

# ESTRUCTURA Y METAMORFISMO DE LA FORMACIÓN LA MODESTA EN LA ESTANCIA EL TRANQUILO (SANTA CRUZ), PATAGONIA

Pilar MOREIRA<sup>1,2</sup>, Ivana I. LOUSTALOT<sup>1</sup>, Raúl FERNANDEZ<sup>1,3</sup>, Horacio ECHEVESTE<sup>1,3</sup>, Pablo D. GONZALEZ<sup>2,4</sup> e Isidoro A. SCHALAMUK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. La Plata (BA).

Email: pilimoreira@yahoo.es

<sup>2</sup> CONICET

<sup>3</sup> CICBA

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Río Negro, General Roca, Río Negro.

## RESUMEN

En este trabajo se exponen los resultados de un relevamiento de las metamorfitas del Paleozoico inferior correspondientes a la Formación La Modesta en la estancia El Tranquilo (Santa Cruz). Estudios estructurales, petrográficos y geoquímicos realizados en esta unidad indican que se trata de esquistos psamíticos y pelíticos cuarzo - muscovítico - cloríticos, que contienen biotita y que poseen evidencias de metamorfismo regional asociado a dos eventos deformacionales. Se ha reconocido al protolito como una sucesión sedimentaria marina homogénea pelítica a psamo-pelítica, que fue sometida a una temperatura menor a 550° y a una presión que osciló entre 2 y 4 Kb, alcanzando un bajo grado metamórfico en facies esquistos verdes (grados biotita-granate). Se determinó una esquistosidad  $S_1$  regional que es subparalela a las superficies de sedimentación  $S_0$ . La  $S_1$  ha sido afectada por un segundo episodio de deformación, generando una  $S_2/L_2$  no penetrativa. Estas rocas se diferenciaron de las metamorfitas del área tipo de la Formación La Modesta por sus protolitos de ambiente más profundo y porque el segundo episodio deformacional es más evidente en esta área. Asimismo, esta formación se ha correlacionado con metasedimentitas que se ubican al oeste y sus protolitos sedimentarios podrían integrarse en una cuenca de antearco desarrollada hacia el Pacífico que luego pasó a formar parte del prisma de acreción gondwánico.

**Palabras clave:** *Metamorfismo de bajo de grado, basamento, Paleozoico, Patagonia.*

## ABSTRACT

*Structure and metamorphism of the La Modesta Formation in the El Tranquilo ranch (Santa Cruz), Patagonia.*

In this paper are exposed the results of a geological survey about the lower Paleozoic metamorphic rocks of La Modesta Formation in the El Tranquilo farm in Santa Cruz province. Structural, petrographic and geochemical studies carried out in this rock unit indicated that it includes pelitic and psammitic quartz - muscovite - chlorite schists, with blastesis of biotite. These rocks show evidences of a regional metamorphism associated with two deformational events. The protolith has been recognized as a pelitic and psamo-pelitic marine sedimentary succession that was affected by metamorphism with a temperature up to 550°C and a pressure between 2 and 4 Kb, reaching green schists metamorphic facies (biotite-garnet grade). It was established a regional metamorphic foliation,  $S_1$ , subparallel to the sedimentary stratification  $S_0$ . The schistosity  $S_1$  was deformed by a second deformational event, generating a non penetrative  $S_2/L_2$ . This rock unit is differentiated from the La Modesta Formation in the type locality because of its protoliths and the second deformational event is most evident in this area. Nevertheless, the Formation has been correlated with metasedimentites located to the west and its sedimentary protoliths could have been related with a forearc Pacific basin that afterwards formed part of the gondwanic accretionary prism.

**Keywords:** *Low grade metamorphism, basament, Paleozoic, Patagonia.*

## INTRODUCCIÓN

En el sector central de la provincia de Santa Cruz, se encuentra la provincia geológica denominada Macizo del Deseado

que está limitada al norte y sur por las cuencas del Golfo de San Jorge y Austral respectivamente y al oeste por los Andes Patagónicos Australes. Caracterizan a la misma, los extensos afloramientos de ro-

cas volcánicas, piroclásticas y volcanoclásticas jurásicas y amplias superficies con coladas basálticas terciarias y cuaternarias. El basamento ígneo-metamórfico más antiguo sólo constituye pequeños aflora-

mientos que se distribuyen saltuariamente. Las rocas metamórficas de medio a alto grado que afloran en la parte oriental fueron incluidas en el Complejo Río Deseado (Viera y Pezzuchi 1976), mientras que las metamorfitas de grado bajo situadas en la parte centro-occidental constituyen la Formación La Modesta (Di Persia 1962).

Este trabajo tiene como objetivo caracterizar las rocas metamórficas ubicadas en los alrededores de la estancia El Tranquilo (Fig. 1), que fueron incluidas por Pezzi (1970) dentro de la Formación La Modesta. Sus coordenadas centrales son 47° 53'25" de latitud sur y 70°23'58" de longitud oeste. La caracterización detallada de esta unidad se realizó a partir de relevamientos de campo y de estudios complementarios (petrográficos y estructurales). Además, se han efectuado análisis geoquímicos de 8 muestras, con determinación de los contenidos de los componentes mayoritarios, minoritarios y trazas. Estos análisis fueron realizados por FRX en los laboratorios de la empresa ALS Chemex (Mendoza).

En el área estudiada, la Formación La Modesta conforma un bloque de orientación NE-SO que tiene ~1,8 Km de largo por ~1,5 Km de ancho (Fig. 1). Entre los asomos de estas rocas metamórficas, y cubriéndolas, se presentan volcanitas jurásicas correspondientes a ignimbritas dacíticas de la Formación Chon Aike. La geología del área se completa con sedimentitas de la Formación Santa Cruz (Mioceno inferior a medio), basaltos de la Formación La Angelita (Plioceno superior a Pleistoceno inferior). Finalmente aparecen asomos de depósitos aterrazados cuaternarios y relleno moderno.

Asimismo, el área estudiada constituye un sitio de interés debido a la presencia de mineralizaciones epitermales de metales preciosos. Estas mineralizaciones frecuentemente están alojadas en el contacto entre rocas metamórficas de la Formación La Modesta y las volcanitas de la Formación Chon Aike. En las cercanías de dichas mineralizaciones, las rocas metamórficas presentan una alteración hidrotermal leve.

## FORMACIÓN LA MODESTA

### Antecedentes

Los primeros datos sobre el basamento de la porción centro-occidental del Macizo del Deseado corresponden a Di Persia (1962), quien denominó "Esquistos La Modesta" a las rocas ubicadas entre las estancias La Modesta y La Josefina, y las asignó tentativamente al Precámbrico.

Contribuciones posteriores trataron los aspectos regionales de este basamento y realizaron consideraciones sobre su edad. Ugarte (1966) fue el primer autor que ubicó a estas rocas en el Paleozoico temprano a medio, mientras que Stipanovic *et al.* (1968) las relacionaron con las metamorfitas de Esquel y Río Pescado y las asignaron tentativamente al Cámbrico. Pezzi (1970) propuso el nombre de Formación La Modesta, y concluyó que está integrada por filitas cuarzo-muscovíticas y metacuarcitas y le asignó una probable edad pre-devónica, correlacionándola además, con las formaciones Río Lácteo y Bahía La Lancha. Panza y Cobos (2001) indican que las rocas de la Formación La Modesta en su localidad tipo son de bajo grado metamórfico y pertenecen a la facies de esquistos verdes, subfacies cuarzo - albita - muscovita - clorita.

Moreira *et al.* (2005) investigaron la Formación La Modesta en su localidad tipo y establecieron un grado metamórfico muy bajo a bajo. Estos autores determinaron una edad máxima de sedimentación para los protolitos en el límite siluro-devónico; relacionaron esta Formación con otras unidades del oeste de la Patagonia y del sector cordillerano tales como Formaciones Potranca y Cochrane en Chile (Munizaga *et al.* 1973), Complejo Metamórfico Andino Oriental (Sepúlveda y Hervé 2000), Formaciones Esquel, Valle Chico y los "Esquistos de Arroyo Pescado" (Ferguson 1949, Stipanovic *et al.* 1968, Riccardi y Roller 1980 y Cuchi y Askenasy 1982), "Metamorfitas Lapataia" (Borrello 1969), Formación Cushamen (López de Luchi *et al.* 2002, Cerredo y López de Luchi 1999). Más recientemente, a partir del método U-Pb SHRIMP en circones de estas ro-

cas, Moreira *et al.* (2007) indican que la edad máxima de sedimentación es de ~473 Ma. De esta forma, la edad máxima de sedimentación interpretada en Moreira *et al.* (2005) se extiende al Ordovícico inferior (*cf.* Gradstein *et al.* 2004).

En el sector estudiado en este trabajo, se conocen contribuciones escasas que mencionen a los afloramientos de la Formación La Modesta. De Barrio *et al.* (1982), en el marco de un estudio geológico y paleontológico realizado en el sector de estancia Bajo Pellegrini, describen a estas rocas como esquistos cuarzo-micáceos con intensa inyección cuarzosa. Asimismo, Panza y Cobos (2001), en la descripción de la Hoja Geológica 4769-III (1:250000), indican que la Formación La Modesta está compuesta por esquistos cuarzo-micáceos, esquistos micáceos, filitas y metacuarcitas, con un grado variable de inyección magmática silícica.

### Distribución y litología

Los afloramientos son de escasa extensión areal y se presentan como suaves lomas que en gran parte están cubiertas por el regolito de la misma roca (Fig. 2a). Excepcionalmente, sobre el borde norte de los afloramientos, se registra un corte natural de unos 6 metros de altura en el que quedan expuestas con mayor claridad las características litológicas y estructurales de estas metamorfitas (Fig. 2b).

Se trata principalmente de una sucesión monótona de esquistos psamíticos y pelíticos cuarzo - muscovítico - cloríticos ± biotita ± granate. Los esquistos psamíticos son las rocas de mayor extensión areal y las pelíticos se presentan como intercalaciones esporádicas entre los primeros. Su coloración varía de gris verdosa a verde, debido a la cantidad de muscovita o clorita que posean, respectivamente. Algunos niveles llevan numerosos lentes o venas de cuarzo de segregación metamórfica, dispuestas paralelas a subparalelas, respecto de la esquistosidad principal (S<sub>1</sub>).

Microscópicamente están compuestos por una matriz de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, muscovita, clorita y

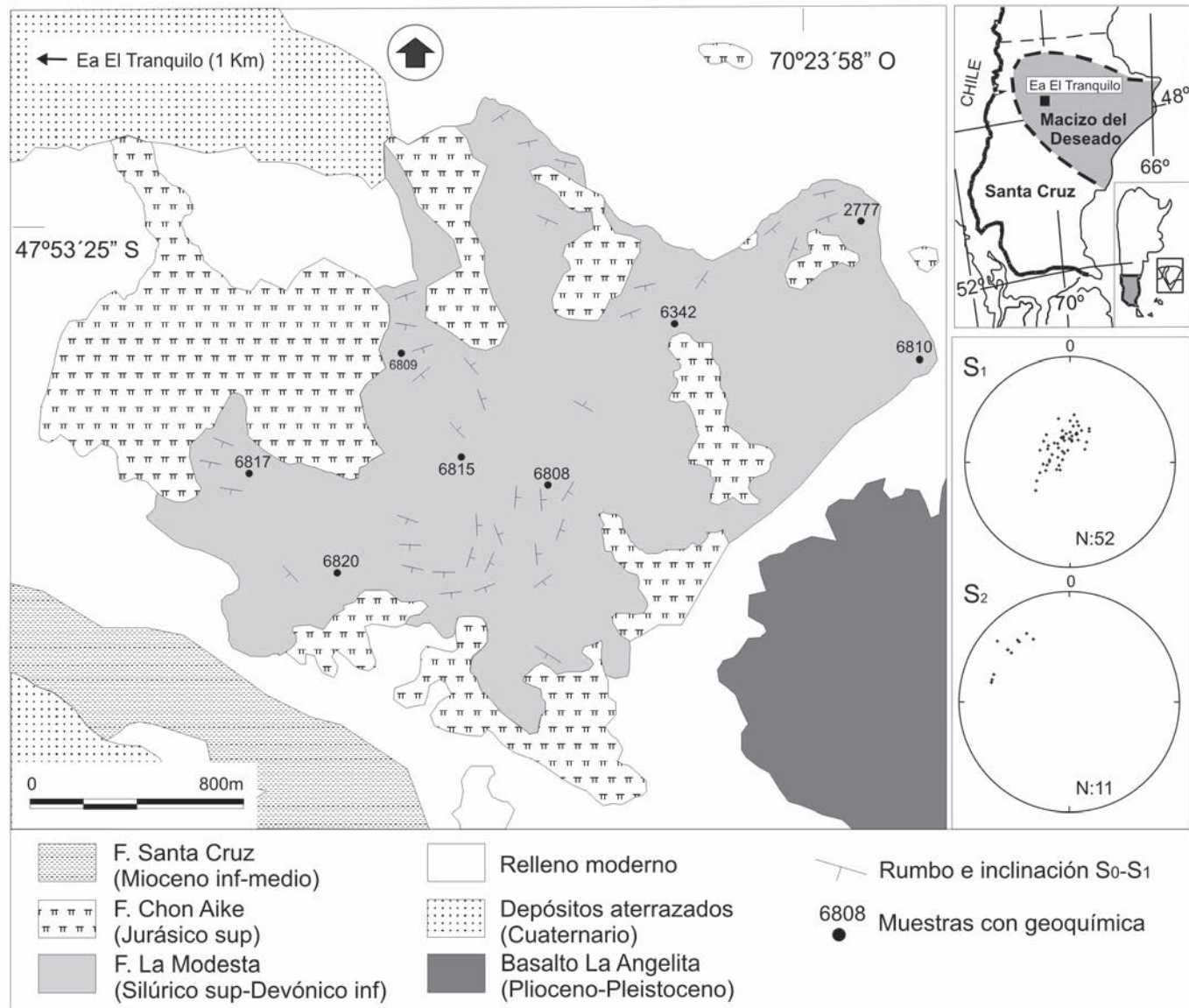


Figura 1: Mapa geológico y diagramas de polos de la Formación La Modesta en la zona de la estancia El Tranquilo.

biotita, acompañada por individuos de granate, epidoto/zoicita y feldespatos detríticos. Como minerales accesorios se presentan carbonatos y en menor cantidad turmalina.

La textura general es porfiroblástica, definida por cristales de granate, feldespato potásico y plagioclasa. Localmente se observa en la matriz una textura granolepidoblástica a lepidoblástica, generada por el predominio de cuarzo y/o los minerales micáceos, respectivamente (Fig. 3a). El cuarzo posee extinción ondulosa y evidencias de recristalización dinámica,

tendiendo a generar un mosaico con textura granoblástica interlobada. Los feldespatos (tanto feldespato potásico como plagioclasas), presentan maclas de deformación y la mayoría están alterados parcialmente a argilominerales (Fig. 3b). Muscovita y clorita aparecen en escamas conformando paquetes de 50 a 200  $\mu\text{m}$ , ocasionalmente se presentan flexuradas y acodadas. La biotita aparece como cristales de hasta 50  $\mu\text{m}$  (raramente de mayor tamaño), mayormente asociada a estas flexuras, orientadas en dirección de una segunda foliación ( $S_2$ ), menos penetrativa

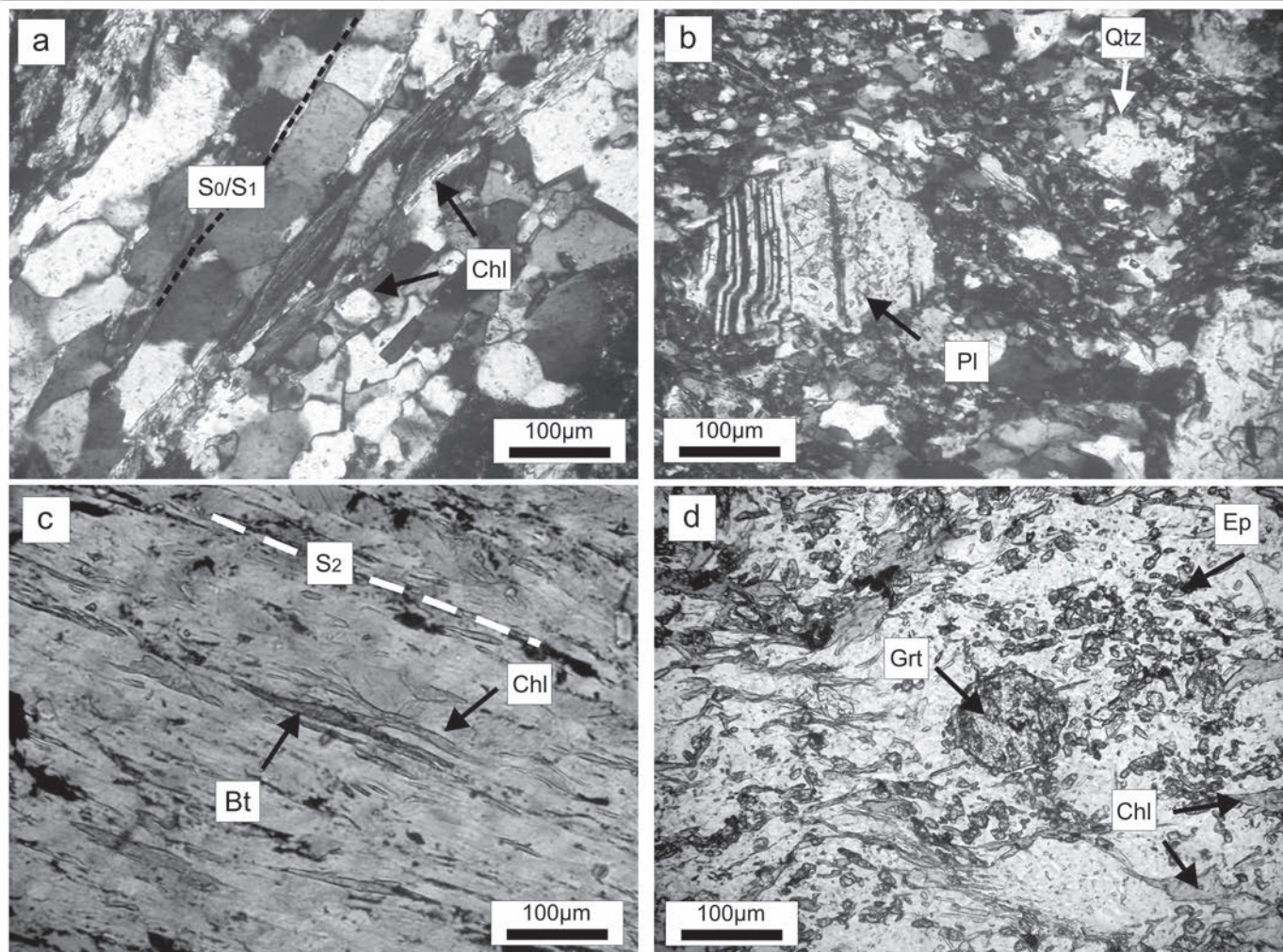
que la principal (Fig. 3c). A su vez se han observado cristales de clorita pasando a biotita de grano muy fino, formando parte de la esquistosidad  $S_1$ , junto con muscovita. Por lo que la formación de la biotita está asociada tanto al primer como al segundo evento.

Los porfiroblastos de granate varían de 50 a 400  $\mu\text{m}$  y son incoloros. En general se presentan muy fracturados, retrógrados incipientemente a clorita en los bordes y con inclusiones de la matriz dispuestas aleatoriamente (Fig. 3d).

Tanto epidoto como zoicita aparecen dis-



**Figura 2:** a) Detalle de los afloramientos de las metamorfitas. b) Perfil que muestra la sucesión de metamorfitas en el extremo norte del bloque.



**Figura 3:** Fotomicrografía con niclos paralelos. a) Textura lepidoblástica con clorita (Chl) intercalada. b) Maclas deformadas en plagioclasa (Pl). c) Escamas de biotita (Bt) y clorita (Chl) asociadas al  $S_2$ . d) Textura porfidoblástica con granate (Grt) asociado a cuarzo (Qtz) y clorita (Chl). Abreviaturas de los minerales según Kretz (1983).

**CUADRO 1:** Resultados de los análisis geoquímicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas expresados en por ciento en peso.

Muestra	6817	6342	6809	6810	6820	2777	6808	6815
SiO <sub>2</sub>	70,35	57,22	61,7	72,5	81,84	60,57	56,12	55,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,3	15,27	18,26	12,4	6,84	13,51	14,22	15,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	8,34	7,59	6,05	4,74	6,73	10,11	9,25
CaO	1,13	5,83	0,29	0,45	0,15	4,64	4,94	2,56
MgO	0,94	2,37	2,09	1,63	0,83	2,62	3,97	3,54
Na <sub>2</sub> O	3,44	3,61	0,32	0,19	0,08	4,35	3,09	2,82
K <sub>2</sub> O	2,07	1,09	4,32	2,73	1,32	0,46	0,72	1,83
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01
TiO <sub>2</sub>	0,57	1,02	0,76	0,62	0,36	0,86	1,37	1,18
MnO	0,11	0,16	0,1	0,06	0,13	0,13	0,18	0,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,137	0,225	0,139	0,151	0,116	0,123	0,201	0,209
SrO	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
BaO	0,06	0,04	0,11	0,07	0,03	0,02	0,03	0,05
LOI	3,24	4,78	4,68	3,18	3,31	5,96	5,62	5,68
Total	100,2	100,0	100,4	100,1	99,77	100,0	100,6	98,91

tribuidos en la matriz esquistosa, algunos como porfiroblastos siguiendo la orientación de la foliación S<sub>1</sub> y otros dispuestos aleatoriamente. No se observan rasgos de deformación evidentes, siendo la mayoría incoloros, anhedrales y de entre 30 a 50 micrones.

Se han observado algunos feldespatos detríticos relictos de mayor tamaño (hasta 800 μm), tanto feldespato potásico como plagioclasa, con evidencias de deformación frágil a frágil-dúctil.

Los carbonatos están principalmente representados por calcita, se trata de cristales con un tamaño de ~100 μm, ubicados mayormente en bandas o lentes paralelas a sub-paralelas a la S<sub>1</sub>. Los individuos de turmalina, de tamaño medio de ~ 50 μm, son prismáticos, coloreados, con pleocroísmo de verde a verde azulado; en casos presentan zonación dada por la presencia de inclusiones principalmente en el núcleo. Algunos aparecen orientados acentuando la esquistosidad principal y otros podrían corresponder a granos detríticos.

Como minerales opacos se ha determinado pirita autigénica, la cual se presenta disseminada en la matriz y en ocasiones completamente reemplazada por limonitas.

### Estructura

La Formación La Modesta conserva en parte la estratificación primaria del pro-

tolito sedimentario, preservada como un bandeamiento composicional S<sub>0</sub>, definido principalmente a escala megascópica por la intercalación de bancos de rocas silicoclásticas de diferente coloración y granulometría (pelítica y psamopelítica). La esquistosidad regional S<sub>1</sub> es paralela a subparalela respecto del S<sub>0</sub>. En gran parte de los afloramientos se observa además una foliación S<sub>2</sub> producto de un evento deformacional posterior D<sub>2</sub> (Fig. 4a).

La foliación S<sub>1</sub> está definida principalmente por la orientación de escamas de muscovita, clorita y lentes/venas de cuarzo ± biotita (Fig. 3a). El S<sub>1</sub> presenta mayormente una disposición sub-horizontal y se interpreta como una esquistosidad de plano axial de pliegues F<sub>1</sub> isoclinales. La esquistosidad S<sub>1</sub> es más evidente que la posterior S<sub>2</sub>, desarrollada fundamentalmente a partir de la formación de biotita junto con muscovita y clorita. En algunos sectores, la S<sub>2</sub> está acompañada por una lineación L<sub>2</sub>, producto de su intersección con la S<sub>1</sub>. La S<sub>2</sub>/L<sub>2</sub> fue generada por un segundo evento deformacional (D<sub>2</sub>) que plegó la sucesión (F<sub>2</sub>) originalmente sometida a un metamorfismo regional (M<sub>1</sub>). Pliegues apretados de escala centimétrica están afectando a la sucesión, evidenciando una esquistosidad de crenulación (S<sub>2</sub>) a escala mesoscópica (Fig. 4b), que desarrolla un clivaje/esquistosidad discontinua con una orientación promedio de

40°/62° SE.

Asimismo al microscopio la esquistosidad S<sub>1</sub> está crenulada por micropliegues F<sub>2</sub> vinculados con superficies S<sub>2</sub> no penetrativas (Fig. 4c) que lateralmente también se asocian a una fábrica S-C de bandas de cizalla (Fig. 4d).

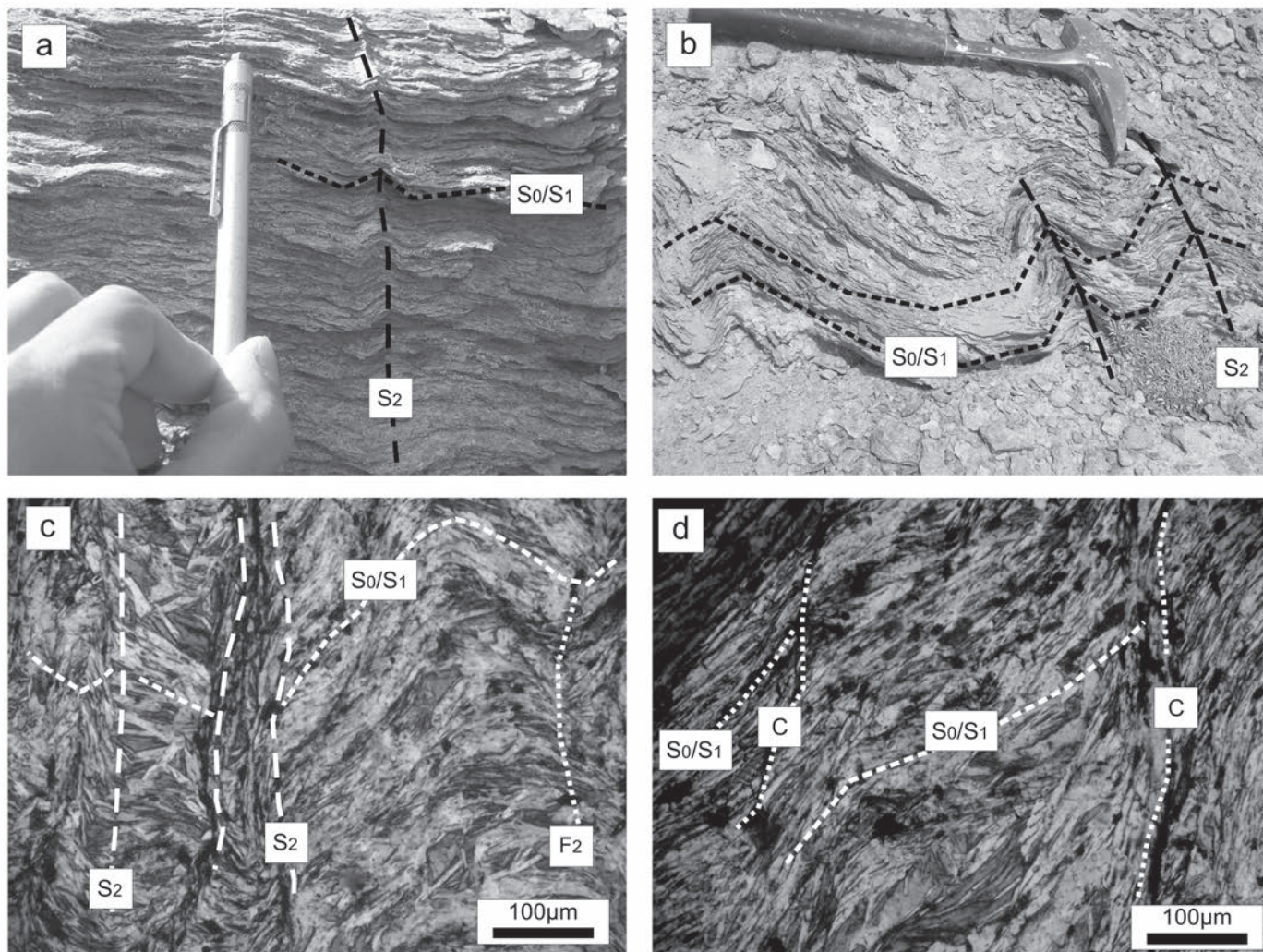
En los diagramas de polo realizados con los datos de esquistosidades S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> (*software StereoNett Version 2.46*) se evidencian estos dos episodios de deformación dúctil (Fig. 1).

### Geoquímica

Los resultados de los estudios geoquímicos se presentan en el cuadro 1. A partir de los mismos, se ha determinado que los esquistos estudiados presentan composiciones variables. En la figura 5 se volcaron estos datos analíticos en el gráfico indicador de procedencia de materiales sedimentarios (Roser y Korsch 1988); su distribución indica que la proveniencia de los protolitos sedimentarios de los esquistos estudiados es muy heterogénea. Predominan dos grupos, los protolitos que derivan de rocas sedimentarias cuarzosas con una tendencia hacia las rocas ígneas félsicas (muestra 6817) y los protolitos que derivan de rocas ígneas máficas con una tendencia a las intermedias (2777). En el primer grupo se obtuvieron los mayores valores de SiO<sub>2</sub> y K<sub>2</sub>O, mientras que en el segundo grupo se evidencian altos valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO y TiO<sub>2</sub>. Este último grupo podría estar indicando la presencia de un componente piroclástico asociado a rocas basálticas, del que no hay registro en el sector estudiado en este trabajo, pero que Moreira *et al.* (2005) asignan como unidades dentro de la Formación La Modesta en su localidad tipo. Asimismo, la presencia de turmalina en la muestra 6342 (visible al microscopio), podría corresponderse con un origen detrítico o bien indicar la presencia de una componente exhalativa en la sucesión.

### Metamorfismo

Las asociaciones metamórficas observadas en las rocas son dos: 1) una M<sub>1</sub> vin-



**Figura 4:** a) y b) Relación entre las foliaciones  $S_1$  y  $S_2$ , y plegamientos en las metamorfitas de la Formación La Modesta. c) Fotomicrografía con detalle de la relación entre las foliaciones  $S_1$  y  $S_2$ , y micropliegues  $F_2$ . d) Fotomicrografía de esquisto con estructuras S-C,  $S_0$ - $S_1$  y C:  $S_2$ .

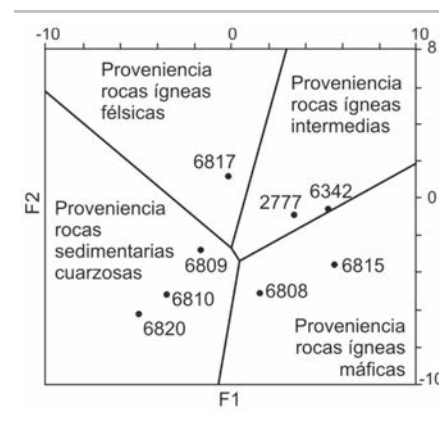
culada a la foliación  $S_1$  y con una mineralogía representada por cuarzo + muscovita + clorita + feldespato potásico + plagioclasa + granate + turmalina? + epidoto + zoicita ± carbonatos ± biotita de grano muy fino; 2) una  $M_2$  relacionada con la foliación  $S_2$  que se relaciona principalmente con la aparición de cristales de biotita bien desarrollada junto a muscovita + clorita + cuarzo.

Si se comparan con tenores promedio para rocas pelíticas, los valores de CaO de las rocas estudiadas son anormalmente elevados (Cuadro 1). Estos valores, junto con los de MnO, podrían estar evidenciando un campo de estabilidad más amplio para el granate y justifican su presen-

cia junto con clorita a menores temperaturas.

La asociación clorita y granate, indica que el pico metamórfico durante el primer evento no superó el campo de estabilidad de dichos minerales para formar estauroлита, por lo que la temperatura no superó los  $550^\circ$  (Fig. 6). El metamorfismo alcanzó la facies de esquistos verdes media (grado biotita-granate), indicando una temperatura  $\leq 450^\circ$  y una presión de entre 2 y 4 Kb para el primer evento metamórfico (Fig. 6). Las asociaciones metamórficas estudiadas ( $M_1$  y  $M_2$ ) indican que ambos eventos alcanzaron el mismo grado metamórfico.

Se ha observado que algunos de los por-



**Figura 5:** Diagrama discriminante de proveniencia de suites sedimentarias (Roser y Korsch 1988).

firoblastos de granate son sintectónicos con respecto al primer evento metamór-

fico ya que poseen sombras de presión de clorita y la matriz se ve deflectada a su alrededor. Otros cristales escasos de granate podrían ser interpretados como post-tectónicos a  $D_1$ , intertectónicos  $D_1 - D_2$ , o incluso sintectónicos  $D_2$  ya que no muestran evidencias que indiquen que su formación fue previa al resto de los minerales metamórficos de la matriz, coetáneos con la primera deformación (Cuadro 2).

La paragénesis mineral determinada en la sucesión de esquistos corresponde a un metamorfismo regional de bajo grado sobre rocas pelíticas y psamopelíticas (Fig. 6).

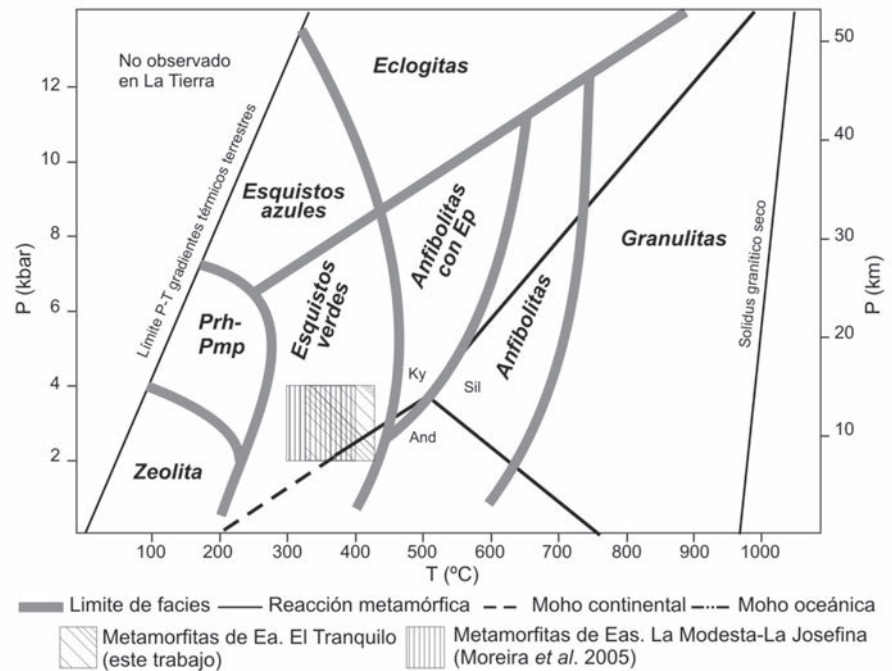
## PROCEDENCIA Y EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

En el cuadro 2 se presenta una síntesis de la evolución estructural y metamórfica de la Formación La Modesta en la estancia El Tranquilo.

Ante la falta de evidencias petrográficas, la geoquímica permite interpretar que los protolitos de las rocas de la Formación La Modesta en la zona de estudio, al igual que en su localidad tipo (Moreira *et al.* 2005), integrarían una sucesión sedimentaria marina homogénea, representada por rocas silicoclásticas tales como pelitas y psamo-pelitas acompañadas en menor grado por sedimentos arcillosos ricos en boro, reflejados por la presencia de turmalina, que podrían estar indicando algún componente volcánico en la sucesión sedimentaria.

Moreira *et al.* (2007) sugirieron que los circones de los protolitos de la Formación La Modesta podrían provenir de las rocas del Complejo Río Deseado y que inclusive podrían ser heredados de los ciclos Brasiliano y Grenvilliano. A su vez, coinciden con las edades propuestas por Augustsson y Bahlburg (2008) para meta-sedimentitas del oeste patagónico, quienes indican que gran parte de los detritos fueron reciclados en la corteza durante al menos 800 a 1200 Ma antes de ser depositados.

La cuenca de los protolitos de la Formación La Modesta comenzó a desarrollar-



**Figura 6:** Diagrama de facies metamórficas Yardley *et al.* (1987) donde se indica el grado metamórfico alcanzado por la Formación La Modesta en el área El Tranquilo.

**CUADRO 2:** Síntesis de la evolución estructural y metamórfica de la Formación La Modesta en la estancia El Tranquilo.

	Fase de deformación	Metamorfismo
$S_2$ : Fábrica no penetrativa: N40/62 SE	$D_2$ : pliegues $F_2$ apretados, clivaje/esquistosidad de plano axial $S_2$ : bandas de cizalla S/C.	$M_2$ : metamorfismo regional, facies esquistos verdes (grados biotita-granate). Mineralogía: muscovita + clorita + cuarzo + biotita.
$S_1$ : Fábrica penetrativa: subhorizontal	$D_1$ : pliegues $F_1$ isoclinales volcados, con una esquistosidad $S_1$ asociada e interpretada como de plano axial. Lentas y venas de cuarzo paralelas a $S_1$	$M_1$ : metamorfismo regional, facies esquistos verdes (grados biotita-granate). Mineralogía: cuarzo + muscovita + clorita + feldespato potásico + plagioclasa + granate + turmalina? + epidoto + zoicita ± carbonatos ± biotita.
$S_0$ : estratificación relictica	Bandeamiento pelita-arenita del protolito sedimentario silicoclástico	

se a medida que se fue exhumando el Complejo Río Deseado situado al este (Giacosa *et al.* 2002), su principal fuente de aporte. El arco magmático que la acompañaba se habría desarrollado hacia el este a unos 50 km, y fue denominado “Western Magmatic and Metamorphic Belt” por Ramos (2008). Moreira *et al.* (2005) interpretaron que la acreción de esta cuenca de antearco ocurrió luego del límite siluro-devónico.

Dataciones realizadas por Hervé *et al.* (1981, 2000); Forsythe (1982) y Thomson y Hervé (2002), en circones detríti-

cos de algunos complejos metamórficos ubicados hacia el margen pacífico de Patagonia, revelan que en general su edad es menor a la de las rocas de la Formación La Modesta, con excepción de una muestra del sector más oriental con una edad máxima de sedimentación de 454 Ma (Hervé *et al.* 2003). Todos estos protolitos se depositaron en cuencas abiertas hacia el Pacífico que se habrían originado desde el límite silúrico-devónico (edad máxima de sedimentación asignada a la Formación La Modesta) hasta el Triásico y Cretácico para las cuencas ubicadas ha-

cia el margen pacífico (Hervé *et al.* 2000). Los sedimentos se depositaron al este sobre corteza continental cambiando progresivamente hacia el oeste sobre sucesiones cuasiocéanicas y oceánicas (Giacosa *et al.* 2002).

Al igual que en las otras cuencas algo más modernas, la cuenca de los protolitos de la Formación La Modesta, pasó a formar parte del prisma de acreción gondwánico, (Hervé 1988; Augustsson y Bahlburg 2008; Ramos 2008). Este proceso involucró metamorfismo y una intensa deformación dúctil progresiva, con intensidad creciente de este a oeste. Se interpreta que estos fueron los procesos que en los protolitos de la Formación La Modesta, dieron lugar a la deformación y al metamorfismo de bajo grado en facies esquistos verdes. La deformación observada ( $S_1$  y  $S_2$ ) podría correlacionarse con los eventos tectónicos evidenciados en la región patagónica por Ramos (2008).

La intensidad creciente de este metamorfismo de este a oeste, se confirma con la presencia de un grado metamórfico muy bajo a bajo (facies de prehnita-pumpellita a facies de esquistos verdes bajo) en la localidad tipo de la Formación La Modesta situada al Este (Moreira *et al.* 2005), facies de esquistos verdes media, en los asomos estudiados en el presente trabajo, y de un grado metamórfico alto (hasta facies de anfíbolitas) hacia el oeste, en territorio chileno (Hervé y Thomson 2002).

## CONCLUSIONES

La Formación La Modesta en el área estudiada está compuesta por esquistos cuarzo - muscovítico - cloríticos, que llevan granate y biotita, posiblemente derivados de una sucesión sedimentaria homogénea de ambiente marino representada principalmente por rocas silicoclásticas (pelitas y psamo-pelitas).

El grado metamórfico alcanzado por las rocas es bajo, correspondiendo a la facies de esquistos verdes (grado biotita-granate), con una temperatura menor a 550°C y a una presión que osciló entre 2 y 4 Kb. Se determinó una esquistosidad  $S_1$  regio-

nal que es subparalela a las superficies de sedimentación  $S_0$ . La  $S_1$  ha sido afectada por un segundo episodio de deformación poco desarrollado, generando una  $S_2/L_2$  no penetrativa.

Las rocas estudiadas son semejantes a las de las metamorfitas del área tipo de la Formación La Modesta, siendo Pezzi (1970) el primero que mencionó una evidente conexión entre ambos. Sin embargo, los protolitos de las metamorfitas estudiadas corresponderían a un ambiente marino más profundo y se evidencia que el segundo evento metamórfico ( $D_2$ ) tuvo un mayor desarrollo en esta área con la formación de biotita.

Las rocas de la Formación La Modesta fueron correlacionadas con metasedimentitas que se ubican al oeste y sus protolitos sedimentarios podrían integrar una cuenca de antearco desarrollada hacia el Pacífico que luego pasó a formar parte del prisma de acreción gondwánico.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Augustsson, C. y Bahlburg, H. 2008. Provenance of Late Palaeozoic metasediments of the Patagonian proto-Pacific margin (southernmost Chile and Argentina). *International Journal of Earth Sciences* 97: 71-88.
- Borrello, A.V. 1969. Los geosinclinales de la Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería, Anales 14: 1-188, Buenos Aires.
- Cerredo, M.E. y López de Luchi, M.G. 1999. Metavolcanic rocks within the metamorphic series of Cushamen Formation, North Patagonian Massif. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 137-139, Salta.
- Cucchi, R. J. y Askenasy, T. 1982. Discontinuidad metamórfica entre las Formaciones Esquel y Valle Chico: Análisis de la cristalinidad de la illita. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37: 362-365.
- De Barrio, R., Arrondo, O.C., Artabe, A. y Petriella, B. 1982. Estudio geológico y paleontológico de los alrededores de la estancia Bajo Pellegrini, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37: 285-299.
- Di Persia, C. 1962. Acerca del descubrimiento del Precámbrico en la Patagonia Extrandina (provincia de Santa Cruz). *Primeras Jornadas Geológicas Argentinas* (San Juan), Actas 2: 65-68, Buenos Aires.
- Feruglio, E. 1949. Descripción geológica de la Patagonia. Dirección General Yacimientos Petrolíferos Fiscales 1: 1-334, Buenos Aires.
- Forsythe, R. 1982. The Late Paleozoic to Early Mesozoic evolution of Southern South America: a plate tectonic interpretation. *Journal of the Geological Society* 139: 671-682.
- Giacosa, R., Márquez, M. y Panza, J. 2002. Basamento Paleozoico inferior del Macizo del Deseado. En Haller, M.J. (ed.): *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. 15° Congreso Geológico Argentino (El Calafate), Relatorio 1: 33-44, Buenos Aires.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Smith, A.G., Bleeker, W. y Lourens, R.J. 2004. A new geological time scale with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, 27: 83-100.
- Hervé, F. 1988. Late Paleozoic subduction and accretion in southern Chile. *Episodes* 11: 183-188.
- Hervé, F., Davison, J., Godoy, E., Mpodozis, C.M. y Covacevich, V. 1981. The late Paleozoic in Chile: Stratigraphy, structure and possible tectonic framework. *Academia Brasileira de Ciencias Annals* 53: 361-373.
- Hervé, F., Demant, A., Ramos, V.A., Pankhurst, R.J. y Suárez, M. 2000. The Southern Andes. En U.J. Cordani, E.J. Milani, A. Thomz Filho y D.A. Campos (eds) *Tectonic evolution of South America*. 31° International Geological Congress: 605-634, Río de Janeiro.
- Hervé, F., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J. 2003. Detrital zircon age patterns and provenance in the metamorphic complexes of Southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 107-123.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- López de Luchi, M.G., Oстера, H., Cagnoni, M., Cerredo, M.E. y Linares, E. 2002. Geodynamic setting for the western border of the North patagonian Massif: Cushamen Formation at Río Chico, Río Negro. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 210-216. Calafate.
- Moreira, P., González, P., Fernández, R., Echeveste, H., Schalamuk, I. y Etcheverry, R. 2005. El basamento de bajo grado de las estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la*



- Asociación Geológica Argentina 60: 49-63.
- Moreira, P., Fernández, R., Hervé, F. y Fanning, C.M. 2007. U-Pb (SHRIMP) ages from detrital zircons of La Modesta Formation, Deseado Massif, Argentina. *GEOSUR 2007, An international Geological Congress on the Southern Hemisphere, Actas 1*: 104, Santiago (Chile).
- Munizaga, F., Aguirre, L. y Hervé, F. 1973. Rb/Sr ages of rocks from the Chilean metamorphic basement. *Earth and Planetary Science Letters* 18: 87-92.
- Panza, J. y Cobos, J. 2001. Hoja Geológica 4769-3, Destacamento La María, provincia de Santa Cruz. Instituto de Geología y Recursos Minerales-SEGEMAR, Boletín 296, 115 p.
- Pezzi, E. 1970. Informe geológico zonas cerro Huemul y estancia la Josefina, Santa Cruz. Yacimientos Petrolíferos Fiscales (inédito), Informe 157, 21 p., Buenos Aires.
- Ramos, V. 2008. Patagonia: a paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Science* 26: 235-251.
- Riccardi, A. y Rolleri, E. 1980. Cordillera Patagónica Austral. En Turner, J. C. (ed.), Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias, 27: 1173-1306, Córdoba.
- Roser, B.P. y Korsch, R.J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology* 67: 119-139.
- Sepúlveda, V. y Hervé, F. 2000. Geología de la Hoja Villa O'Higgins, Región de Aysen, Chile. Implicancias cronológicas, metamórficas y tectónicas de las rocas paleozoicas. 9° Congreso Geológico Chileno, 2° Simposio Internacional, Actas 4: 760-763, Santiago (Chile).
- Stipanicic, P., Rodrigo, F. Baulies, O y Martínez, C. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 23: 67-98.
- Thompson, S. N. y Hervé, F. 2002. New time constraints for the age of metamorphism at the ancestral Pacific Gondwana margin of southern Chile (42°-52°S). *Revista Geológica de Chile* 29: 151-165.
- Ugarte, F. 1966. La cuenca compuesta Carbonífero-Jurásica de la Patagonia Meridional. *Anales Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco*, 2 (Ciencias Geológicas) 1: 37-68, Comodoro Rivadavia.
- Viera, R. y Pezzuchi, H. 1976. Presencia de sedimentitas pérmicas en contacto con rocas del "Complejo metamórfico" de la Patagonia extrandina, estancia dos Hermanos, provincia de Santa Cruz. *Revista Asociación Geológica Argentina* 31: 281-283.
- Yardley, B.W.D., Barber, J.P. y Gray, J.R. 1987. The metamorphism of the Dalriadan rocks of western Ireland and its relation to tectonic setting. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 321: 243-268.

Recibido: 25 de abril, 2011.

Aceptado: 15 de febrero, 2012.