

Magmatismo del Carbonífero-Pérmico inferior en la Cordillera de Domeyko: Geocronología U-Pb del Complejo Intrusivo Limón Verde.

Javiera Morandé^{1,2*}, Constantino Mpodozis²

Departamento de Geología, Universidad de Chile, Plaza Ercilla 803, Santiago
Antofagasta Minerals, Avda Apoquindo 4001, Piso 18, Santiago

* email: jmorande@ing.uchile.cl

Resumen. La Sierra Limón Verde, incluye afloramientos de rocas meta-sedimentarias cubiertas, en discordancia por rocas piroclásticas y volcánicas ácidas (Formación Agua Dulce) intruidas, por un heterogéneo grupo de intrusivos del Paleozoico superior (Complejo Intrusivo Limón Verde, CILV). 13 nuevas dataciones U-Pb indican que el CILV es el resultado de dos pulsos magmáticos ocurridos entre los 325-320 Ma y 300-287 Ma. Durante este último período se emplazó también la mayor parte de la Formación Agua Dulce, que cubre extensas áreas al sur de la Sierra Limón Verde, y ha sido datada (U-Pb) al igual que en Limón Verde (dos edades) entre los 300 y 285 Ma. Estos antecedentes comprueban la importancia del pulso magmático del Carbonífero superior-Pérmico inferior en este segmento de la Cordillera de Domeyko.

Palabras Claves: Sierra Limón Verde, magmatismo Paleozoico superior, edades U-Pb

1. Introducción

La Sierra Limón Verde (SLV), ubicada inmediatamente al sur de Calama, es uno de los elementos morfo-tectónicos más importantes de la Cordillera de Domeyko e incluye afloramientos de rocas metamórficas, sedimentarias y volcánicas del Neoproterozoico y Paleozoico superior (Morandé, 2014 y referencias allí citadas). Estas unidades están intruidas por un extenso complejo plutónico (Complejo Intrusivo Limón Verde, CILV, Baeza y Venegas, 1984; Mpodozis *et al.*, 1993) formado por numerosos plutones discretos cuya composición varía desde dioritas hasta granitos y pórfidos riolíticos. Los primeros trabajos efectuados por Harrington (1961), les asignaron, inicialmente, una edad precámbrica. Dataciones K-Ar, Rb-Sr y algunas dataciones U-Pb (Marinovic y Lahsen, 1984; Hervé *et al.*, 1985; Rogers, 1985; Damm *et al.*, 1986; Cordani *et al.*, 1988; Mpodozis *et al.*, 1993) indicaron, con posterioridad, edades comprendidas entre el Carbonífero superior y Pérmico.

En esta contribución presentamos una breve descripción del CILV, y de las rocas volcánicas de edad equivalente (Formación Agua Dulce, Fig. 1), aflorantes en la Sierra Limón Verde y damos a conocer los resultados de 13 nuevas dataciones U-Pb (LA-ICP-MS) de rocas intrusivas y volcánicas, las cuales permiten precisar la edad del

magmatismo y analizar su significado dentro de la evolución paleozoica del norte de Chile.

2. El Complejo Intrusivo Limón Verde

El CILV está constituido por un conjunto de rocas intrusivas que afloran tanto en la Sierra Limón Verde como en serranías aledañas (Cerros Crespo, Esperanza,

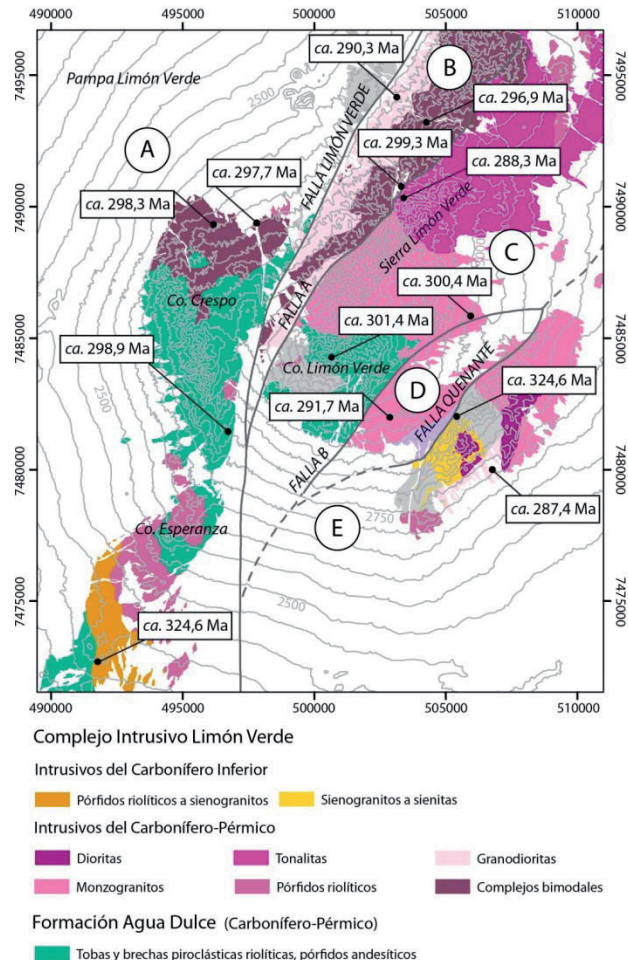


Figura 1. Mapa geológico simplificado de la Sierra Limón Verde, indicando los diversos dominios estructurales separados por fallas (A-E y Limón Verde), distribución de rocas volcánicas e intrusivas paleozoicas y ubicación de nuevas edades U-Pb.

Quenante y Providencia, Fig. 1). Este complejo se encuentra emplazado en rocas meta-sedimentarias de probable edad neoproterozoica (Diamictitas de Limón Verde) y/o devónico-carbonífera (Morandé, 2014). Rocas volcánicas del Paleozoico superior (principalmente tobas y brechas piroclásticas riolíticas) de la Formación Agua Dulce (Basso y Mpodozis, 2012) se apoyan en discordancia sobre las secuencias sedimentarias devónico-carboníferas en Cerro Limón Verde y forman extensos afloramientos en la zona de Cerro Creso y están, también, intruidas por granitoides del CILV (Fig. 1). El complejo está formado, por intrusivos de grano medio a grueso (dioritas cuarcíferas, tonalitas, granodioritas de hb-bt, monzodioritas, granodioritas, monzogranitos de bt-hb) que afloran en los dominios estructurales (bloques limitados por fallas) A, C y E (ver Fig. 1) que aparecen junto a pórfidos riolíticos. En los dominios B y D afloran, en cambio intrusivos foliados de composición monzogranítica, granodiorítica y diorítica. Los dominios A y E incluyen dos stocks de pórfidos riolíticos y sienogranitos y sienitas de grano fino a medio.

3. Nuevas edades U-Pb

Las 11 dataciones U-Pb LA-ICP MS (realizadas por V. Valencia, Universidad Washington State) indican que, el CILV incluye un grupo intrusivos de pequeño volumen que comprende dos stocks riolíticos y sienograníticos aflorantes en los dominios A y E (Fig. 1) con edades de *ca.* 324,6 y 322,06 Ma (límite Missisipiano-Pennsylvaniano). Sin embargo, la mayoría de los intrusivos parece haberse emplazado entre los *ca.* 300 y 287 Ma, cerca del límite Carbonífero-Pérmico inferior como lo indican las edades obtenidas en muestras de dioritas (*ca.* 297,7; 296,9 Ma), tonalitas (*ca.* 288,3 Ma), granodioritas (*ca.* 290,3; 287,4 Ma), monzogranitos (*ca.* 300,4; 291,7) Ma, y sienogranitos (*ca.* 298,8 y 298,3 Ma). Finalmente dos muestras de la Formación Agua Dulce indicaron edades U-Pb de *ca.* 301,4 y 298,9 Ma, consistentes con las anteriores.

4. Significado del magmatismo paleozoico superior del CILV

El CILV y las rocas volcánicas y piroclásticas de la Formación Agua Dulce, expuestas en la Sierra Limón Verde forman parte del gran cinturón magmático del Paleozoico superior al Mesozoico inferior que se extiende en los Andes Centrales desde Perú hasta la Provincia de la Pampa, Argentina, a través de la Cordillera de Domeyko, la Cordillera Frontal de San Juan – Mendoza y el Bloque San Rafael, al sur de Mendoza (Kay *et al.*, 1989; Llambías y Sato, 1990, 1995; Mpodozis *et al.*, 1993; Gregori *et al.*, 2003; Chew *et al.*, 2007; Kleiman y Japas, 2009; Miskovic y Schaltegger, 2009; Rocha-Campos *et al.*, 2011; Gregori y Benedini, 2013). Estas rocas han sido consideradas por diversos autores como el resultado de subducción y/o

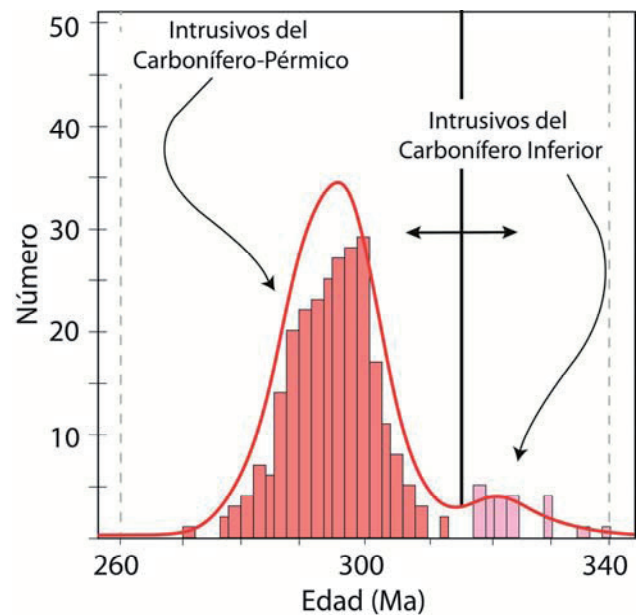


Figura 2. Diagrama de densidad de probabilidad de las edades U-Pb (LA-ICP-MS) de cristales individuales de circones del Complejo Intrusivo Limón Verde, obtenidas en este trabajo.

extensión y fusión cortical a lo largo del margen de Gondwana, a partir del Carbonífero, durante las últimas etapas del amalgamamiento de Gondwana y las etapas iniciales del desmembramiento de Pangea (*e.g.* Davidson *et al.*, 1985; Breitzkreuz *et al.*, 1989; Brown, 1990; Mpodozis y Kay, 1992; Breitzkreuz y Zeil, 1994; Bahlburg y Hervé, 1997; Lucassen *et al.*, 1999; Tomlinson y Blanco, 2007; Chew *et al.*, 2007; Hervé *et al.*, 2013).

Trabajos efectuados tanto en Perú (*e.g.* Miskovic *et al.*, 2009) como en la Cordillera de Domeyko de Chile (*e.g.* Cornejo *et al.*, 2006) han demostrado que el magmatismo del Paleozoico superior - Mesozoico temprano ocurrió en varias fases entre los 325 y 200 Ma. A este respecto, en fecha reciente Hervé *et al.* (2013) al analizar, en base a edades U-Pb (SHRIMP) la edad de los complejos de rocas intrusivas del Paleozoico superior – Mesozoico inferior expuestos en la Cordillera Frontal señalan que éstos serían el resultado de cuatro eventos magmáticos discretos ocurridos en el Carbonífero Inferior (330-326 Ma), Carbonífero superior – Pérmico inferior (301-284 Ma), Pérmico tardío – Triásico medio (264-242 Ma) y Triásico tardío (225-215 Ma). Estos pulsos han sido detectados en Perú, donde las dataciones U-Pb (LA-ICPMS) efectuadas por Miskovic *et al.* (2009) también indican la existencia de cuatro pulsos: Missisipiano (350-325 Ma), Carbonífero superior – Pérmico inferior (315-285 Ma), Pérmico inferior – Triásico medio (284-223 Ma) y Triásico superior - Jurásico inferior (216-190 Ma). Las dataciones efectuadas en la Sierra Limón Verde indican que en ella estarían representados los dos eventos magmáticos más antiguos reportados más al sur por Hervé *et al.* (2013): Carbonífero Inferior (*ca.* 325-322 Ma) y límite Carbonífero – Pérmico (*ca.* 300-287 Ma); el segundo, el de mayor volumen e importancia constituido por los

intrusivos más jóvenes del CILV y por las rocas volcánicas de la Formación Agua Dulce (Figuras 1 y 2).

Inmediatamente al sur de la Sierra Limón Verde estudios efectuados por Mpodozis *et al.* (1993), Marinovic y García (1999), Basso y Mpodozis (2012) y Mpodozis *et al.* (en prep.) y numerosas dataciones U-Pb han permitido documentar la ocurrencia de extensos afloramientos de intrusivos y rocas volcánicas del Carbonífero superior – Pérmico inferior (ca. 300-285 Ma). En esa zona se registra además la ocurrencia de los pulsos de actividad magmática más jóvenes. Extensas coladas de lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones sedimentarias que afloran en las cercanías del Cerro Quimal (Estratos del Bordo) indicaron edades U-Pb de ca. 241 y ca. 239 Ma (Basso y Mposozis, 2012) mientras que, inmediatamente al sur de la Sierra Limón Verde se encuentran numerosos afloramientos de rocas volcánicas (lavas andesíticas y tobas riolíticas) asociadas a intrusivos subvolcánicos de la misma composición y en los cuales se han obtenido numerosas edades U-Pb comprendidas entre los ca. 210 y ca. 200 Ma (Estratos de Las Lomas 1992; Marinovic y García, 1999; Mpodozis *et al.*, en prep).

Estos antecedentes indican que en la Cordillera de Domeyko de la Región de Antofagasta están representados los mismos pulsos detectados por Hervé *et al.* (2013) para la Cordillera Frontal del Norte Chico y por Miskovic *et al.* (2009) para la Cordillera Occidental de Perú. Sin embargo el significado tectónico y el ambiente tectónico predominante durante el Paleozoico es aún poco conocido debido a la falta de estudios geoquímicos en detalle.

El *gap* magmático del Pérmico “medio” ha sido reconocido tanto en la Región de Antofagasta como en la Cordillera Frontal y ha sido atribuido, por varios autores, a la llamada Fase Tectónica San Rafael (Mpodozis y Kay, 1990, 1992; Tomlinson y Blanco, 2007; Kleiman y Japas, 2009; Hervé *et al.*, 2013), aunque Tomlinson y Blanco (2007) atribuyen este *gap* magmático, en la Región de Antofagasta, a una disminución del ángulo de subducción durante el Pérmico “medio”. Según Mpodozis y Kay (1990, 1992) marcaría el cese de la subducción y una transición desde magmas con características geoquímicas de arco hacia intrusivos con afinidades ‘anorogénicas’ ligadas a extensión y fusión cortical, los cuales también han sido documentados para el sur de Perú (Miskovic *et al.*, 2009).

La carencia de datos geoquímicos precisos que permitan caracterizar los eventos magmáticos hace prematuro validar completamente estas hipótesis para la Sierra Limón Verde, aunque la petrografía de los Estratos del Bordo, donde el volcanismo ocurrió conjuntamente con el desarrollo de cuencas lacustres (e.g. Basso y Mpodozis, 2012), en un ambiente probablemente extensional y la naturaleza bimodal del volcanismo Triásico superior – Jurásico inferior de los Estratos de Las Lomas es consistente con la hipótesis de que, tal como ha sido

sugerido para la Cordillera Frontal (e.g. Ramos y Kay, 1991; Zeffass *et al.*, 2004; Spaletti *et al.*, 2008) o el sur de Perú (e.g. Sempere *et al.*, 2002), condiciones extensionales y la ausencia de subducción habría prevalecido hasta el Jurásico inferior cuando se habría reanudado la subducción a lo largo del margen andino en el Norte de Chile (e.g. Mpodozis y Ramos, 2008).

Agradecimientos

Trabajo patrocinado por Antofagasta Minerals S. A.

Referencias

- Baeza, L. y Venegas, R. 1984. El basamento cristalino de la Sierra Limón Verde, IIª Región de Antofagasta: Consideraciones genéticas. *Revista Geológica de Chile*, v. 11, p. 25-34.
- Bahlburg, H. y Hervé, F. 1997. Geodynamic evolution and Tectonostratigraphic terranes of Northwestern Argentina and northern Chile. *Geological Society of America Bulletin* v. 109 (7), p. 869 – 884.
- Basso, M. y Mpodozis, C., 2012. Carta Cerro Quimal, Región de Antofagasta, Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie de Geología Básica, No. Xx, 1 mapa escala 1:100.000, Santiago (en edición).
- Breitkreuz, C., Bahlburg, H., Delakowitz B., y Pichowiak, S. 1989. Volcanic events in the Paleozoic Central Andes. *J S American Earth Sciences* v. 2, p. 171-189.
- Breitkreuz, C. y Zeil, W. 1994. The late Carboniferous to Triassic Volcanic Belt in northern Chile. In: Reutter, K – J., Scheuber, E. y Wigger, P. (eds) *Tectonics of the Southern Central Andes*, Springer, Berlin, p. 277 – 292.
- Brown, M. 1990. Comparative geochemical interpretation of Permian – Triassic plutonic complexes of the Coastal Range and Altiplano (25°30' to 26°30'S), northern Chile. In: Harmon, R. S. y Rapela, C. E. (eds) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America, Special Papers, v. 265, p. 157-177.
- Chew, D. M., Schaltegger, U., Kosler, J., Whitehouse, M. J., Gutjahr, M., Spikings, R. A. y Miskovic, A. 2007. U-Pb geochronologic evidence for the evolution of the Gondwanan margin of the northcentral Andes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 119, p. 697-711.
- Cordani, U., Kawashita, K., Baeza, L., Díaz, M. y Evangelista, D. 1988. Geocronología de la Sierra Limón Verde, Antofagasta: Santiago, Congreso Geológico Chileno No. 5, Actas, v. 2, p. E63-E64.
- Cornejo, P., Matthews, S., Marinovic, N., Pérez de Arce, C., Basso, M., Alfaro, J. y Navarro, M. 2006. Alteración Hidrotermal y mineralización recurrente de Cu y Cu-Mo durante el Pérmico y el Triásico en la Cordillera de Domeyko (Zona de Zaldivar - Salar de Los Morros): antecedentes geocronológicos U-Pb, 40Ar/39Ar y Re-Os. Congreso Geológico Chileno, N° XI, Actas, v. 2, p. 219 - 222, Antofagasta, Chile.
- Damm, K. W., Pichowiak, S. y Todt, W. 1986. Geochemie, petrologie und geochronologie der plutonite und des metamorphen grundgebirges in nordchile. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen (A)*, v. 66, p. 73-146.
- Davidson, J., Ramírez, C. F., Gardeweg, M., Hervé, M., Brook, M. y Pankhurst, R. 1985. Calderas del Paleozoico Superior –Triásico Superior y mineralización asociada en la Cordillera de Domeyko, Norte de Chile. *Comunicaciones, Universidad de Santiago*, v. 35, p. 53 – 57.

- Gregori, D. A., Greco, L. E. y Llambías, E. 2003. El intrusivo López Lecube: Evidencias de magmatismo alcalino Gondwánico en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* v. 58, p. 176 – 186.
- Gregori, D. y Benedini, L. 2013. The Cordon del Portillo Permian magmatism, Mendoza, Argentina, plutonic and Volcanic sequences at the western margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* v. 42, p. 61 - 73.
- Harrington, H. 1961. Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of northern Chile. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v. 45, p. 169-197.
- Hervé, F., Munizaga, F., Marinovic, N., Hervé, M., Kawashita, K., Brook, M. y Selling, N. 1985. Geocronología Rb-Sr y K-Ar del basamento cristalino de la Sierra Limón Verde, Antofagasta, Chile: Congreso Geológico Chileno no.4, Actas, v. 3, p. 4-235-4-253.
- Hervé F., Fanning, C. M., Calderón, M. y Mpodozis, C. 2013. Early Permian to Late Triassic batholiths of the Chilean Frontal Cordillera (28° - 31°S): SHRIMP U-Pb zircon ages and Lu-Hf and O isotope systematics. *Lithos* 184 – 187, p. 436 – 446.
- Kay, S. M., Ramos, V. A., Mpodozis, C. y Sruoga, P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: analogy to middle Proterozoic in North America? *Geology* v. 17, p. 324 – 328.
- Kleiman, L. E. y Japas, M. S. 2009. The Choiyoi Volcanic province at 34-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): implications for the Late Paleozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* v. 473, p. 282 – 299.
- Llambías, E. J. y Sato, A. M. 1990. El batolito de Colangüil (29-31°S): estructuras y marco tectónico, Cordillera Frontal de Argentina. *Revista Geológica de Chile* v. 17 (1), p. 89 – 108.
- Llambías, E. J. y Sato, A. M. 1995. El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* v. 50, p. 111 – 131.
- Lucassen, F., Franz, G., Thirlwall, M. F. y Mezger, K. 1999. Crustal Recycling of Metamorphic Basement: Late Palaeozoic Granitoids of Northern Chile (~22°S). Implications for the Composition of the Andean Crust. *Journal of Petrology*, v. 40, no. 10, p. 1527 -1551
- Marinovic, N. y García, M. 1999. Hoja Pampa Unión. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Mapas Geológicos no. 9, 1:100.000.
- Marinovic, N. y Lahsen, A., 1984. Hoja Calama. Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile no. 9, 1:100.000.
- Miskovic, A., Spikings, R. A., Chew, D. M., Kosler, J., Ulianov, A. y Schaltegger, U. 2009. Tectonomagmatic evolution of Western Amazonia: Gechemical characterization and zircon U-Pb geochronologic constraints from the Peruvian Eastern Cordilleran granitoids. *Geological Society of America Bulletin*. v. 121 (9/10), p. 1298 – 1324
- Miskovic, A. y Schaltegger, U. 2009. Crustal growth along a non-collisional cratonic margin: a Lu-Hf isotopic survey of the Eastern Cordilleran granitoids of Perú. *Earth and Planetary Science Letters* v. 279, p. 303–315.
- Morandé, J. 2014, El basamento pre-mesozoico de la Sierra Limón Verde: implicancias para la evolución tectónica del norte de Chile. Tesis de Magister, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 126 p. Santiago.
- Mpodozis, C., Marinovic, N., Smoje, I. y Cuitiño, L., 1993. Estudio Geológico – Estructural de la Cordillera de Domeyko entre Sierra Limón Verde y Sierra Mariposas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería. Registered report IR-93-04, 3 mapas escala 1:100.000, 282 pp. Santiago.
- Mpodozis, C. y Kay, S. M. 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28° - 31°S). *Revista Geológica de Chile* v. 17 (2), p. 153 – 180.
- Mpodozis, C. y Kay, S. M. 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin; evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S): *Geological Society of America Bulletin*, v. 104, p. 999-1014, doi: 10.1130/0016-7606(1992)104<0999: LPTTEO>2.3.CO;2.
- Mpodozis, C. y Ramos, V. A. 2008. Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: extensión, subducción oblicua, rifting, deriva y colisiones?. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* v. 63 (4), p. 479-495.
- Ramos, V. A. y Kay, S. M. 1991. Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En Harmon, R. S. y Rapela, C. W. (eds.) *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*, Geological Society of America, Special Paper v. 265, p. 79 - 91.
- Rocha-Campos, A. C., De Brito Neves, B. B., Babinski, M., Dos Santos, P. R., De Oliveira, S. M. B. y Romano, A. 2011. Moema laminites: a newly recognized Neoproterozoic (?) glaciogenic unit, São Francisco Basin, Brazil. In: Arnaud, E., Halverson, G. P. y Shields-Zhou, G. (eds), *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. The Geological Society, London, *Memoirs*, v. 36, p. 535-540.
- Rogers, G. 1985. A geochemical traverse across the North Chilean Andes: Ph.D. Thesis (Unpublished), Open University, Milton Keynes, United Kingdom, 333 pp.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornary, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Nererdeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S. y Jiménez, N. 2002. Late Permian – Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean – age tectonics. *Tectonophysics* v. 345 (1 – 4), p. 153 – 181.
- Spalletti, L. A., Fanning, C. M., Rapela, C. W. 2008. Dating the Triassic continental rift in the southern Andes: the Potrillo Formation, Cuyo Basin, Argentina. *Geologica Acta*, Vol. 6, N° 3, September 2008, p. 267 – 283.
- Tomlinson, A. y Blanco, N., 2007. Geología de la franja El Abra-Chuquicamata, II Región (21°45' – 22°30'). Informe registrado IR – 07##. Servicio Nacional de Geología y Minería. Corporación Nacional del Cobre.
- Zerfass, H., Chemale JR., F., Schultz, C. L. y Lavina, E. 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. *Sedimentary Geology* v. 166, p. 265 – 292.