



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
TESIS DE DOCTOR EN GEOLOGÍA

*Evolución magmática y tectonometamórfica del Complejo
Ígneo- metamórfico Aluminé, Provincia de Neuquén,
Argentina.*

Ivana Alejandra Urraza

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2014

RESUMEN

El sector de la Cordillera Neuquina estudiado en la presente tesis doctoral, representa un área clave para el entendimiento de la construcción del margen sudoccidental del Supercontinente Gondwana en el período comprendido entre el final del Ciclo Orogénico Famatiniano (Paleozoico Medio) y el comienzo del Ciclo Andino (Jurásico Superior).

En el sector de estudio afloran intrusivos ígneos pre-andinos y andinos emplazados en rocas metamórficas de edad paleozoica. El conjunto, caracterizado por complejas relaciones de campo y estructurales, ha sido definido como Complejo Ígneo-Metamórfico-Aluminé (CIMA).

La profundización en el conocimiento de los procesos geológicos acaecidos en la región, requiere de estudios multidisciplinarios de detalle que aporten datos precisos para la reconstrucción de su vasta historia geológica. Por ello, los datos relevados en campo de la gran variedad de unidades magmáticas y de sus encajantes metamórficos, fueron complementados con minuciosos estudios de laboratorio consistentes en descripciones petrográfico-microestructurales detalladas, evaluación de las relaciones de fases, análisis de geoquímica mineral y roca total y estudios geotermobarométricos y geocronológicos.

Las características petrológicas y estructurales y la geoquímica de elementos mayoritarios y traza sobre roca total, permitieron determinar que el basamento metamórfico de la región de estudio fue generado a partir de una secuencia sedimentaria constituida por psamíticas-pelíticas con intercalaciones de rocas máficas con afinidades oceánicas, transformada en esquistos, gneises, migmatitas y anfibolitas. La secuencia metasedimentaria descrita fue intruida por gabros, tonalitas y granodioritas tardío-paleozoicas correspondientes al magmatismo Gondwánico, luego por monzogranitos y granodioritas jurásicas correspondientes al Batolito Subcordillerano y más tarde por granodioritas, tonalitas y dioritas cretácicas pertenecientes al Batolito Patagónico.

La compleja historia geológica de la región de estudio habría iniciado con la sedimentación en un margen pasivo orientado en dirección NO-SE, luego de la finalización de la Orogenia Famatiniana. La secuencia de rocas pre-andinas estudiadas conformó el prisma de acreción relacionado a la subducción, con hundimiento de la placa oceánica por debajo del margen sudoccidental de Gondwana en dirección NE. Las primeras etapas de deformación del prisma de acreción, produjeron delaminación de la placa oceánica y emplazamiento tectónico de las escamas (precursoras de las anfibolitas con signatura MORB) en la secuencia metasedimentaria. La compresión SO-NE generó lineamientos regionales y estructuras mesoscópicas asociadas (foliaciones, lineaciones, ejes de pliegues, etc.) con rumbo general NO-SE, subparalelo al rumbo del plano de subducción. Estas estructuras ejercieron el control estructural para el emplazamiento de los intrusivos magmáticos pre-andinos. Esta etapa se caracterizó por un metamorfismo de temperaturas intermedias a elevadas y bajas presiones. El apilamiento progresivo del prisma de acreción contra el margen continental y consecuente engrosamiento, dio lugar a retrocorrimientos con rumbo similar pero con vergencia opuesta, y a un evento de metamorfismo de temperaturas y presiones intermedias. Abundantes depósitos volcanoclásticos generados durante el Permo-Triásico yacientes sobre el prisma de acreción, pudieron haber contribuido también al incremento de la presión en las rocas

subyacentes. El cese de la subducción, con persistencia del esfuerzo SO-SE, dió lugar a la generación de estructuras regionales discretas de rumbo general NE-SO que ejercieron el control para el emplazamiento de los granitoides jurásicos. Las edades Jurásico Medio a Tardío de estos granitoides, marcarían el amalgamamiento final del prisma de acreción al margen continental y la culminación del ciclo pre-Andino en la región.

El Ciclo Andino en el CIMA se inicia con posterioridad a los 165 Ma. Se caracteriza por la intrusión de cuerpos ígneos cretácicos en respuesta a la subducción de la placa oceánica, con rumbo N-S y dirección de hundimiento al E, por debajo del margen O del prisma previamente acrecionado. Esta nueva dirección de esfuerzos provenientes del O da lugar a la reactivación de estructuras pre-andinas y a la generación de nuevas estructuras N-S que sirven de control para el emplazamiento de los cuerpos ígneos modernos. La orogénesis andina ha exhumado parte del prisma de acreción paleozoico y los cuerpos ígneos mesozoicos, conformando el escenario de gran complejidad litológica y estructural observado en el presente.

La evolución tectonometamórfica y magmática observada en el CIMA, tiene grandes similitudes y es correlacionable con áreas aledañas, especialmente aquellas situadas y estudiadas en detalle por otros autores en territorio chileno. De modo que los resultados de la presente investigación tienen valor regional, y pueden significar un aporte importante para el entendimiento de la evolución geotectónica del margen sudoccidental de Gondwana en el período geológico que va desde la finalización de Ciclo Orogénico Famatiniano hasta el comienzo del Ciclo Andino.

ABSTRACT

The sector of the Neuquén Cordillera studied in the present Ph.D. thesis, represents a key area for the understanding of the construction of the southwestern margin of Gondwana Supercontinent, in the elapsed period between the end of the Famatinian Orogenic Cycle (Middle Paleozoic) and the beginning of the Andean Cycle (Late Jurassic).

The area is characterized by the presence of pre-Andean and Andean igneous bodies intruded in metamorphic rocks of Paleozoic age. The set, defined by complex field and structural relations, has been named Aluminé Igneous-Metamorphic Complex (AIMC).

The deepening in the knowledge of the geological processes that occurred in the region, requires of detailed multidisciplinary studies that provide precise data for the reconstruction of its vast geological history. For this reason, the data of the great variety of magmatic units and their metamorphic country-rocks obtained in the field, were complemented with detailed laboratory studies consisting of petrographic-microstructural descriptions, evaluation of phase relations, analysis of mineral and whole rock geochemistry and geothermobarometric and geochronologic studies.

The petrological and structural characteristics and the whole-rock major and trace elements geochemistry, allowed to determine that the metamorphic basement of the study region was generated from a sedimentary sequence constituted by psammites-pelites with interbedded mafic rocks with oceanic affinities, transformed into schists, gneisses, migmatites, and amphibolites. The described metasedimentary sequence was intruded by Late Paleozoic gabbros, tonalites and granodiorites corresponding to the Gondwanic magmatism, then by Jurassic monzogranites and granodiorites corresponding to the Subcordilleran Batholith and later by Cretaceous tonalites and diorites belonging to the Patagonian Batholith.

The complex geological history of the study area would have started with sedimentation in a passive margin oriented NW-SE, after the ending of the Famatinian Orogeny. The sequence of pre-Andean studied rocks formed the accretionary prism related to NE subduction of the oceanic plate, below the southwestern Gondwana margin. The early stages of deformation of the accretionary prism promoted delamination of the subducting oceanic plate and the tectonic emplacement of mafic slices (precursors of amphibolites with MORB signatures) into the metasedimentary sequence. SW-NE compression generated regional linements and associated mesoscopic structures (foliations, lineations, fold axis, etc.) with a general NW-SE trend, subparallel to the strike of the subducting plane. These structures acted as a structural control for the emplacement of the pre-Andean magmatic intrusives. This stage is characterized by an intermediate to high temperature-low pressure metamorphism. The progressive stacking of the accretionary prism against the continental margin and the consequent thickening, resulted in backthrusting preserving a similar strike, but with opposite vergence, and in the overprinting of a metamorphic event characterized by intermediate temperatures and pressures. Abundant volcanoclastic deposits generated during the Permo-Triassic were deposited on the accretionary prism, and may have also contributed to the increase of pressure in the underlying rocks. The cessation of subduction, with

persistence of the SW-NE stress, resulted in the generation of discrete regional structures with a general NE-SW trend, which exerted control for the location of the Jurassic granitoids. The Middle to Late Jurassic age of these granitoids, would mark the final docking of the accretionary prism the continental margin, and the culmination of the pre-Andean cycle in the region.

The Andean Cycle in the AIMC starts after the 165 Ma. It is characterized by the intrusion of Cretaceous igneous bodies in response to the N-S trending and E directed subduction of the oceanic plate under the W margin of the previously accreted prism. This new W-directed stress gives rise to the reactivation of pre-Andean structures and the generation of new N-S trending structures that serve as a control for the location of modern igneous bodies. The Andean Orogeny has exhumed part of the Paleozoic accretionary prism and Mesozoic igneous bodies, forming the very complex lithological and structural scenery observed in the present.

The magmatic and tectonometamorphic evolution observed in the AIMC has great similarities and can be correlated with surrounding areas, especially those located and studied in detail by other authors in Chilean territory. So, the results of this research have regional value, and can mean an important contribution to the understanding of the geotectonic evolution of southwestern Gondwana margin, in the geological period between the ending of the Famatinian Orogenic Cycle and the starting of the Andean Cycle.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Rahman, A. M., 1994. Nature of biotite from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology* 35: 525-541.
- Aguirre Le-Bert, I., Hervé, F., Godoy, E., 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile- an outline. *Krystalinikum* 9: 9-19.
- Anderson, J.L., Smith, D.R., 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist* 80: 549-559
- Basei, M.A.S., Varela, R. Sato, A.M., Siga Jr., O., Llambías, J. E., 2002. Geocronología sobre rocas del Complejo Yaminué, Macizo Norpatagónico, Río Negro, Argentina, XV Congreso Geológico Argentino, CD-ROM, Article 152: 6 p.
- Barker, F., 1979. Trondhjemite: Definition, environment and hypotheses of origin. In Barker, F.(ed). *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Elsevier. Amsterdam. 1-12.
- Barth, T. F. W., 1934. Polymorphic phenomena and crystal structure. *American Journal of Sciences* 5: 273.
- Bea, F., Pereira, M. D., Corretgé, L. G., Fershtater, G. B., 1994. Differentiation of strongly peraluminous, perphosphorous granites. The Pedrobernardo pluton, central Spain. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 2609-2628.
- Berman, R. G. 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: A new technique, with petrological applications. *Canadian Mineralogist* 29: 833-855.
- Berman, R. G., 2007. WINTWQ (version2.3): a software package for performing internally- consistent thermobarometric calculations. Geological Survey of Canada. Open file 5462 (ed. 2.32) 41p.
- Bhattacharya, A., Mohanty, L., Maji, A., Sen, S. K., Raith, M., 1992. Non-ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg-Fe partitioning and a reformulation of biotite-garnet geothermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 111:87-93.
- Boynton, N. V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: *Rare Earth Element Geochemistry* (edited by P. Henderson), *Development in Geochemistry II*: 63-114. Elsevier.
- Brown, W. L. And Parsons, I., 1981. Towards a more practical two-feldspar geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 76: 369-77.
- Brown, W., L., Parsons, I., 1985. Calorimetric and phase-diagram approaches to two-feldspar geothermometry: a critique. *American Mineralogist* 70: 356-361.

- Bucher, K and Frey, M., 1994. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag, 318 p. Berlin.
- Castro A., Moreno Ventas I., Fernández C., Vujovich G., Gallstegui, G., Heredia, N., Martino, R. D., Becchio, R., Corretgé, L. G., Diaz Alvarado J., Such, P., García Arias M., Liu, D. Y., 2011. Petrology and SHRIMP U-Pb zircón geochronology of Cordilleran granitoids of the Bariloche area, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4): 508-530.
- Cathelineau, M., 1988. Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Minerals* 23, 471-485.
- Cembrano, J., Hervé F., 1993. The Liquiñe Ofqui Fault Zone: a major Cenozoic strike slip duplex in the Southern Andes. *Second ISAG*, Oxford, UK. 21-23.
- Cembrano J., Schermer E., Lavenú, A., Sanhueza, A., 2000. Contrasting nature of deformation along an intra-arc shear zone, the Liquiñe–Ofqui fault zone, southern Chilean Andes. *Tectonophysics* 39 (2): 129-149.
- Chappell, B.W., White, J.R., 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 83: 1-26.
- Chotin, P. and Giret, A., 1978. Analysis of Northern Patagonian transverse structure (Chile, Argentina 38° to 42° S. L.) from Landsat documents. *VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. Actas, II*: 197-202.
- Clarke, D. B. 1995. Cordierite in felsic igneous rocks; a synthesis. *Mineralogical Magazine* 59: 311-325.
- Cingolani, C., Dalla Salda, L., Hervé, F., Munizaga, F., Pankhurst, R. J., Parada, M. A., Rapela, C.W., 1991. The magmatic evolution of northern Patagonia; New impressions of pre- andean tectonics. *Geological Society of America, Special Paper* 265: 29-43.
- Cingolani, C. A., Zanettini, J. C.M., Leanza, H. A., 2011. El Basamento ígneo-metamórfico, en *Relatorio de la Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Neuquén, 2010*. (Leanza Ed.)
- Connolly, J. A. D., 1990. Calculation of multivariable phase diagrams: an algorithm based on generalized thermodynamics. *American Journal of Science* 290: 666-718.
- Connolly, J., A., D. 2009. The geodynamic equation of state: what and how. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 10 (10): 1-19.
- Cosca, M. A., Essene, E. J. y Bowman, J.R., 1991. Complete chemical analyses of metamorphic hornblendes: implications for normalization, calculated H₂O activities, and thermobarometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 108:472-484.

- Cox, K. G., Bell, J. D., Pankhurst, R. J., 1979. The interpretation of igneous rocks. George, Allen and Unwin, London.
- Cucchi, R. y Leanza, H. A., 2006. Hoja Geológica 3972-IV, Junín de los Andes, Provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 357, 102 p. Buenos Aires.
- Currie, K. L., 1971. The reaction $3 \text{ cordierite} = 2 \text{ Garnet} + 4 \text{ Sillimanite} + 5 \text{ quartz}$ as a geological thermometer in the Opinicon Lake Region, Ontario. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 33: 215-226.
- Dale, J., Powell R., White RW., Elmer F. L., Holland T., J., B. 2005. A thermodynamic model for Ca-Na clin amphiboles in $\text{Na}_2\text{O-CaO-FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O-O}$ for petrological calculations. *Journal of Metamorphic Geology* 23:771-91.
- Dalla Salda, L., H., Cingolani, C., Varela, R., 1991. El basamento pre-andino ígneo metamórfico de San Martín de los Andes, Neuquén. *Revista Geológica Argentina* 46: 223-234.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1966. An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific and Technical. Second Edition.
- Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. An introduction to the rock forming minerals. Prentice Hall N.Y
- Digregorio, J.H., Uliana. M. A., 1980. Cuenca Neuquina. En: Turner, J.C.M (Ed): Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 439-506. Córdoba.
- Elkins, L. T., Grove, T. L., 1990. Ternary feldspar experiments and thermodynamic models. *American Mineralogist*, 75: 544-559.
- Ellis, D.J., 1980. Osumilite-sapphirine-quartz granulites from Enderby Land, Antartica: P-T conditions of metamorphism, implications for garnet-cordierite equilibria and the evolution of the deep crust. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 74 (2): 201-210.
- Ferry, J. M., Spear, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66: 113-117.
- Folguera, A., Ramos, V. A., Melnick, D., 2002. Partición de la deformación en la zona del arco volcánico de los Andes neuquinos (36-39°S) en los últimos 30 millones de años. *Revista Geológica de Chile* 29 (2): 227-240.

- Folguera, A., Rojas Vera, E., Spagnuolo, M., Orts, D., Sagripanti, L., Ramos, M. E., Bottesi, G., Ramos, V.A., 2011. Los Andes Neuquinos, en Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino de la Provincia de Neuquén, 2010. (Leanza Ed.): 349-354.
- Foster, M. D., 1960. Interpretation of the composition of trioctahedral micas. US Geological Survey 354-B: 1-49.
- Franzese, J. R., 1993. Petrología y tectónica del basamento del Cordón de la Piedra Santa, Provincia de Neuquén. Tesis doctoral en Ciencias Naturales (orientación geológica). Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de la Plata. 262 páginas.
- Franzese, J. R., 1995. El Complejo Piedra Santa (Neuquén, Argentina): parte de un cinturón metamórfico neopaleozoico del Gondwana suroccidental. Revista Geológica de Chile 22, 2: 193-202.
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J and Frost, C. D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 42: 2033-2048.
- Fuhrman, M.L., Lindsley, D.H., 1988. Ternary feldspar modelling and thermometry. American Mineralogist, 73: 201-215.
- Galli, C. A., 1969. Descripción geológica Hoja 35a, Lago Aluminé. Dirección Nacional de Geología y Minería. Boletín 108.
- Ganguly, J., Saxena, S. K., 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnets: constraints from natural and experimental data, and application to geothermo-barometry. American Mineralogist 69:88-97.
- García Casco, A., 1995. Cálculo de P y T: Geotermobarometría. <http://www.ugr.es/~agcasco/personal/geotermobarometria/geotermobarometria.pdf>
- García Morabito E., Ramos, V. A., 2011. La Precordillera Neuquina Sur en el contexto de los Andes Nordpatagónicos. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén: 355-365. Argentina.
- Gargiulo, M. Florencia; Bjerg, Ernesto A. and Mogessie, Aberra. 2012. "Spinel group minerals in metamorphosed ultramafic rocks from Río de Las Tunas Belt, Central Andes, Argentina". Geológica Acta 11: 133-148.
- Ghiorso, M. S., 1984. Activity/composition relations in the ternary feldspars. Ibid.87: 282-96.
- Giacosa, R.; Márquez, M. 1999. Jurásico y Cretácico de la Cordillera Patagónica septentrional y precordillera Patagónica. In Geología Argentina (Caminos, R.; editor). Subsecretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29: 444-459. Buenos Aires.

- Glodny, J., Echtler, H., Collao, S., Ardiles, M., Burón, P., Figueroa, O., 2008. Differential Late Paleozoic active margin evolution in South-Central Chile (37°S-40°S)- the Lanahue Fault Zone. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 397-411.
- González Díaz, E.F. 1982. Zonación cronológica del plutonismo en los Andes Patagónicos Septentrionales entre los 40° y 42° sur: la migración de los ciclos intrusivos. *Acta Geológica Lilloana* 16(1): 5-22.
- Gordon, A. y Ort, M.H., 1993. Edad y correlación del plutonismo subcordillerano en las provincias de Río Negro y Chubut (41°-42°30' L. S). 12° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 120-127. Mendoza, Argentina.
- Grecco, L. E., Gregori, A., Delpino, H., 1998. Magmatic and tectonic evolution of northern sector of Aluminé Batholithic Belt, Neuquén Province, Argentina. *Terra Nostra, Geowissenschaftliches Lateinamerika Kolloquium*: 56, Bayreuth, Germany.
- Green, N.L., Udansky, S. L., 1986. Ternary-feldspar mixing relations and feldspar thermobarometry. *American Mineralogist*, 71: 1100-1108.
- Gregori, D. A., Rossi, A.C., Benedini, L., 2011. Geocronología de la Faja Batolítica Aluminé, Provincia de Neuquén, Argentina. Resumen del XVIII Congreso Geológico Argentino, 93-94. Asociación Geológica Argentina.
- Groeber, P., 1929. Líneas fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicación 58, 109 p. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70°. 1. Hoja Chos Malal. *Revista de la Sociedad Geológica Argentina*, 1 (2): 177-208. Buenos Aires.
- Hackler, R. T., Wood, B. J., 1989. Experimental determination of Fe and Mg exchange between garnet and olivine and estimation of Fe-Mg garnet mixing properties. *American Mineralogist* 74: 994-999.
- Haller, M. J., Linares, M., Ostera, H. A. y Page, S. M., 1999. Petrology and Geochronology of the Subcordilleran Plutonic Belt of Patagonia, Argentina. II South American Symposium on Isotope Geology, Carlos Paz, Argentina, actas, SEGEMAR, Buenos Aires, 210-214.
- Hammarstrom, J. M. and Zen, E., 1986. Aluminium in hornblende; an empirical igneous geobarometer *American Mineralogist* 71: 1297-1313.

- Henry, D. J., Guidotti, C.V., Thomson, J. A., 2005. The Ti- saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermobarometry and Ti- Substitution mechanism. *American Mineralogist* 90:316-328.
- Herron, M. M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58: 820–829.
- Hervé, F., 1974. Petrology of the crystalline basement of Nahuelbuta Mountains, South-Central Chile. Ph.D. Thesis (Unpublished), University of Hokkaido, 86 p.
- Hervé, F., 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in Southern Chile. *Episodes* 11:183-188.
- Hirth, G. and Tullis, J., 1992. Dislocation creep regimes in quartz aggregates. *Journal of Structural Geology* 14:145-159.
- Holcombe, R., 2004. GeOrient 9.2, Stereographic Projections and Rose Diagram Plots. Department of Earth Sciences, The University of Queensland, Australia.
- Holdaway, M. J., Dutrow, B. L., Hinton, R. W. 1988. Devonian and Carboniferous metamorphism in west-central Maine: the muscovite–almandine geobarometer and the staurolite problem revised. *American Mineralogist* 73: 20–47.
- Holdaway, M. J., 2001. Recalibration of the GASP geobarometer in light of recent garnet and plagioclase activity models and versions of the garnet-biotite geothermometer. *American Mineralogist*, 86: 1117-1129.
- Holland, T., Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 116:433-447.
- Holland, T., Powell, R., 1990. An enlarged and updated internally consistent dataset with uncertainties and correlations. *Journal of Metamorphic Geology* 8: 697-717.
- Holland, T., Powell, R., 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* 16: 309-343.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. y Sison, V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist* 72: 231-239.
- Johannes, W., Holtz, F., 1990. Formation and composition of H₂O undersaturated granitic melt. En Ashworth, J. R., Brown, M. 1990. High-temperature Metamorphism Crustal Anatexis. London. Unwin Hyman.

- Johnson M.C., Rutherford M. J., 1989. Experimental calibration of the aluminium- in- hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California). *Geology*, 17: 837-841.
- Kalt, A., Altherr, R., Ludwig, T. 1998. Contact metamorphism in pelitic rocks on the island of Kos (Greece, Eastern Aegean Sea): a test for the Na-in-cordierite thermometer. *Journal of Petrology*, 39(4): 663-688.
- Kato, L; Godoy, E. 1995. Petrogenesis and tectonic significance of Late Paleozoic coarse-crystalline blueschist and amphibolite boulders in the Coastal Range of Chile. *International Geology Review* 37: 992-1006.
- Keidel J., 1925. Sobre la estructura tectónica de las capas petrolíferas en el oriente del territorio del Neuquén. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, sección Geología, Publicación 8: 1-67.
- Koxiol, A. M, Newton, R. C, 1989. Redetermination of the anorthite breakdown reaction and improvement of the plagioclase- garnet- Al_2O_5 - quartz geobarometer. *American Mineralogist* 73: 216-223.
- Knop, E., Scheilk, M., Mirwald, P. W., 1998. Incorporation of sodium into magnesium cordierite below and above the solidus. *Abstract Supplement 1, Terra Nova* 10, 30–31.
- Knop, E., Mirwald, P.W. 2000. Cordierite as a monitor of fluid and melt sodium activity in metapelites, migmatites and granites. *J. Conf. Abstr.*, 5, 58.
- Kretz, R., Jen, L.S., 1978. Effect of temperature on the distribution of Mg and Fe^{2+} between calcic pyroxene and hornblende. *Canadian Mineralogist*, 16: 533-537.
- Kruhl, J. H., 1996. Prism- and basal- and parallel subgrain boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *Journal of Metamorphic Geology* 14: 581-589.
- Lagorio, S., Massafarro, G., Vattuone, M.E, Montenegro, T. F., Latorre, C. O., 1998. Edad y geoquímica de las ignimbritas de Aluminé, provincia del Neuquén, Argentina. 10º Congreso Latinoamericano de Geología y 6º Congreso Nacional de Geología Económica. *Actas* 2:321-325. Buenos Aires.
- Latorre, C. O., Vattuone, M. E., Linares, E., Leal, P., 2001. K-Ar ages of rocks from Lago Aluminé, Roca Choroí and Quillen, North Patagonian Andes, Neuquén, República Argentina. III SSGI, Pucón, Chile: 577-580.
- Leake, B.E., Wooley, A.R, Arps, C.E.S, Birch, W.D.S. Birch, W.D, Gilbert, M. C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H, Tock, N.M.S, Schumacher, J.C, Smith, D.C, Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E., Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the

- subcommittee on amphiboles of International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *European Journal of Mineralogy* 9, 623-651.
- Leanza, H.A. 1985. Descripción Geología de la Hoja 36b, Cerro Chachil, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional 144 págs. (inédito). Buenos Aires.
- Leanza, H. A.1992. Estratigrafía del Paleozoico y Mesozoico anterior a los movimientos intermálmicos en la comarca del cerro Chachil, provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 45(3-4):272-299.
- Linares, E., González, R. R. 1990. Catálogo de edades radimétricas de la República Argentina. Asociación Geológica Argentina. Publicación Especial n° 19:1-628. Buenos Aires.
- Lucassen, F., Trumbull, R., Franz, G., Crexell, C., Vásquez, P., Figueroa, O., 2004. Distinguishing crustal recycling and juvenile additions at active continental margins: the Paleozoic to recent compositional evolution of the Chilean Pacific margin (36°-41°). *Journal of South American Earth Sciences* 17: 103-119.
- Martín, M., Kato, T., Rodríguez, C.; Godoy, E., Duhart, P., McDonough, M., Campos, A. 1999. Evolution of late Paleozoic accretionary complex and overlying forearc-magmatic arc, south-central Chile (38°-41°S): Constraints for the tectonic setting along the southwestern margin of Gondwana. *Tectonics* 18 (4): 582-605.
- Martinez Dopico, C., Leal P., Vattuone, M. E. 2008a. Geotermobarometría y protolitos de las metamorfitas del Complejo Colohuincul, Lago Ñorquinco (39° 8' S, 71° 18' O). VIII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, San Salvador de Jujuy.
- Martinez Dopico, C., 2008b. Metamorphic P-T constraints for the low-temperature assemblages overimposed on metamorphic and igneous rocks nearby Ñorquinco Lake, Aluminé, North-Patagonian Andes. 7th International Symposium on Andean Geodynamics (ISAG 2008, Nice), Extended Abstracts: 319-321.
- McKenna, L. W., Hodged, K. V. 1988. Accuracy versus precision in locating reaction boundaries: Implications for garnet- plagioclase- aluminum silicate-quartz barometer. *American Mineralogist* 73: 1205-1208.
- Merrihue, C., 1965. Trace-element determinations and potassium-argon dating by mass spectroscopy of neutron- irradiated samples. *Trans Am Geophys Union* 46: 125 (abstract).
- Merrihue, C., Turner, G., 1966. Potassium- Argon Dating by Activation with Fast Neutrons. *Journal of Geophysical Research* 71 (11): 2852- 2857.

- Mitchell, J.G., 1968. The argon⁴⁰/argon³⁹ method of potassium-argon age determination. *Geochemical and Cosmochemical Acta* 32: 781-790
- Middlemost, E. A. K. 1994. Naming materials in the magma/igneous system. *Earth-Science Reviews* 37: 215–224.
- Miller, C. F., Stoddard, E. F., Bradfish, L. J y Dollase, W. A. 1981. Composition of Plutonic Muscovite: Genetic Implications. *Canadian Mineralogist* 19: 25-34.
- Mirwald, P. W., 1986. Ist Cordierite ein Geothermometer? *Fortschritte der Mineralogie* 64:119.
- Mirwald, P.W., Scola, M., Tropper, P., 2008. Experimental study on the incorporation of Na in Mg cordierite in the presence of different fluids (Na (OH), NaCl-H₂O, albite-H₂O). *Geophysical Research Abstracts* 10 SRef-ID: 1607e7962/gra/ EGU2008-A-04149.
- Mosquera, A. y Ramos, V.A. 2006. Intraplate deformation in the Neuquén Embayment. En Kay, S.M. y 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.
- Mosquera, A., Silvestro, J., Ramos V. A., Alarcón M., Zubiri, M., 2011. La Estructura de la Dorsal de Huincul. *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino*. Neuquén: 385-397. Argentina.
- Newton, R., C., Aranovich I. Y, Hansen E. C., Vanenheuvél B. A. 1998. Hypersaline fluids in Precambrian deep-crustal metamorphism. *Precambrian Research* 91: 41-63.
- Nekvasil H., Burnham C. W., 1987. The calculated individual effects of pressure and H₂O content of phase equilibria in the granitic system. Mysen (ed.) *Magmatic process: Physicochemical Principles*, Geochemical Society, Special Publication 1: 433-446.
- Nockolds, S. R. 1947. The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks. *American Journal of Sciences* 245, 7:401-420.
- O'Connor, J. T. 1965. A classification for quartz rich igneous rocks based on feldspar ratios. In: *US Geological Survey Professional Paper B525*. USGS, 79-84.
- Pankhurst, R. J., Rapela C.W., Fanning C.M., Márquez M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76: 235-257.
- Parica, C. A., 1986. Resultados geocronológicos preliminares de las Formaciones Colohuincul y Huechulafquen, Provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41 (1-2): 201-205.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Springer-Verlag, 366 p., Berlin.

- Pearce, J. A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Hawkesworth, C. J., and Norry, M. J. Eds., *Continental basalts and mantle xenoliths*, 230-249. Shiva, Orpington (London), and Birkhauser Boston, Cambridge, Massachusett.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrologist* 25 (4): 956-983.
- Perchuk, L. L., Lavren't I. V., 1983. Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. In: Saxena SK (ed) *Knetics ad equilibrium in mineral reactions*. Springer, New Yourk: 199-239.
- Pereira, M.D. and Bea, F., 1994. Cordierite-producing Reactions at the Peña Negra Complex, Avila Batholith, Central Spain: the Key Role of Cordierite in Low Pressure Anatexis. *Canadian Mineralogist*, 32 (4): 763-780.
- Pereira Gómez, D. 1992. El Complejo Anatéctico de la Peña Negra (Batolito de Avila): un estudio de la anatexia cortical en condiciones de baja presión. Tesis doctoral, Universidad de Salamanca, España.
- Poldevaart, A. 1947. The relationship of orthopyroxene to pigeonite. *Mineral magazine* 28:164-172
- Powell, M., and Powell, R.1977. Plagioclase-alkali feldspar geothermometry revisited. *Mineralogical Magazine*, 41: 253-256.
- Putirka, K. D., 2008. Thermometers and Barometrs for Volcanic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 69: 61-120.
- Ramos, V. A., 1978. Estructura. *Relatorio Geología y Recursos Naturales del Neuquén*: 99-118.
- Ramos, V., Jordan, T., Allmendinger, R., Kay, S., Cortés, J. y Palma, M. 1984. Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 84-106, San Carlos de Bariloche.
- Ramos, V.A., 1986. Tectonostratigraphy, as applied to analysis of South African Phanerozoic Basins by H. de la R. Winter, discussion. *Transactions Geological Society South Africa*, 87(2), 169-179.
- Ramos, V.A., García Morabito, E., Hervé, F., Fanning, C. M. 2010. Grenville-age sources in Cuesta de Rahue, northern Patagonia: Constrains from U-Pb/SHRIMP ages from detrital zircons. *International Geological Congress on the Southern Hemisphere (GEOSUR)*. *Bolletino de Geofísica* 51(Suplement):42-44. Mar del Plata.
- Ramos, V.A., Folguera, A., García Morabito, E., 2011a. Las provincias geológicas del Neuquén. *Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino*. Neuquén: 317-326. Argentina.

- Ramos, V.A., Mosquera, A., Folguera, A., García Morabito, E., 2011b. Evolución tectónica de los Andes y del Engolfamiento Neuquino adyacente. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén: 335-348. Argentina.
- Rapela, C.W., 1987. El batolito patagónico entre 40° 30' y 41° 15 S. Estudio geoquímico preliminar. Actas del X Congreso Geológico Argentino, T IV: 21-23.
- Rapela, C. W., Munizaga, F., Dalla Salda, L., Hervé, F., Parada, M.A. y Cingolani, C., 1987. Nuevas edades K-Ar de los granitoides del sector nororiental de los Andes patagónicos, Actas del X Congreso Geológico Argentino, T IV: 18-20.
- Rapela, C. W. and Kay, S. M., 1988. The late Paleozoic to recent magmatic evolution of northern Patagonia. Episodes 11: 175-182.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., 1992. The granites of northern Patagonia and northern The Gastre Fault System in relation to the breakup of Gondwana. Storey B., Alabaster, and Pankhurst. R. J., (eds): Magmatism and the causes of continental breakup. Geological Society London, Special Publication 68: 209-220.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Fanning, C. M., Hervé, F. 2005. Pacific subduction coeval with the Karoo mantle plume: The early Jurassic Subcordilleran Belt of northwestern Patagonia. Journal of Geological Society of London. Special Publication 246: 217-239.
- Richard, L. R., 1995. MinPet: Mineralogical and petrological data processing system, version 2.02. MinPet Geological Software, Québec, Canada.
- Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation. Longman. 352p.
- Rutter, M., J., Wyllie, P. J., 1989. Experimental data for a proposed empirical igneous geobarometer: aluminium in hornblende barometer at 10 kbar pressure. Geology 17: 897-900.
- Sawyer, E. W., 2008. Working with migmatites: Nomenclature fro the constituent parts. En: Working with migmatites. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series 38: 158 p.
- Shand, S.J., 1927. Eruptive rocks. John Wiley and Sons. New York.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M. 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow nd Son, 239 p.
- Schmidt, M. W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. Contributions to Mineralogy and Petrology 110: 304-310.

- Sigurgeirsson, T., 1962. Dating recent basalt by the potassium-argon method. Rep. Phys. Lab. Univ. Iceland 9.
- Silvestro J., Zubiri, M., 2008. Convergencia Oblicua: Modelo estructural alternativo para la Dorsal Neuquina (39°S)- Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63(1):49-64.
- Simonetti, A., Heaman, L. M., Hartlaub, R. P., Creaser, R. A., MacHattie, T. G., Böhm, C., 2005. U-Pb zircon dating by laser ablation-MC-ICP-MS using a new multiple ion counting Faraday collector array. J. Anal. Atom. Spectrom. 20, 677-686.
- Simonetti, A., Heaman, L.M., Chacko, T., Banerjee, N.R., 2006. In situ petrographic thin section U-Pb dating of zircon, monazite, and titanite using laser ablation -MC-ICP-MS. International Journal of Mass Spectrometry 253 (1-2): 87-97.
- Spear, F.S., Selverstone, J., Hickmott, D., Crowley, P. and Hodges, K.V., 1984. P-T paths from garnet zoning: A new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes. Geology, 12, 87-90.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulies, O.L., Martinez, C.G., 1968. Las formaciones presnomianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista Geológica Argentina, 23(2): 267-388.
- Storner, J. C., Jr. 1975. A practical two-feldspar geothermometer. American Mineralogist 60: 667-674.
- Storner, J. C., Whitney, J., A. 1977. Two feldspar and iron-titanium oxide equilibria in silicic magmas and the depth of origin of large volume ash-flow tuffs. American Mineralogist, 70: 52-64.
- Stipp, M., Stünitz H., Heilbronner, R., Schmid, S. M., 2002. The eastern Tonale fault zone: a "natural laboratory" for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700°C. Journal of Structural Geology 24: 1861-1884.
- Thoenen, T., 1989. A comparative study of garnet-biotite geothermometers. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Basel, 118 p.
- Thomas, W.M., Ernst, W.G. 1990. The aluminum content of hornblende in calc-alkaline granitic rocks: A mineralogic barometer calibrated experimentally to 12 Kbar, In Fluid-mineral interactions: A tribute to H.P. Eugster (Spencer, R.J.; Chou, I-M; editors). Geochemical Society Special Publication 2: 59-63.
- Thompson, R. N., Morrison, M. A., Hendry, J. L., Parry, S. J., 1984. An assessment of the relative roles of the crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. Philosophical transaction of the Royal Society, London, series A 310: 549-590.

- Tullis, J., Yund, R. A., 1985. Dynamic recrystallization of feldspar: a mechanism for ductile shear zone formation. *Geology* 13: 238-241.
- Tunstall, C., Folguera A. 2005. Control estructural en el desarrollo de una concentración anómala de calderas en los Andes de Neuquén: Complejo Volcánico Pino Hachado (38°30' S y 71°O). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 60(4): 731-741.
- Turner, J.C.M., 1965a. Estratigrafía de la comarca de Junín de los Andes, Provincia del Neuquén. *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 44 (1-4): 5-51. Córdoba.
- Turner, J.C.M., 1965b. Estratigrafía de Aluminé y adyacencias, provincial del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20(2):153-184. Buenos Aires.
- Turner, J.C.M., 1976. Descripción Geológica de la Hoja 36a, Aluminé, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Nacional, *Boletín* 145, 79 p. Buenos Aires.
- Turner, J.C.M. y Cazau, L.B., 1978. Estratigrafía del pre-jurásico. En: *Geología y recursos naturales del Neuquén. Relatorio del 7º Congreso Geológico Argentino*; 25-36.
- Urraza, I., Grecco, L., Delpino, S. y Zentilli, M., 2008a. Magmatic and tectonic evolution of the Alumine belt, Patagonian Batholith, Neuquen, Argentina. Québec 2008 GAC-MAC-SEG-SGA Annual Meeting, May 26-28 2008, Abstracts: 174. Session: GS4 - Igneous Petrology, Volcanology and Metamorphic Petrology, Canadá.
- Urraza, I. A., Grecco, L. E., Delpino, S. H. y Arrese, M. L., 2008b. Determination of rock ages by chemical análisis of Th, U, Pb in the mineral monazite (Ce, La, Th REE, U) PO₄ using EPMA. Abstract number 36. Institute for Research in Materials. Annual General Meeting and Research Day. Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Urraza, I. A., Delpino, S.H. Grecco, L. E, y Arrese, M. L. 2009. "Petrografía, Geotermobarometría y Geocronología del basamento del Sector Norte del Batolito Patagónico". XIV Reunión de Tectónica, Río Cuarto.
- Urraza, I. A, Grecco L. E., Delpino, S.H Arrese, M. L. y Rapela, C.W. 2011 "Petrología y Estructura del Complejo Ígneo- Metamórfico Aluminé, Provincia del Neuquén, Argentina". *Revista Andean Geology*. Volume 38 (1): 98-117.
- Urraza, I. A., Delpino, S.H., Grecco, L. E, Evolución Post-emplazamiento del Gabro Troctolítico del Norte del Lago Ñorquinco, Complejo Ígneo-Metamórfico Aluminé, Neuquén, Argentina. XV Reunión de Tectónica. Acta en Congreso.

- Urzaa, I. A., Grecco, L., Delpino, S., 2013. Sulfuros de Cu, Fe y Ni asociados a los metagabros troctolíticos del lago Ñorquinco, Complejo Igneo-Metamórfico Aluminé, Neuquén, Argentina. En: Avances en Mineralogía, Metalogenia y Petrología 2013 (Eds. Conte-Grand, A. Castro de Machuca, B. y Meissl, E.): 261-266. ISBN: 978-950-605-758-9.
- Varela, R., Teixeira, W., Cingolani, C., Dalla Salda, L., 1994. Edad Rubidio- Estroncio de Granitoides de Aluminé- Rahue, Cordillera Nordpatagónica, Neuquén, Argentina. 7º Congreso Geológico Chileno. Actas volumen II: 1254-1258.
- Varela, R., Basei, M.A.S., Cingolani, C.A., Siga, J.R.O., Passarelli, C.R., 2005. El basamento cristalino de las Andes norpatagónicas en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. Revista geológica de Chile 32 (2):167-187
- Vattuone, M.E., 1988. Metamorfismo de baja presión en la Cordillera Neuquina. 5º Congreso Geológico Chileno, Actas 2:E31-E45. Santiago.
- Vattuone, M.E., 1990. Paragénesis mineral del metamorfismo del área de Aluminé, Cordillera Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 45(1-2): 107-119. Buenos Aires.
- Vattuone, M.E., Latorre, C., Tourn, S., 1996. Alteración hidrotermal con manifestaciones de sulfuros relacionada a intrusiones magmáticas del batolito Nordpatagónico en el área de Aluminé, Neuquén. 3º Reunión de Mineralogía y Metalogenia, Instituto de Recursos Minerales, Universidad Nacional de La Plata. Publicación nº 5: 257-263. La Plata.
- Vaughan A.P.M., Pankhurst, R.J. 2008. Tectonic overview of the West Gondwana margin. Gondwana Research, 13, 150–162. doi:10.1016/j.gr.2007.07.004.
- White, A. 1989. Cordierite-muscovite relationships in granites. In, Miller, C. F., FROGS (Friends of Granite) Report Winter 1989, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 70, 110-1.
- Willner, A. P., Hervé, F., Massone, H. J., 2000. Mineral chemistry and pressure-temperature evolution of two contrasting high-pressure-low-temperature belts in the Chonos archipelago, Southern Chile. Journal of Petrology 41: 309-330.
- Willner, A. P., Glodny, J., Ferya, T. V., Godoy, E., Massone, H. J., 2004. A counterclockwise P-T-path of high pressure- low temperature rocks from the Coastal Cordellera accretionary complex of South Central Chile: constraints for the earliest stage of subduction mass flow. Lithos 75:283-310.
- Wilson, M., 1989. Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman, London.
- Wimmenauer, W. 1984. Das prävariskische Kristallin im Schwarzwald: Fortschrif Mineralogie 62:69-86

- Winter, J.D., 2001. An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology: Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 697 p.
- Wood B. J., Banno S., 1973. Garnet - orthopyroxene and orthopyroxene – clynopyroxene relationships in simple and complex systems. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 42: 109-124.
- Wyhlidal, S., Thöny, W.F., Tropper, P., 2007. New experimental constraints on the Na-in-cordierite thermometer and its application to high-grade rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71 (15), A1129. Suppl. 1.
- Yrigoyen, M., 1972. Cordillera Principal. A. Leanza (Ed.). *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 345-364, Córdoba.
- Yrigoyen, M., 1979. Cordillera Principal. 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 1: 651-694, Córdoba.
- Zanettini, J.C., Leanza, H.A., Giusiano, A., 2010. Hoja Geológica 3972-II, Loncopué, Provincia del Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 381, 93 pp. Buenos Aires.
- Zen, E. 1989. Wet and dry AFM mineral assemblages of strongly peraluminous granites. In, Miller, C. F., FROGS (Friends of Granite). Report Winter 1989, EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, 70-7: 111-114.