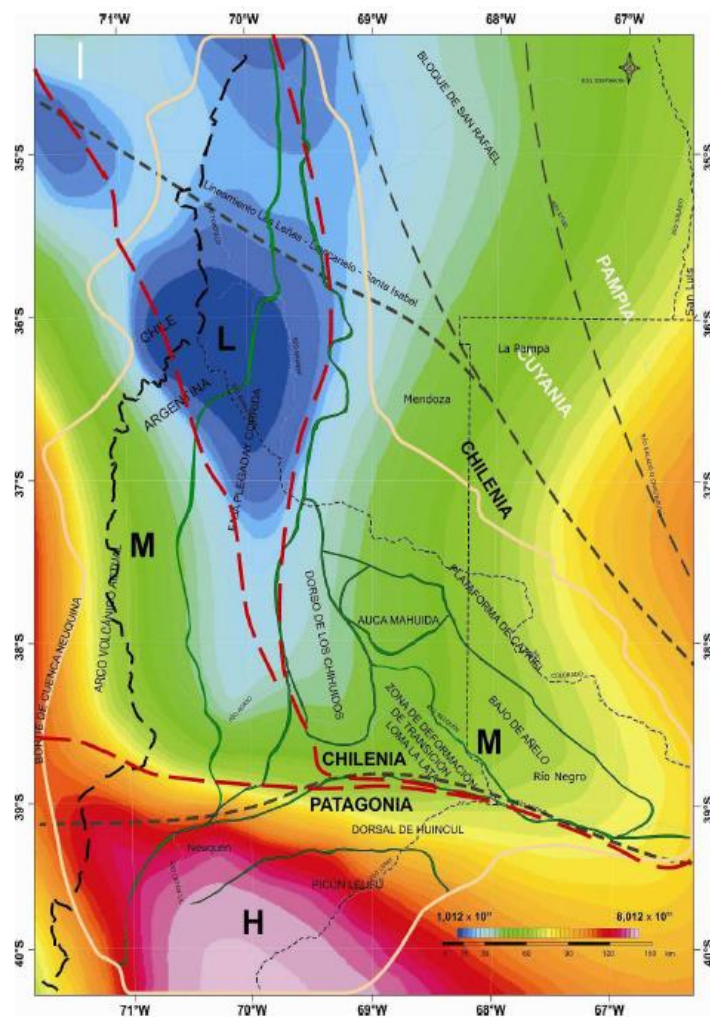


Figura 7. Estimación de la rigidez flexural de la Cuenca Neuquina a partir de gravimetría. El segmento de línea rojo, separa tres dominios fundamentales: 1) sur de la dorsal de Huincul, la zona de mayor rigidez (H). 2) faja plegada del Agrio-Chos Malal, la región de menor rigidez (L). 3) zona de rigidez intermedia (M), en los dominios del bajo de Añelo y la plataforma de Catriel y cordillera Principal. Esta propiedad es la responsable principal de la deformación cortical y del basamento. La anisotropía de velocidades sísmicas, confirman igual tendencia regional. Los contrastes relativos de rigidez cambian varios órdenes de magnitud entre sí, por lo cual constituye un atributo de excepcional valor en comparación con cualquiera de las otras propiedades geofísicas estudiadas (Sigismondi, 2012).

científicamente confirmadas (Kozlowski et al., 1996; Galland et al., 2007). En cuanto al volcán Auca-Mahuida se postula que, por su edad pliocena-pleistocena, ejerce actualmente un control isostático casi exclusivamente local, pero, aun así, debilita la corteza (Sigismondi, 2012).

Al sur de la región, la deformación se resuelve entre dos estructuras perpendiculares entre sí: la ZFLO en el occidente y de dirección preferencial N-S y la dorsal de Huincul, de dirección O-E (De Ferraris, 1947). Esta dorsal representa una discontinuidad de primer orden tanto a escala de las discontinuidades corticales inferiores como superiores y separa terrenos (Chilenia y Patagonia) acrecionados durante el Paleozoico (Ramos et al., 1986).



El ambiente tectónico andino de la Cuenca Neuquina está entonces controlado por tres factores fundamentales: estado térmico, volcanismo y apilamiento tectónico (Sigismondi, 2012). La FPCA-ChM y los volcanes de la región son las zonas más deformables, mientras que la dorsal de Huincul muestra mayor rigidez limitando la propagación de la deformación hacia el sur. Su influencia en este sentido ha sido decisiva considerando un escenario generalizado de convergencia oblicua, bajo un campo de esfuerzos NO-SE, entre un bloque rígido ubicado al sureste (Cratón norpatagónico) y una zona al noroeste factible de ser plegada (Cuenca Neuquina). Este escenario permitió explicar la distribución y orientación de las zonas compresivas y transcurrentes, así como su evolución en el tiempo con desarrollo de estructuras cada vez más jóvenes hacia la parte externa del sistema (Folguera et al., 2002; Silvestro y Zubiri, 2008).

## Sismicidad

Entre los 35°S y los 39°S la velocidad de convergencia entre las Placas de Nazca y Sudamericana es de 66 mm/año en dirección N78°E (Kendrick et al., 2003). La dinámica de placas genera sismos tanto en el continente como en la placa que subduce. La visualización en profundidad de los hipocentros reportados en los catálogos permite identificar la actividad sísmica correspondiente a cada placa (Figura 8).

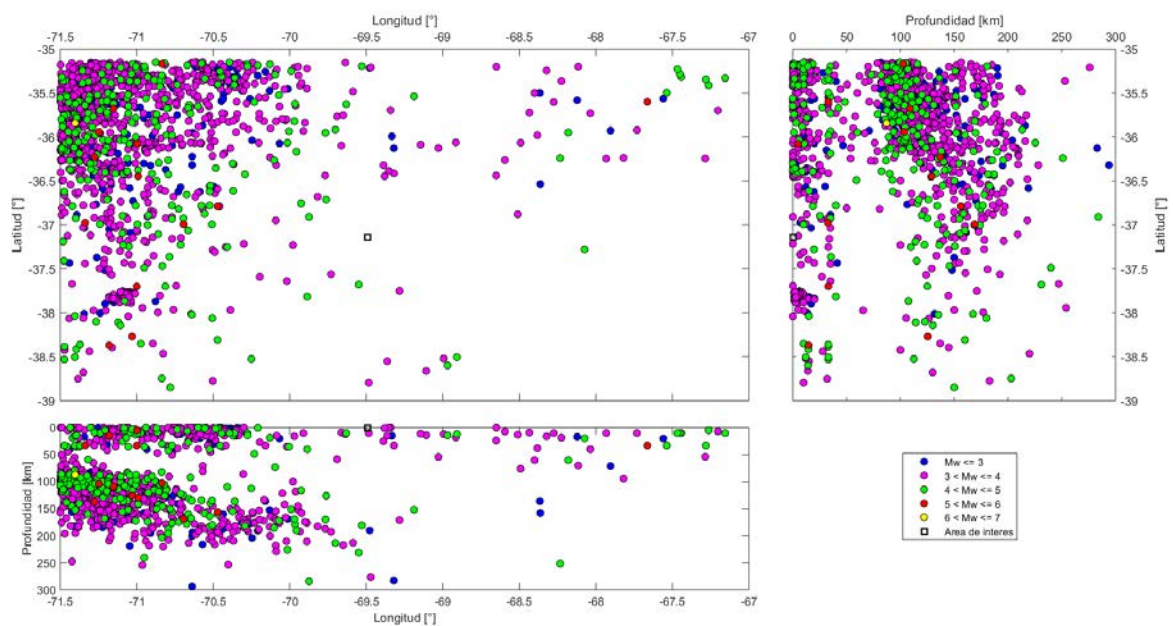


Figura 8. Sismicidad en planta y perfiles de hipocentros en profundidad según información reportada en los catálogos públicos para la región de análisis (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O) en el período mayo 1970-mayo 2019. Los colores indican rangos de magnitud momento ( $M_w$ ) tal como se indica en la leyenda.

Los espesores corticales bajo el arco disminuyen de norte a sur, desde un valor de 50 km a los 33°S hasta 35 km a los 46°S, acompañando la disminución de la altura promedio de la Cordillera Principal (Tassara y Yañez, 2003). A los 39°S, el espesor cortical varía de oeste a este, con unos 40 Km bajo el arco y retroarco y aproximadamente 35 km bajo la fosa de Loncopué y la Cuenca Neuquina (Yuan et al., 2006). De esta manera, considerando el comportamiento frágil de la corteza, en este análisis se asumen como corticales todos los sismos con menos de 50 km de profundidad focal y como intermedios, a aquellos con más de 50 km de profundidad focal.

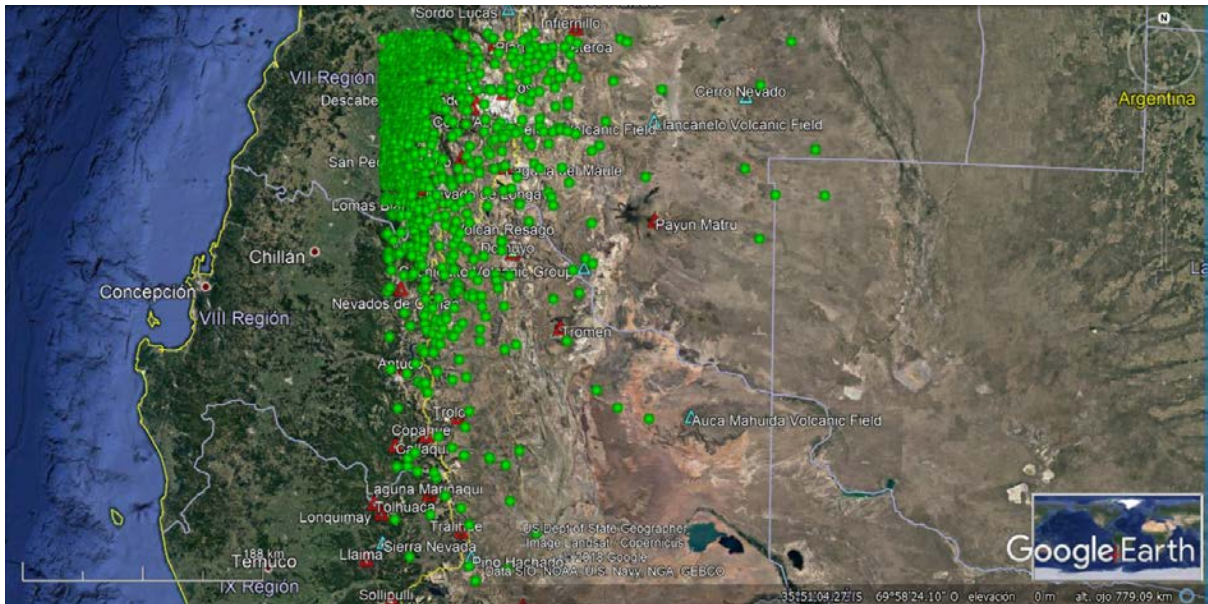


Figura 9. Sismicidad intermedia (profundidades focales mayores que 50 km) en la región de análisis (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O), reportada en los catálogos INPRES, CSN, USGS, IRIS, CeReTeDeC, RNVV-SERNAGEOMIN para el período mayo 1970-mayo 2019.

La zona de Wadati-Benioff (ZWB), conformada por el techo de la sismicidad intermedia, delinea la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana mostrando una pendiente de unos 30° (Figura 8). (Bohm et al., 2002; Pesicek et al., 2012).

En la región de estudio, la actividad sísmica reportada se concentra hacia el oeste y principalmente hacia el noroeste, en la VII Región o Región del Maule en Chile (Figura 9). Más allá de los límites de esta región, el acople entre ambas placas ha dado origen a grandes terremotos interplaca como el Mw9.5 Valdivia, Bio-Bio, en mayo de 1960 (38.143°S, 73.407°O, 25 km) y el Mw 8.8 Maule, en febrero de 2010 (36.122°S, 72.898°O, 22.9 km).

Los sismos someros o corticales (profundidades menores que 50 km) se concentran también hacia el oeste, en clara correspondencia con las zonas de fallas que controlan el arco magmático andino evidenciando su cinemática actual (Figura 10). Los mecanismos de fuentes muestran fundamentalmente desplazamientos de rumbo dextrales para los sismos entre 34°S y 46°S (Chinn y Isacks, 1983; Lange et al., 2008). Este comportamiento de la ZVSA solo se manifiesta en superficie en los fallamientos al sur de los 38°S.

La distribución de sismicidad cortical muestra a su vez alineamientos de epicentros en dirección NO-SE que podrían asociarse a los lineamientos de basamento oblicuos al arco (Cembrano y Lara, 2009; Gonzalez-Vidal et al., 2018) entre los que destacan: 1) la sismicidad posiblemente asociada al lineamiento Cortaderas que se extiende desde el Complejo Volcánico Nevados de Chillán hasta los lagos Los Barreales y Mari Menuco en el este de la pcia. de Neuquén; 2) la sismicidad al sur de los volcanes Nevado de Longaví, Lomas Blancas y Resago que se alinea con el SVD al este; 3) la sismicidad cercana a los volcanes Descabezado Grande, Cerro Azul y Calabozos que puede alinearse con aquella en Payun Matru; 4) la densa sismicidad oblicua a la FPCM atravesando el CVPP y extendiéndose en la pcia. de Mendoza hacia el SE a través del campo volcánico de Llanquanelo. Si bien no existen pruebas aún como para afirmar que dichas estructuras ejercen control en el emplazamiento de magmas y volcanes, varios autores han propuesto que los megaterremotos de corrimientos podrían destrabar dichos lineamientos favoreciendo ascensos de magmas. Un ejemplo de esto serían

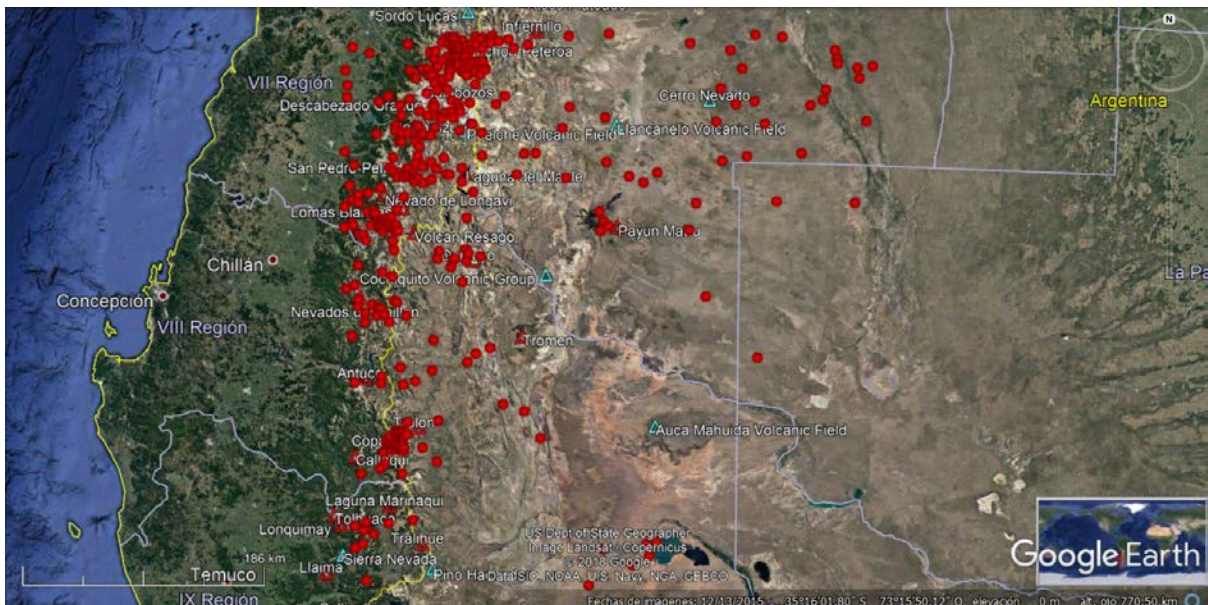


Figura 10. Sismicidad somera (profundidades focales menores que 50 km) en la región de análisis (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O), reportada en los catálogos INPRES, CSN, USGS, IRIS, CeReTeDeC, RNVV-SERNAGEOMIN para el período mayo 1970-mayo 2019.

las reactivaciones magmáticas y erupciones volcánicas ocurridas luego del Mw 8.8 Maule (p. ej. Planchón Peteroa, Nevados de Chillán, Copahue, Cordón-Caulle, Villarrica y Calbuco, <http://www.sernageomin.cl>).

Hacia el centro y sur de la región, la baja sismicidad reportada en los catálogos refleja la menor actividad tectónica del retroarco y del antepaís comparados con el arco, pero también es resultado del escaso número de estaciones sismológicas disponibles en la zona. La Red Sismológica Nacional perteneciente al INPRES posee una estación sismológica permanente en la localidad de Cavihue ([http://contenidos.inpres.gob.ar/est\\_sism](http://contenidos.inpres.gob.ar/est_sism)) y cinco acelerógrafos cerca o dentro de la región estudiada (<http://contenidos.inpres.gob.ar/acelerografos/RNA>). Las redes globales de estaciones sismológicas (<https://www.iris.edu/hq/programs/gsn/maps>) reportan cuatro estaciones sismológicas permanentes en territorio argentino pero ninguna de ellas dentro de la región de estudio. De esta manera, resulta imposible registrar de forma completa la actividad sísmica de baja energía en la región, por lo que solo eventos con magnitudes superiores a 2.0 son reportados en los catálogos nacionales o globales. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la localización de los eventos realizada por redes globales y nacionales en la región contiene un error considerable debido a la baja densidad de estaciones y a la distribución no homogénea de las mismas respecto de las fuentes. En cuanto a redes temporales de estaciones sismológicas desplegadas por proyectos de investigación, son pocos los proyectos que han estudiado la región si se compara con otras regiones de mayor actividad tectónica (p. ej. norte de Mendoza y San Juan): el proyecto ISSA desplegó 62 estaciones entre 1999 y 2000 para estudiar la sismicidad y estructura cortical entre 36°S y 40°S entre Chile y Argentina (Bohm et al., 2002; Yuan et al., 2006); mientras que el proyecto ONDAS desplegó 11 estaciones entre 2014 y 2016 en la zona centro-norte de la Cuenca Neuquina (Correa-Otto et al., 2018) y 28 estaciones desde 2016 para estudiar la sismicidad en la región de la dorsal de Huincul pero cuyos datos son confidenciales.

Un análisis de la sismicidad reportada para las latitudes más próximas al sitio de estudio (36.42°S y 37.75°S) permite observar mayormente sismos de profundidad intermedia (entre

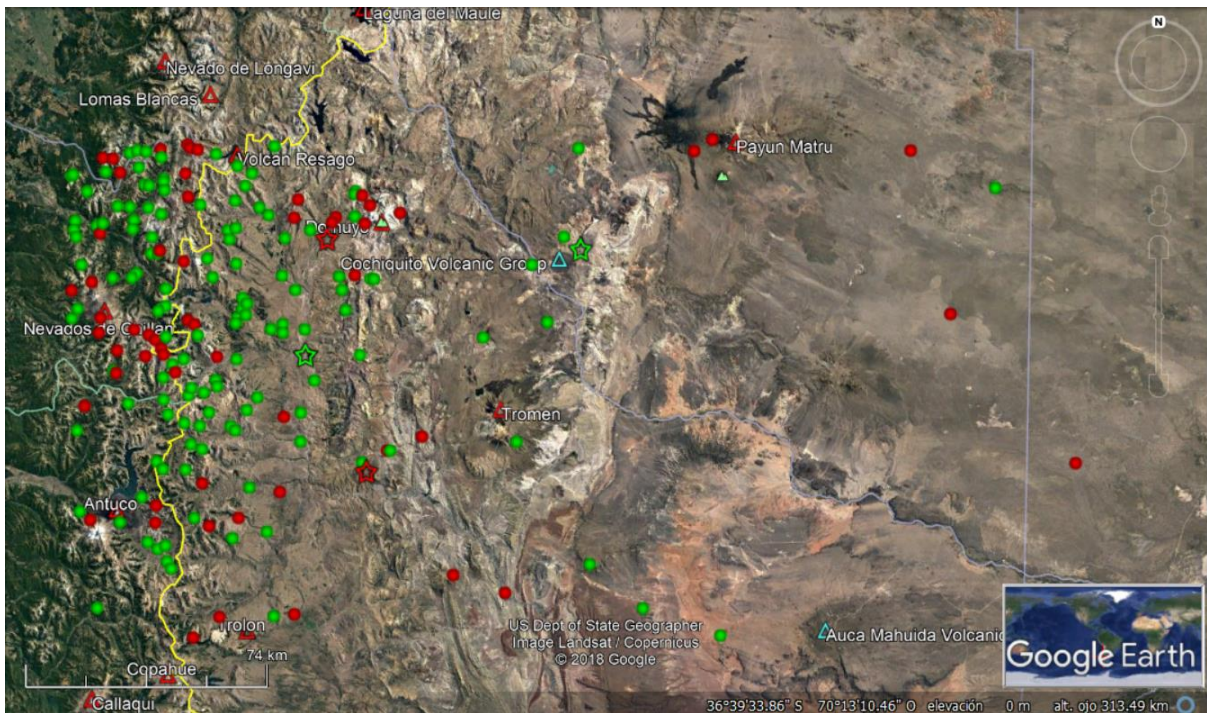


Figura 11: Sismicidad reportada en los catálogos INPRES, CSN, CeReTeDec, USGS, IRIS y redes locales de monitoreo volcánico del OVDAS-SERNAGEOMIN entre los 36.42S y 37.75S. En verde se muestran los epicentros de sismos con focos a profundidades intermedias y en rojo los epicentros de sismos corticales. Los epicentros de los eventos destacados en el texto se señalan con estrellas en los colores respectivos.

80 y 284 km de profundidad focal) asociados a rupturas en la placa subducida (puntos verdes en

Figura 11). Los mismos muestran una mayor concentración hacia el oeste bajo la Cordillera Principal y hasta el límite oriental de la FPCA. En este rango de profundidades se destacan dos sismos (estrellas verdes en Figura 11): 1) el sismo del 24 de mayo de 2012 (36.994°S, 70.694°O, 169 km, 5.1M) cuyo epicentro se localizó 5 km al este de Las Ovejas y 103 km al noreste de Caviahue, Neuquén, y fue sentido en Caviahue y otras localidades cercanas con una intensidad grado II a III (dos a tres) en escala Mercalli Modificada y 2) el sismo del 8 de agosto de 2009 (36.713°S, 69.762°O, 126 km, 4.5mb) cuyo epicentro se ubicó 290 km al N-NO de la ciudad de Neuquén en el Borde alto de Payún en la pcia. de Mendoza, alcanzando una intensidad grado III (tres) en la escala Mercalli Modificada en las localidades de Buta Ranquil, Barrancas y El Portón provincia de Neuquén (INPRES).

La sismicidad cortical entre 36.42°S y 37.75°S para el período estudiado representa aproximadamente la cuarta parte de la sismicidad total reportada en el período (puntos rojos en Figura 11). Hacia el Este, bajo Payun Matru y sus extensos flujos lávicos, se han reportado eventos a profundidades que van de 1 a 33 km. El resto de la sismicidad superficial se localiza al oeste, hacia la FPA, la Cordillera del Viento y la Cordillera Principal, con profundidades tanto en corteza superior como inferior (0 a 50 km). Se observa un grupo de eventos entorno al Complejo Volcánico Nevados de Chillán (CVNCh). Las profundidades de dichos eventos fueron ascendiendo desde 50 km de profundidad en 1991 a 6.8 km de profundidad en 2014. El CVNCh se encuentra en alerta técnica naranja desde 2016 con explosiones que provocan la destrucción parcial del domo que se construye en el interior de su cráter activo. Otro grupo

de eventos rodeando al Complejo Volcánico Domuyo y a profundidades entre 5 y 30 km, podría estar reforzando la hipótesis de reactivación planteada a partir de datos de deformación, termometría y geoquímica de fluidos (Chiodini et al., 2014; Lundgren y Girona, 2018).

Se destacan como sismos superficiales sentidos (estrellas rojas en Figura 11): 1) el sismo del 10 de septiembre de 2016 (36.681°S, 70.617°O, 21 km, 3.3Md) que fue sentido con intensidad II-III (dos a tres) en la escala Mercalli Modificada en las localidades cercanas al epicentro que fue ubicado 337 km al NO de Neuquén, 453 km al S de Mendoza y 54 km al N de Andacollo y 2) el sismo del 17 de noviembre de 2004 (37.310°S, 70.490°O, 10 km, 3.8Md) con epicentro ubicado 20 km al oeste-noroeste de la localidad de Chos Malal provincia de Neuquén donde se percibió con intensidad III a IV (tres a cuatro) (INPRES).

## EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA

### Fundamentos teóricos

Desde el punto de vista estadístico, algunos modelos son más razonables que otros en la simulación de la aleatoriedad espacial y temporal de los mismos (Wang et al., 2014). La distribución temporal de los sismos se considera usualmente representada por una distribución de Poisson, según la cual la tasa de ocurrencia de los eventos es una variable aleatoria y el tiempo de recurrencia sigue una distribución exponencial. De esta manera, cada evento es independiente a cualquier otro presente en la región de análisis.

La función de probabilidad discreta de Poisson puede ser expresada como (McGuire, 1993):

$$P(N = n) = \frac{e^{-\lambda.t} (\lambda.t)^n}{n!},$$

siendo  $N$  una variable aleatoria que indica el número de veces que sucede un evento en un intervalo de tiempo  $t$ , un número entero  $N \geq 1$ ; y  $\lambda$  es la media de  $N$  en el intervalo temporal  $t$ ,  $\lambda > 0$ .

Bajo estas condiciones, la probabilidad  $P$  de que un suceso de cierta magnitud supere o iguale un nivel estipulado  $M$  en un período de tiempo  $t$  puede ser representada por la ecuación:

$$P(m \geq M, t) = 1 - e^{-\lambda.t}$$

En general, el intervalo  $t$  corresponde con el período de retorno ( $T$ ), aquel definido como el lapso promedio en años entre la ocurrencia de dos eventos que igualen o superen una magnitud concreta.

Bajo la premisa de independencia temporal de los eventos, la probabilidad de excedencia de un evento en un período de un año es  $1/T$ . La probabilidad de que no ocurra un evento con período de retorno  $T$  en  $n$  años es  $(1 - 1/T)^n$ . Luego, la probabilidad de ocurrencia de un suceso con período de retorno  $T$  durante un intervalo de  $n$  años es la probabilidad de excedencia  $\tilde{P}$ , tal que,

$$\tilde{P} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n.$$

En términos prácticos,  $n$  representa la vida útil de los elementos contenidos en el área de interés. Se puede definir entonces el período de retorno como

$$T = \frac{1}{1 - (1 - \tilde{P})^{1/n}}$$

y también su inversa, la probabilidad de excedencia anual.

### Catálogo Sísmico

Se definió el ámbito geográfico para realizar el análisis de la sismicidad de la región de acuerdo al sitio de interés, seleccionando inicialmente una región comprendida entre 35.5°S y 38.5°S y 67.5°O y 71.5°O, que se extendió finalmente hacia el NE y SE para incluir algunos sismos significativos. Se consultaron catálogos regionales, nacionales e internacionales (Tabla 1) para poder confeccionar un único catálogo que constituye la base de datos del estudio, recopilando toda la información de los sismos ocurridos en la región seleccionada.

AGENCIA	EVENTOS SELECCIONADOS
<b>INPRES</b> (Instituto Nacional de Prevención Sísmica).	Sismos ocurridos en la provincia de Mendoza desde 1998 y en la provincia de Neuquén desde 2004.
Servicio de Información Sísmica del <b>CEREDETEC</b> (Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción, Sismología y la Ingeniería Sísmica). UTN, FRM Mendoza.	Sismos registrados en la provincia de Mendoza por el organismo desde 2007.
Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial. <b>Gobierno de Mendoza.</b>	En la página web de la secretaría se proporciona información de la localización de epicentros sísmicos de magnitud entre 3 y 6 escala Richter. La fuente de esta información es INPRES.
<b>OVDAS, RNVV-SERNAGEOMIN</b> (Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur, dependiente de la Red Nacional de Vigilancia Volcánica, Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile)	Sismos registrados por las redes de monitoreo volcánico localizadas en cercanías del CVCC desde 2013 y del CVPP para el período 2012-2015.
<b>IRIS</b> (Incorporated Research Institutions for Seismology) Earthquake Browser.	Sismos ocurridos en la región de estudio a partir de 1970. La fuente de datos es entre otros USGS e ISC.
<b>USGS</b> (US Geological Survey) Search Earthquake Catalog.	Sismos ocurridos en la región de estudio desde 1970
<b>CSN</b> (Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile).	Sismos ocurridos en territorio chileno desde 2007, comprendidos en la región de estudio.

Tabla 1. Catálogos regionales, nacionales e internacionales consultados para confeccionar la base de datos.

### Homogeneización de los parámetros de tamaño: escalas de Magnitud

En la actualidad los estudios de peligrosidad utilizan la magnitud momento  $M_w$  como parámetro para cuantificar la energía liberada en un sismo.

Los catálogos consultados reportan magnitudes en diferentes escalas:  $M_w$ ,  $m_b$ ,  $M$ ,  $M_L$ ,  $M_D$ ,  $m_bLG$ ,  $mwr$ . Para poder homogeneizar todas las magnitudes del catálogo a magnitud

momento  $M_w$ , se realizó un análisis comparativo de magnitudes para eventos seleccionados reportados por varias agencias que permitió establecer relaciones entre las mismas. Concluyendo que

$$M = M_l = M_d = M (INPRES) = M_l (GUC) = mbLG$$

Para los datos de INPRES, se resolvió hacer un análisis comparativo de magnitudes entre los catálogos de INPRES ( $M$ ) y de USGS ( $mb$ ,  $M_w$ ) para 1480 sismos localizados en una región extensa del oeste de Argentina ( $22^\circ S$  a  $54^\circ S$ ), permitiendo determinar relaciones para la magnitud  $M_w$  en función de  $mb$  y  $M$ . Las expresiones obtenidas fueron las siguientes:

$$M_w = 0.554 mb + 1.765$$

$$M_w = 0.97 M + 0.1025$$

Se descartó un número considerable de sismos, principalmente de magnitudes entre 2 y 3, de los que no se tenía información del tipo de magnitud.

Finalmente se identificaron y eliminaron los eventos duplicados provenientes de distintos catálogos, priorizando los datos de los catálogos locales obtenidos con información de estaciones más cercanas a los eventos.

### **Identificación de eventos dependientes: premonitores, réplicas y enjambres.**

Partiendo del catálogo homogéneo se identificaron los premonitores, réplicas y enjambres que estén relacionados espacial y/o temporalmente con sismos de mayor magnitud, para el caso de los premonitores y réplicas, o con sismos de magnitudes similares, para el caso de los enjambres. Para ello se aplicó el criterio utilizado por Orosco y Haarala-Orosco (2010) en su trabajo, que fuera desarrollado por Davis y Frolich (1991),

$$d_{st} = (d^2 + C^2 T^2)^{1/2}$$

donde  $d_{st}$  está en km,  $d$  es la distancia entre dos eventos (en km),  $T$  es el tiempo entre ellos (en días) y  $C$  una constante que relaciona distancias y tiempo y que se sugiere sea igual a 1 km/día para sismos en Sudamérica. Se definieron los premonitores, réplicas y enjambres como aquellos sismos que se encuentran a una  $d_{st}$  menor a 75 km.

Generalmente al eliminar estos eventos se obtiene un catálogo reducido en un 30%. En este caso la reducción alcanzó más del 50%. Esto puede deberse a las distintas fuentes de información utilizadas para confeccionar la base de datos, que comprenden períodos disímiles, generando una falta de completitud en tiempo, así como una falta de datos de magnitudes menores a 3 en aquellas zonas con menor densidad instrumental, lo que implica una falta de completitud espacial, o incluso a la metodología utilizada para la eliminación de eventos dependientes temporal y espacialmente que no se ajusta adecuadamente a la distribución regional de sismicidad.

### **Análisis de la completitud del catálogo**

Al contar con fuentes variadas para confeccionar el catálogo final, se debe analizar la uniformidad y completitud a fin de seleccionar la magnitud mínima a considerar. En principio se puede decir que el catálogo se supone completo para una zona, en un determinado período de tiempo y para distintas magnitudes, si contiene todos los sismos ocurridos en la zona con dichas características. En general al remontarnos hacia atrás en el tiempo, la información que

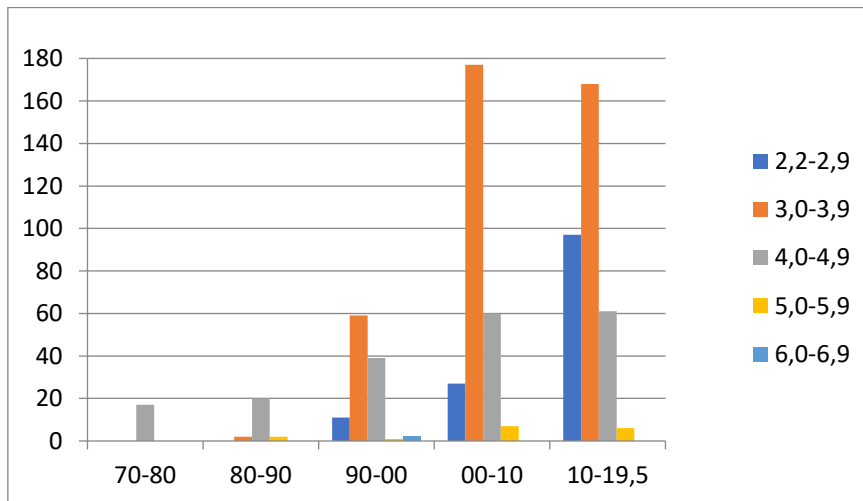


Figura 12. Distribución de sismos por magnitud para distintas décadas.

se tiene sobre los sismos de menor tamaño es cada vez más escasa debido a diversas causas, siendo la evolución de las redes sísmicas en el tiempo una de las principales.

Considerando estos factores, se fijan los años de referencia para cada rango de magnitud que permitan asumir la completitud del catálogo. En nuestro caso como el catálogo es acotado en tiempo y región de estudio, se analizó la distribución de sismos por magnitud para distintas décadas (Figura 12) y se determinó el número máximo de sismos para cada magnitud (Figura 13).

Dado que, teóricamente, el número de eventos ocurridos para cada magnitud no debería variar en el tiempo y que el número de eventos debería decrecer conforme aumenta la magnitud de los mismos, se estableció la completitud del catálogo a partir de Mw 3 para el período que comprende los últimos veinte años.

Considerando los factores de error provenientes de la información disímil, de la falta de completitud de los catálogos en magnitud y en tiempo y de la eliminación de sismos de magnitudes desconocidas, se resolvió no eliminar los premonitores, réplicas y enjambres,

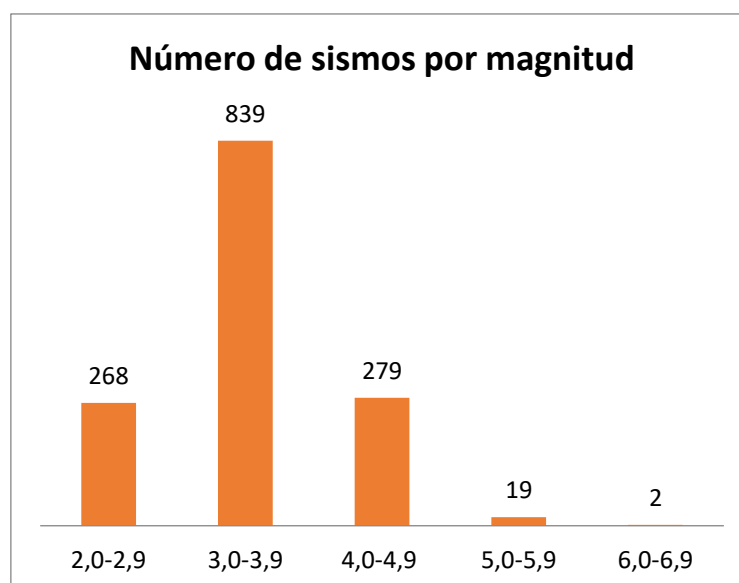


Figura 13. Número máximo de sismos para cada magnitud.



identificados en más del 50% del catálogo, estimando que estos errores pudieron afectar la correcta individualización de los mismos. También fueron incluidos los sismos ocurridos entre 1970 y 2000 que aportan información vital en el análisis de sismicidad de la región, objeto de estudio, a pesar de su falta de completitud. De esta manera el catálogo final que sirve de base para los estudios de peligrosidad presenta la siguiente distribución de sismos por magnitud (Figura14).

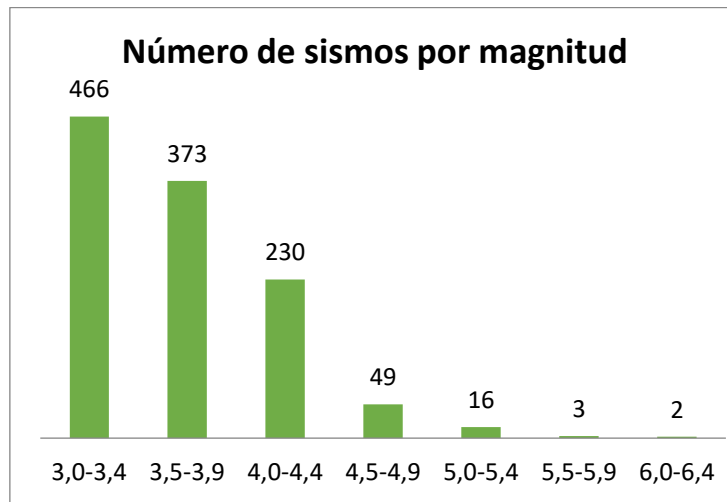


Figura 14. Distribución de sismos por magnitud del catálogo final considerado.

### Definición de las zonas sismogénicas

Para estimar las aceleraciones más probables de ocurrir en el sitio de estudio deben definirse las zonas sismogénicas cuyos eventos puedan generar ondas que lo afecten. Es por esto que el conocimiento de las estructuras y mecanismos que generan las rupturas y deslizamientos en cada zona es crucial para poder asociar sus fuentes a fin de remarcar las diferencias entre distintas zonas sismogénicas y sus efectos.

La primera gran subdivisión se plantea por profundidades focales, entre sismos superficiales (<50 km) y sismos intermedios (>50 km) tal como se muestra en las Figuras 15a y 15b en planta y cortes transversales para cada rango de profundidad. Las profundidades focales para sismos intermedios se extienden hasta casi 300 km.

Para la definición de las zonas sismogénicas se procedió a analizar la distribución en planta de los eventos en cuadrículas de 0.2° de espaciamiento y su asociación con los aspectos sismotectónicos ya observados. Las Figuras 16a y 16b muestran las zonas sismogénicas seleccionadas en cada rango de profundidad. El centro de la malla, señalado por un cuadrado negro, marca el sitio de interés.

La Figura 16a muestra la sismicidad cuyas profundidades focales pueden atribuirse a fuentes en la placa Sudamericana. Los hipocentros corticales fueron divididos en cinco zonas sismogénicas de acuerdo con su densidad superficial y las grandes estructuras geológicas que los originan.

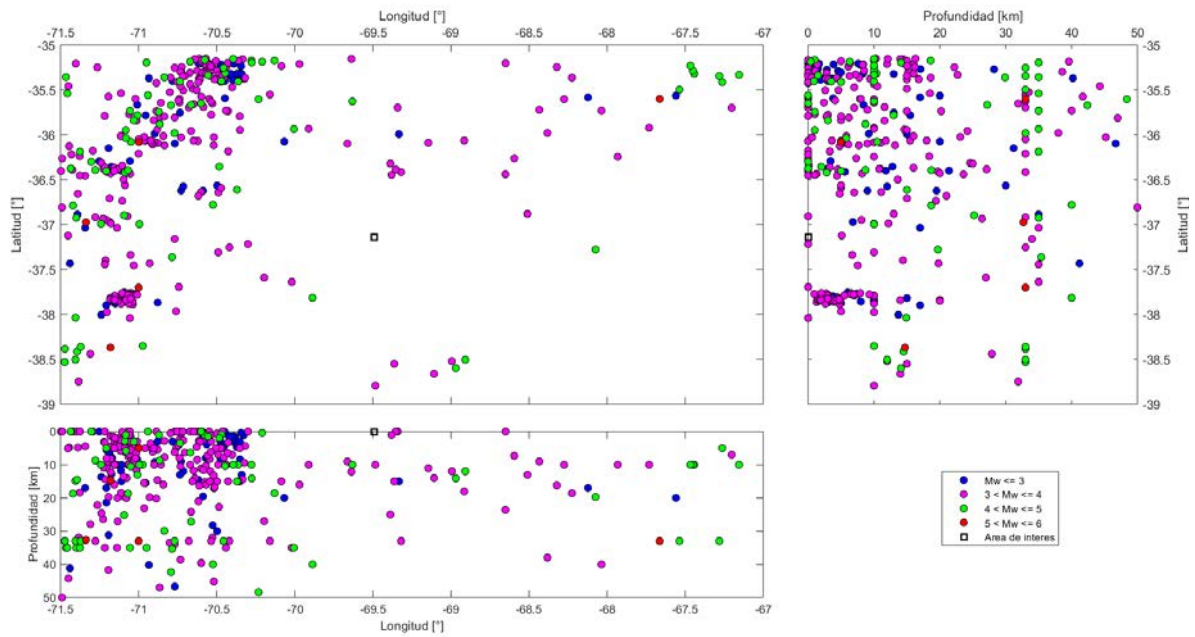


Figura 15a. Distribución de hipocentros someros ( $H < 50$  km) reportados en el catálogo final considerado en planta (arriba izquierda) y distribuciones en profundidad según latitud (arriba derecha) y longitud (abajo).

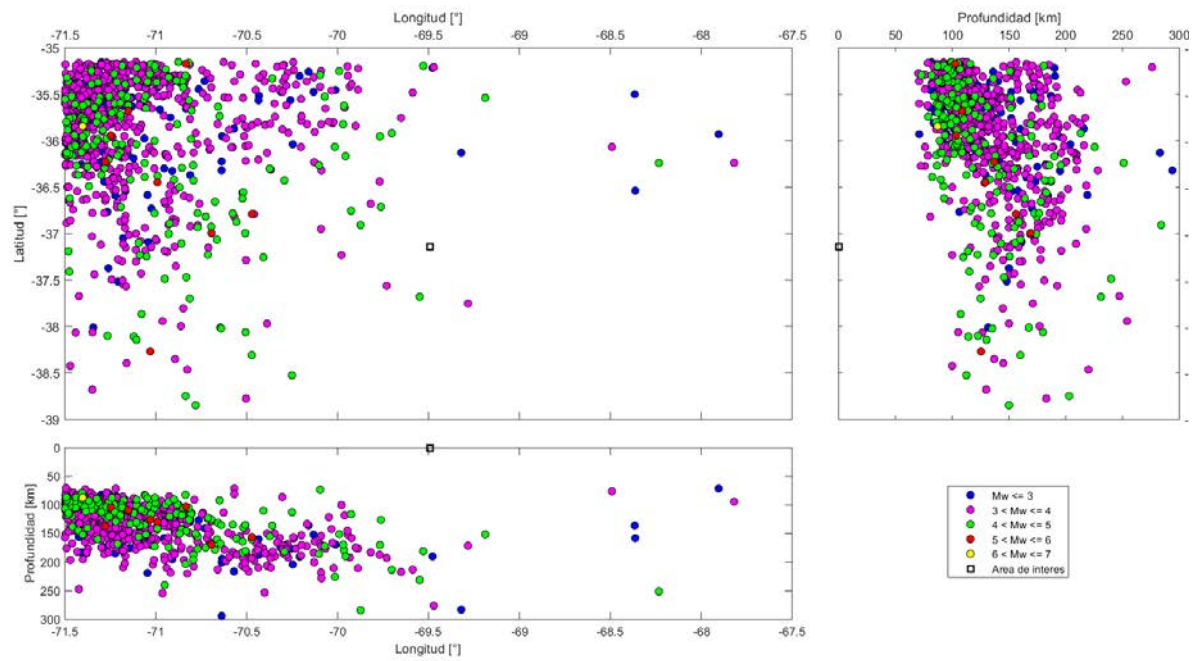


Figura 15b. Distribución de hipocentros intermedios ( $H > 50$  km) reportados en el catálogo final considerado en planta (arriba izquierda) y distribuciones en profundidad según latitud (arriba derecha) y longitud (abajo).

La **zona 1**, comprende la sismicidad al noroeste de 36.16°S, 69.69°O incluyendo por lo tanto la mayor concentración de actividad entorno a la FPCM, el CVPP y el CVLM.

La **zona 2**, se extiende al sur de la zona 1 y al oeste de 70.89°O incluyendo entonces la actividad sísmica asociada al arco volcánico (principalmente el CVNCh y el CVCC), al lineamiento al sur de Nevado Longaví, a la ZFAC y la ZFLO.

La **zona 3** se extiende al sur de la zona 1, al este de la zona 2 y al noroeste de 38.34°S, 69.69°O, incluyendo la actividad sísmica asociada a la FCPA, las fosas de Loncopué y Las Loicas, la cordillera del Viento y por lo tanto al SVD, todas estas expresiones sobreimpuestas al lineamiento Cortaderas.

La **zona 4**, al noreste de 37.54°S, 69.69°O reúne la sismicidad ocurrida al este-sureste de la pcia. de Mendoza, incluyendo la actividad bajo los campos volcánicos de Payenia.

La **zona 5** se extiende al sur de los puntos 37.94°S, 68.49°O y 37.96°S, 69.69°O encerrando la sismicidad superficial reportada en el límite norte de la dorsal de Huincul, hacia el anticlinal de Añelo y el dorso de los Chihuidos. Las zonas 3 y 5 podrían combinarse si se asume que la actividad en la zona 5 está asociada también al lineamiento Cortaderas.

La Figura 16b muestra la sismicidad para profundidades focales mayores que 50 km y por lo tanto atribuida a rupturas en la placa de Nazca a medida que subduce bajo la placa Sudamericana. Los hipocentros a estas profundidades fueron divididos a su vez en dos zonas sismogénicas.

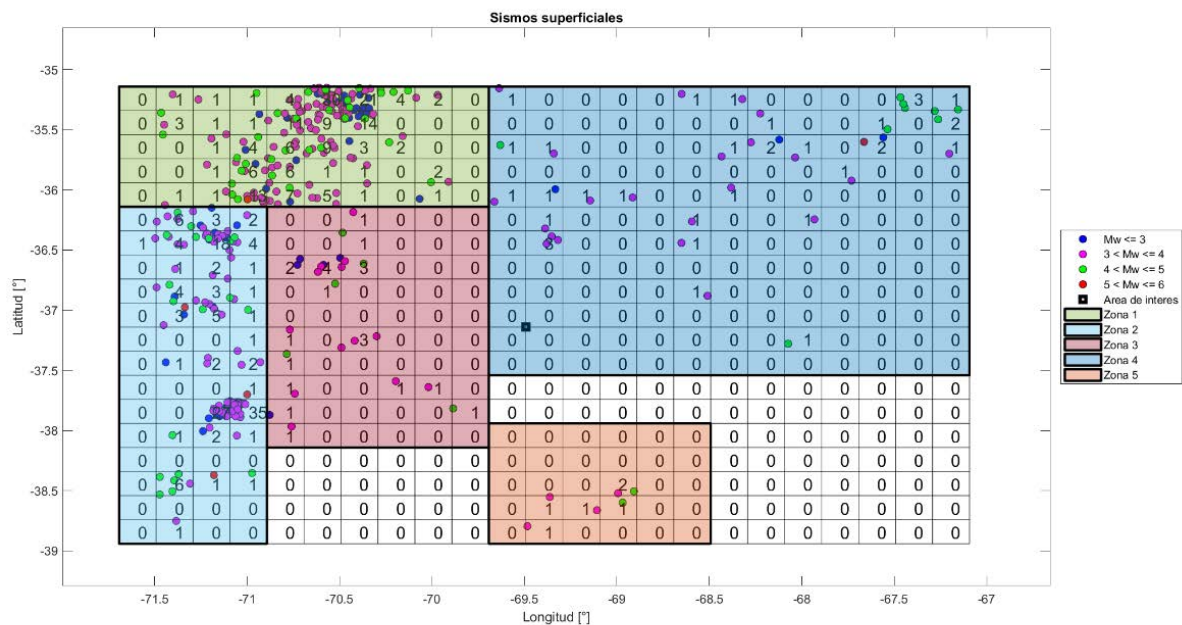


Figura 16a. Distribución de hipocentros corticales ( $H < 50$  km) en la región de análisis. El cuadrado negro marca el centro del sitio de interés. Las cuadrículas de  $0.2^\circ$  de lado permiten el conteo de eventos por zona para el período de análisis. Las diferentes áreas sismogénicas descritas en el texto se demarcan con colores y números de acuerdo a lo detallado en la leyenda.

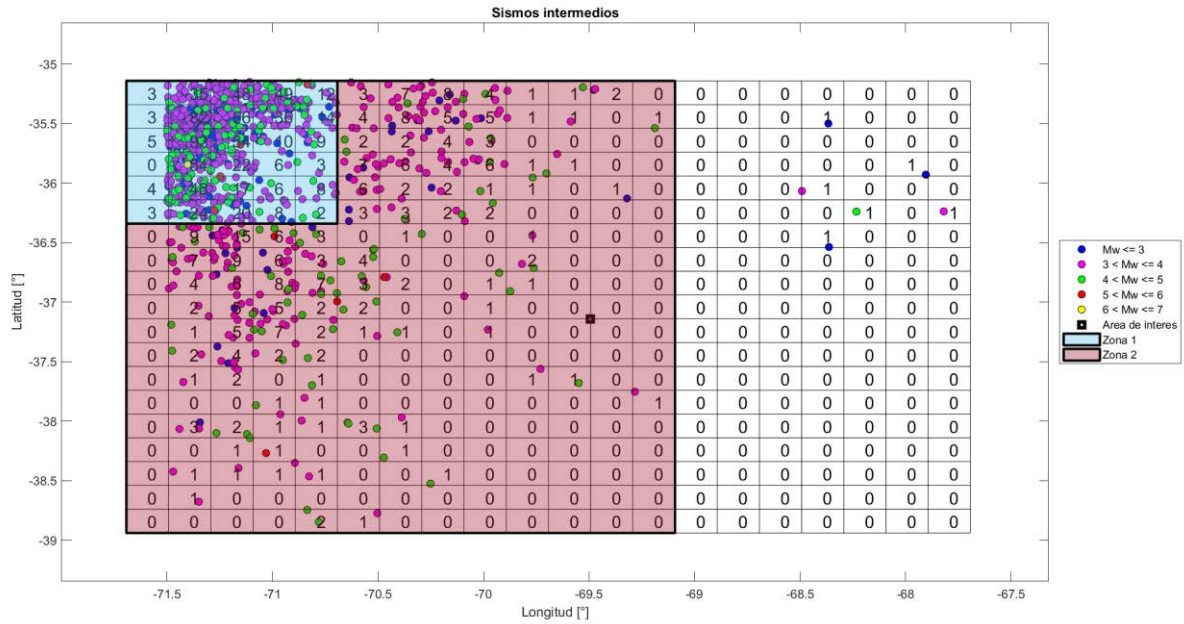


Figura 16b. Distribución de hipocentros en la placa subducida ( $H > 50$  km) en la región de análisis. El cuadrado negro marca el centro del sitio de interés. Las cuadrículas de  $0.2^\circ$  de lado permiten el conteo de eventos por zona para el período de análisis. Las diferentes áreas sísmogénicas descritas en el texto se demarcan con colores y números de acuerdo a lo detallado en la leyenda.

La **zona 1**, al noroeste de los  $36.34^\circ\text{S}$  y  $70.69^\circ\text{O}$ , contempla la mayor densidad de actividad a profundidades intermedias, mostrando que las rupturas en la placa subyacente coinciden aproximadamente con las zonas de mayor deformación en la placa suprayacente y el desarrollo del arco magmático.

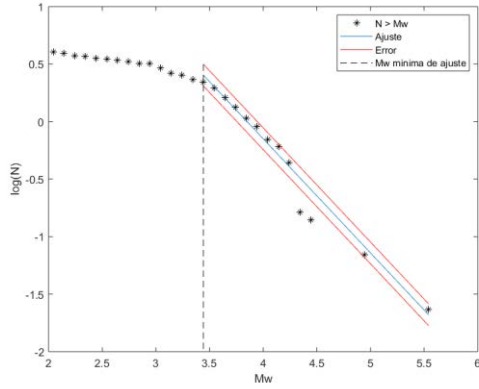
La **zona 2**, rodea a la zona 1 abarcando todo el rango de latitudes de la región considerada y hasta los  $68.89^\circ\text{O}$  a fin de tratar de incluir todas las fuentes sísmicas restantes en la placa subyacente. Se han descartado unos pocos eventos hacia el este por considerarse a sus profundidades anómalas en comparación con la ZWB y a fin de no afectar la validez estadística del análisis.

### Ley de Gutenberg y Richter

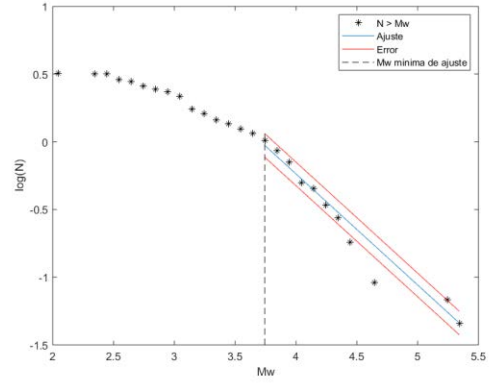
En la práctica, el análisis de la peligrosidad sísmica en un área especificada comprende la evaluación de la relación de recurrencia de la actividad sísmica. Una de las formas de ejecutar esta evaluación es mediante el estudio de la relación de Gutenberg y Richter (1944), la cual sugiere:

$$\log N = a - b M,$$

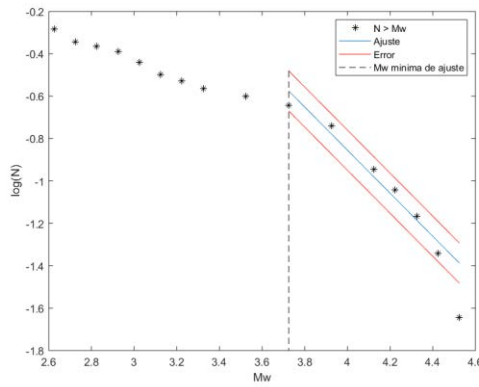
donde  $N$  es el número de eventos con magnitudes mayores o iguales que  $M$  por unidad de tiempo;  $a$  y  $b$  son constantes. El parámetro  $b$  es la pendiente de la recta que ajusta la relación, y representa la proporción entre el número de sismos de mayor y menor magnitud para el área de estudio; y  $a$  es la ordenada en el origen, una estimación de la tasa anual de sismos que superan una magnitud mínima de referencia. La Figura 17 muestra las distribuciones de  $\log N$  Vs.  $M_w$  para eventos corticales e intermedios en cada zona sísmogénica, así como los ajustes de la relación lineal.



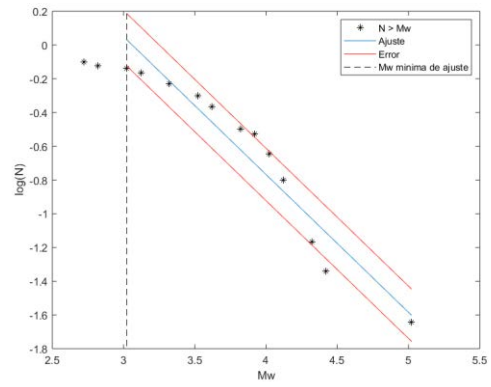
Zona 1- corticales



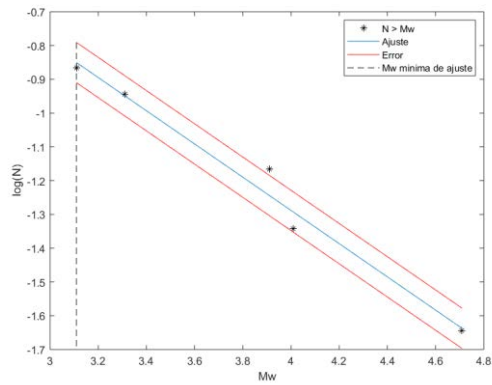
Zona 2- corticales



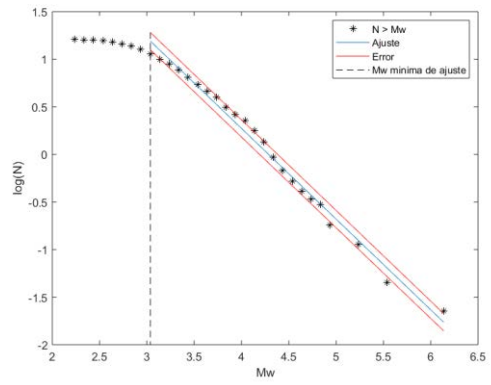
Zona 3- corticales



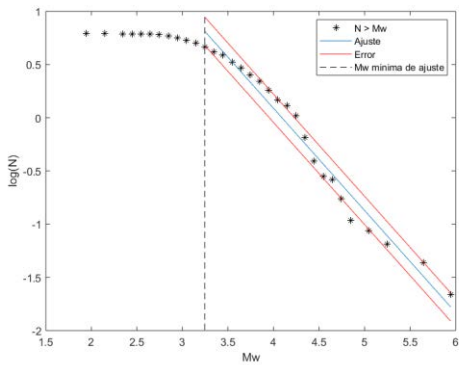
Zona 4- corticales



Zona 5- corticales



Zona 1- intermedios



Zona 2- intermedios

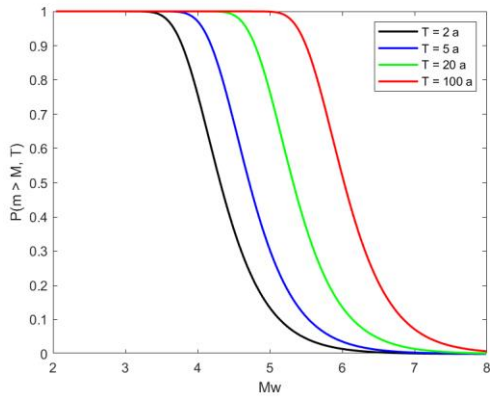
Figura 17. Distribuciones de  $\log N$  Vs.  $M_w$  para eventos corticales e intermedios en cada zona sismogénica y rango de profundidad según selecciones realizadas en la Figura 16. En cada caso se muestran los ajustes robustos y desviaciones de la relación lineal a partir de las magnitudes mínimas que aseguran la completitud del catálogo para esa zona.

Zona sismogénica cortical	$a$	$b$
1	3.82 (0.19)	0.99 (0.05)
2	3.04 (0.23)	0.82 (0.05)
3	3.21 (0.57)	1.02 (0.14)
4	2.50 (0.31)	0.82 (0.08)
5	0.68 (0.18)	0.49 (0.05)

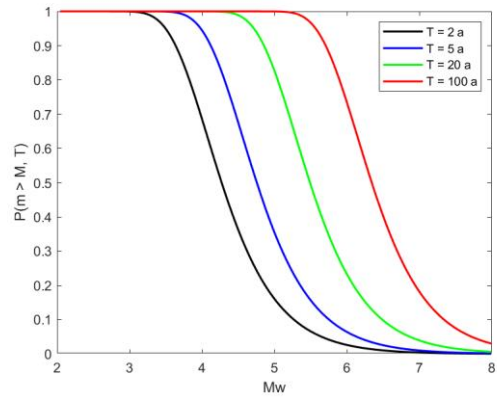
Tabla 2. Valores de las constantes de Gutenberg-Richter en cada área sismogénica para sismos corticales (arriba) e intermedios (abajo). Las cantidades entre paréntesis representan las desviaciones estándar de los resultados

Zona sismogénica intermedia	$a$	$b$
1	4.08 (0.1)	0.95 (0.02)
2	3.93 (0.17)	0.96 (0.04)

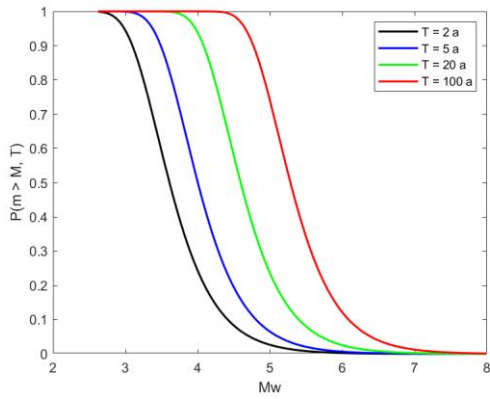
Del análisis de la relación de Gutenberg-Richter, se obtienen los valores de las constantes  $a$  y  $b$  características para cada una de las zonas sismogénicas identificadas (ver Tabla 2). En este trabajo, la relación ha sido evaluada mediante un ajuste lineal robusto para magnitudes superiores a un valor mínimo seleccionado a partir de un análisis de completitud del catálogo para cada área sismogénica. Estas constantes son entonces utilizadas para la construcción de las curvas de excedencia. La Figura 18 muestra dichas curvas para distintos períodos de tiempo ( $t$ ) seleccionados arbitrariamente, en este caso,  $t = 2, 5, 20, 100$  años.



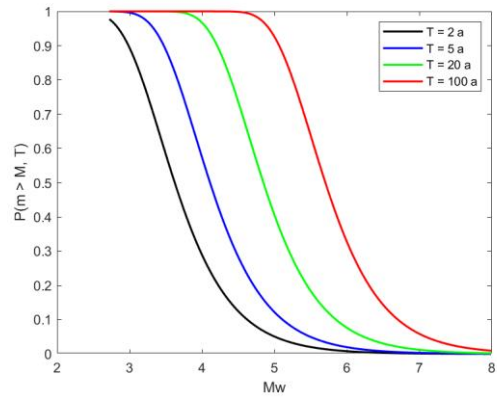
Zona 1- cortical



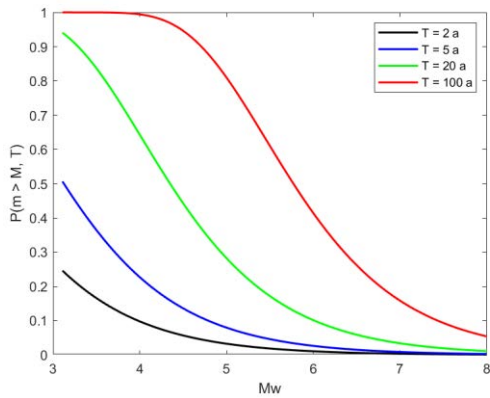
Zona 2- cortical



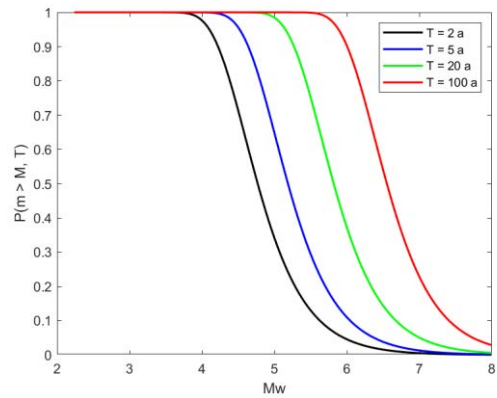
Zona 3- cortical



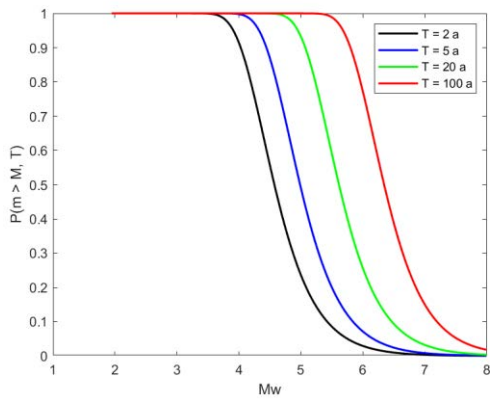
Zona 4- cortical



Zona 5- cortical



Zona 1- intermedia



Zona 2- intermedia

Figura 18. Curvas de Probabilidad de excedencia en función de la magnitud  $M_w$ , para diferentes intervalos de tiempo seleccionados en cada zona y profundidad sismogénica, construidas con los valores de  $a$  y  $b$  obtenidos de la relación de Gutenberg y Richter y la distribución de Poisson.

Identificación	Sismos de diseño		Período de retorno	Probabilidad de excedencia anual
	Tiempo de exposición	Probabilidad de excedencia		
A	3	50%	4.8	20.63%
B	5	50%	7.7	12.94%
C	5	10%	48.0	2.09%
D	10	50%	14.9	1.05%
E	10	10%	95.4	1.05%
F	25	10%	237.8	0.42%
G	50	10%	475.1	0.21%

Tabla 3. Sismos de diseño considerados para la evaluación de la peligrosidad en la región de estudio.

Para determinar el efecto de la sismicidad sobre el sitio de interés deben establecerse la vida útil de los elementos involucrados y la peligrosidad admisible. La vida útil o tiempo de exposición se encuentra definida por el período entre la instalación y la inutilización de los elementos afectables y su valor mínimo es estimado en base a las características de los componentes y de la probable vigencia de exposición a la amenaza (Ramírez Rayo et al., 2008). Asimismo, la peligrosidad admisible se corresponde con la probabilidad de excedencia de cierto nivel de referencia. El análisis de estos parámetros según el caso particular permite la construcción de los sismos de diseño. La Tabla 3 presenta aquellos utilizados en este trabajo a los que se les ha estimado el período de retorno mediante la aproximación de Poisson. Cada sismo de diseño permitirá estimar, para cada zona sismogénica seleccionada, la magnitud mínima superable con la probabilidad de excedencia y en el período de retorno dispuestos (ver Tabla 4).

Zona cortical	Mw máx.	Mw media	Sismo de Diseño	Mw esperada
1	5.6	3.4	A	4.7
			B	4.9
			C	6.5
			D	5.2
			E	6.8
			F	7.2
			G	7.5
2	5.4	3.4	A	4.7
			B	5.0
			C	7.0
			D	5.3
			E	7.3
			F	7.8
			G	8.2
3	4.6	3.5	A	4.0
			B	4.2
			C	5.8
			D	4.5
			E	6.1
			F	6.5



			G	6.8
4	5.1	3.7	A	4.1
			B	4.3
			C	6.3
			D	4.7
			E	6.7
			F	7.2
			G	7.5
5	4.8	3.8	A	3.1
			B	3.5
			C	6.8
			D	4.1
			E	7.4
			F	8.2
			G	8.8

Zona intermedia	Mw máx.	Mw media	Sismo de Diseño	Mw esperada
1	6.2	3.4	A	5.2
			B	5.4
			C	7.1
			D	5.7
			E	7.4
			F	7.8
			G	8.1
2	6.0	3.7	A	5.0
			B	5.2
			C	6.9
			D	5.5
			E	7.2
			F	7.6
			G	7.9

Tabla 4. Magnitudes máximas y medias reportadas para cada zona sismogénica y magnitudes de excedencia esperadas según sismos de diseño establecidos en la Tabla 3.

### Leyes de atenuación

Contando con las magnitudes de excedencia esperadas en cada zona de acuerdo a la ley de probabilidad de Poisson y para cada sismo de diseño, corresponde estimar las aceleraciones que dichas magnitudes provocarán en el sitio de interés. Para ello se debe evaluar el efecto de atenuación sobre las ondas ejercido por el subsuelo en su trayecto desde la fuente sismogénica. Este efecto se expresa generalmente a través de leyes de atenuación que cuantifican la aceleración del suelo en un punto como función de su distancia a la fuente y la magnitud del sismo. Dado que no existen en la bibliografía estudios de atenuación sísmica que hayan modelado dicho efecto para esta región específica, se ha recurrido a formulaciones establecidas para otras regiones comparables por su actividad sísmica o tipo de suelo.

- 1)  $a = 10^{(-0.7837+0.353M-1.5981\log R-0.00099R)}$   
Ajustada por Bufaliza (INPRES, 1995) para la región centro-oeste de Argentina, estima la aceleración máxima horizontal pico a pico ( $a$ ) en unidades de gravedad ( $g$ ) para la magnitud  $M$ , que será la de ondas de cuerpo si  $M < 6$  o de ondas superficiales si  $M > 6$ .  $R$  es la distancia hipocentral expresada en km.
- 2)  $a = 1320e^{0.58M}(R + 25)^{-1.52}$   
Ajustada por Donovan (1973) como ecuación global para telesismos, expresa la aceleración en gals.
- 3)  $a = 1150e^{0.7M}(R + 4M)^{-1.6}$   
Ajustada por Castano (INPRES, 1977) para la Argentina para distancias epicentrales mayores que 100 km, expresa la aceleración en gals.
- 4)  $a = Ae^{BM}(R + 0.864e^{0.463M})^E$   
Ajustada por Patwardhan-Sadigh-Idriss-Youngs (en Douglas, 2001), expresa la aceleración en gals para suelos. En caso de sismos corticales someros:  $A=191$ ,  $B=0.823$  y  $E=-1.56$ , mientras que para sismos intermedios:  $A=284$ ,  $B=0.587$  y  $E=-1.05$ .
- 5)  $a = 0.141e^{1.04M}(R + 0.775e^{0.5M})^{-1.75}$   
Propuesta por Woodward-Clyde Consultants (INPRES, 1982) para el oeste de Estados Unidos, expresa la aceleración en unidades de gravedad.
- 6)  $a = 0.063e^M(R + 0.193e^{0.714M})^{-1.4}$   
Obtenida por Gil-Nafa-Zamarbide (INPRES, 1982) para la zona centro-oeste de Argentina, expresa la aceleración en unidades de gravedad.
- 7)  $a = 578.25e^{(1.76M+0.00916H)}(R + 1.58e^{0.608M})^{-2.73}$   
Propuesta por Crouse (1991) para sismos en zonas de subducción con profundidades ( $H$ ) menores a 400 km, expresa la aceleración en gals.
- 8)  $a = e^{(2.48456+0.73377M-0.01509M^2-0.50558\log(R+1)-0.00935R)}$   
Propuesta por Crouse (1987) (en Douglas, 1991) para sismos corticales, expresa la aceleración en gals para suelos con un espesor de sedimentos mayor que 60 m.
- 9)  $a = e^{(-0.9+M-1.9\ln(R+0.9918e^{0.5263M})+0.004H+0.31)}$   
Propuesta por Lin y Lee (2008) para sismos intermedios (en la placa subyacente) en zona de subducción, expresa la aceleración en unidades de gravedad para suelos.

### **Aceleraciones para sismos de diseño en cada zona sismogénica**

Los sismos de diseño C (10% de probabilidad de excedencia en 5 años) y D (50% de probabilidad de excedencia en 10 años) tienen la particularidad de presentar las magnitudes esperadas que mejor aproximan a las máximas magnitudes registradas en cada zona sismogénica considerada. Por esta razón, la Tabla 5 (a-d) muestra las aceleraciones probables de ser excedidas en el sitio de interés por acción de los sismos de diseño C y D para sismos corticales e intermedios. Los resultados correspondientes a los sismos de diseño restantes se presentan en el anexo.

Aceleraciones - Sismo de Diseño C					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00570	0.00852	0.00974	0.00943	0.00729
Donovan	0.01869	0.02483	0.02606	0.02599	0.02224
Castano	0.02312	0.03192		0.03227	0.02816
Patwardhan et al.	0.00758	0.01191	0.01038	0.01121	0.01000
Woodward-Clyde	0.01213	0.01888	0.01524	0.01703	0.01591
Gil et al.	0.02649	0.03982	0.02876	0.03378	0.03403
Crouse (1991)	0.01602	0.03047	0.02039	0.02443	0.02353
Crouse (1987)	0.01086	0.01445	0.02054	0.01874	0.01296
Ac - prom (%g)	0.0151 (0.00736)	0.0226 (0.01097)	0.0187 (0.00734)	0.0216 (0.00906)	0.0193 (0.00929)

Aceleraciones - Sismo de Diseño D					
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Cortical				
	1	2	3	4	5
Bufaliza	0.00193	0.00159	0.00343	0.00252	0.00069
Donovan	0.00862	0.00762	0.01236	0.01015	0.00417
Castano	0.00948	0.00836		0.01113	0.00413
Patwardhan et al.	0.00205	0.00179	0.00301	0.00234	0.00060
Woodward-Clyde	0.00331	0.00296	0.00444	0.00359	0.00098
Gil et al.	0.00764	0.00714	0.00870	0.00755	0.00240
Crouse (1991)	0.00262	0.00240	0.00474	0.00290	0.00041
Crouse (1987)	0.00516	0.00395	0.00977	0.00746	0.00232
Ac - prom (%g)	0.0051 (0.00309)	0.0045 (0.00279)	0.0066 (0.00362)	0.0060 (0.00357)	0.0020 (0.00154)

Aceleraciones - Sismo de Diseño C		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2
Bufaliza	0.00545	0.00374
Donovan	0.01860	0.01438
Castano	0.02385	0.01792
Gil et al.	0.03199	0.02310
Crouse (1991)	0.05614	0.06760
Crouse (1987)	0.02650	0.02482
Ac - prom (%g)	0.0271 (0.01685)	0.0253 (0.02206)

Aceleraciones - Sismo de Diseño D		
Ley de atenuación	Zona Sismogénica Intermedia	
	1	2

Bufaliza	0.00164	0.00226
Donovan	0.00793	0.00969
Castano	0.00889	0.01088
Gil et al.	0.00849	0.00953
Crouse (1991)	0.00941	0.01398
Crouse (1987)	0.00776	0.01045
Ac - prom (%g)	0.0074 (0.00286)	0.0095 (0.00388)

## Interpretación

A partir de catálogos de sismicidad disponibles y mediante un análisis sismotectónico, se han identificado las zonas sismogénicas cuya actividad puede afectar al sitio de interés. El análisis de las distribuciones temporales de eventos y magnitudes en cada zona sismogénica ha permitido estimar las probabilidades de excedencia para dichas magnitudes en diferentes intervalos de tiempo.

Se han planteado escenarios posibles (sismos de diseño) con diferentes niveles de probabilidad de excedencia en intervalos de tiempo acordes a la exposición del sitio de interés a la sismicidad reportada. Los sismos de diseño tipo C y D han resultado los más razonables teniendo en cuenta que las magnitudes esperadas que arroja el análisis probabilista son las que mejor aproximan a las máximas magnitudes registradas en todas las zonas sismogénicas en el período analizado.

La estimación de las aceleraciones esperables para dichos eventos en el sitio de interés permite interpretar los efectos de cada zona sismogénica:

### 1) Para sismos corticales:

- Existe un 10% de probabilidad de exceder una aceleración promedio de 0.02g en 48 años para eventos originados en cualquiera de las zonas sismogénicas corticales definidas en este estudio (35.2°S-38.9°S y 67.5°O-71.5°O). Un análisis comparativo entre zonas permite discernir que las zonas 2 y 4 producirían un mayor efecto.
- Existe un 50% de probabilidad de exceder una aceleración de 0.006g en 15 años para sismos corticales originados en las zonas 3 (Cordillera del Viento, Faja Plegada y Corrida del Agrio, Fosas de Loncopué y Las Loicas) y 4 (centro y noreste de la región de estudio). Para el mismo escenario, las aceleraciones esperadas para sismos en las zonas 1 y 2, serían de 0.005g.

El análisis comparativo entre zonas y sismicidad asociada permite interpretar que, si bien las zonas 3 y 4 contienen mayormente eventos de magnitudes moderadas, la estimación de su probable efecto es significativa dada su cercanía al sitio de interés. Por otro lado, el efecto de la zona 2 puede adjudicarse a la presencia de sismos con magnitudes moderadas y altas.

### 2) Para sismos intermedios:

- Existe un 10% de probabilidad de exceder una aceleración promedio de 0.026g en 48 años para sismos originados a estas profundidades. Un análisis comparativo permite



**Gobierno de la Provincia de Mendoza**

-

**Hoja Adicional de Firmas  
Informe Firma Ológrafa**

**Número:**

Mendoza,

**Referencia:** A.P PBN Perforacion Pozo PBN.x-101(h) 8°parte

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 100 pagina/s.