



# Geocronología del cuerpo subvolcánico cerro La Grasa: nuevas evidencias del magmatismo mioceno en la faja plegada y corrida del Agrio, Neuquén

Fernando LEBINSON<sup>1</sup>, Martín TURIENZO<sup>1</sup>, Vanesa ARAUJO<sup>1</sup>, Natalia SÁNCHEZ<sup>1</sup> y Luis DIMIERI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico del Sur, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS-CONICET), Bahía Blanca, Argentina. Email: fernando.lebinson@uns.edu.ar

Editor: Ricardo A. Astini

Recibido: 03 de Agosto de 2023

Aceptado: 11 de Octubre de 2023

## RESUMEN

Esta contribución informa la primera edad de los cuerpos subvolcánicos ubicados en el cerro La Grasa, al norte de la localidad de Las Lajas (Neuquén). Estas rocas se disponen a lo largo del núcleo de un anticlinal formando lacolitos globosos que se afinan en filones capa hacia los laterales, interdigitados en la Formación Mulichinco. Se obtuvo una edad de  $19.4 \pm 0.2$  Ma (Mioceno) mediante el método U/Pb, lo cual permite desvincular estas rocas del cinturón Andesítico Naunauco (Cretácico-Paleógeno) que se extiende a lo largo de la faja plegada y corrida del Agrio.

**Palabras clave:** U/Pb, cuerpos subvolcánicos, Neuquén.

## ABSTRACT

*Geochronology of the cerro La Grasa subvolcanic body: new evidence of miocene magmatism in the Agrio fold and thrust belt, Neuquén.*

This contribution reports the first age of the subvolcanic bodies located in cerro La Grasa, north of the Las Lajas town (Neuquén). These rocks are arranged along the core of an anticline, forming globular laccoliths that thin into sills towards the sides, interdigitated in the Mulichinco Formation. An age of  $19.4 \pm 0.2$  Ma (Miocene) was obtained using the U/Pb method, which allows these rocks to be distinguished from the Naunauco Andesitic Belt (Cretaceous-Paleogene) that extends along the Agrio fold and thrust belt.

**Keywords:** U/Pb, subvolcanic bodies, Neuquén.

## INTRODUCCIÓN

Hacia fines del Cretácico, la Cuenca Neuquina, una de las más importantes cuencas productoras de hidrocarburos de Argentina, evolucionó a una cuenca de antepaís en respuesta a la tectónica compresional (Cobbold y Rosello 2003, Ramos y Folguera 2005, Borghi et al. 2019). En conjunto con esto, se desarrolló un magmatismo a lo largo de esta región evidenciado por numerosos cuerpos ígneos (lacolitos, diques, filones capa, coladas) cuyas edades varían desde el Cretácico

al Cuaternario (Kay et al. 2006). La zona de estudio del presente trabajo se ubica en el cerro La Grasa (1879 m s.n.m.), aproximadamente 20 km al norte de la localidad Las Lajas, Neuquén (Fig. 1a). En las últimas décadas, se han estudiado y datado distintos cuerpos ígneos a lo largo de la faja plegada y corrida del Agrio (Fig. 1b), sin embargo las rocas ígneas de la zona de estudio no han sido analizadas anteriormente en detalle. Por correlaciones con regiones aledañas, estas rocas fueron vinculadas con el magmatismo cretácico-paleógeno del cinturón Andesítico Naunauco (Leanza et al. 2001). El ob-

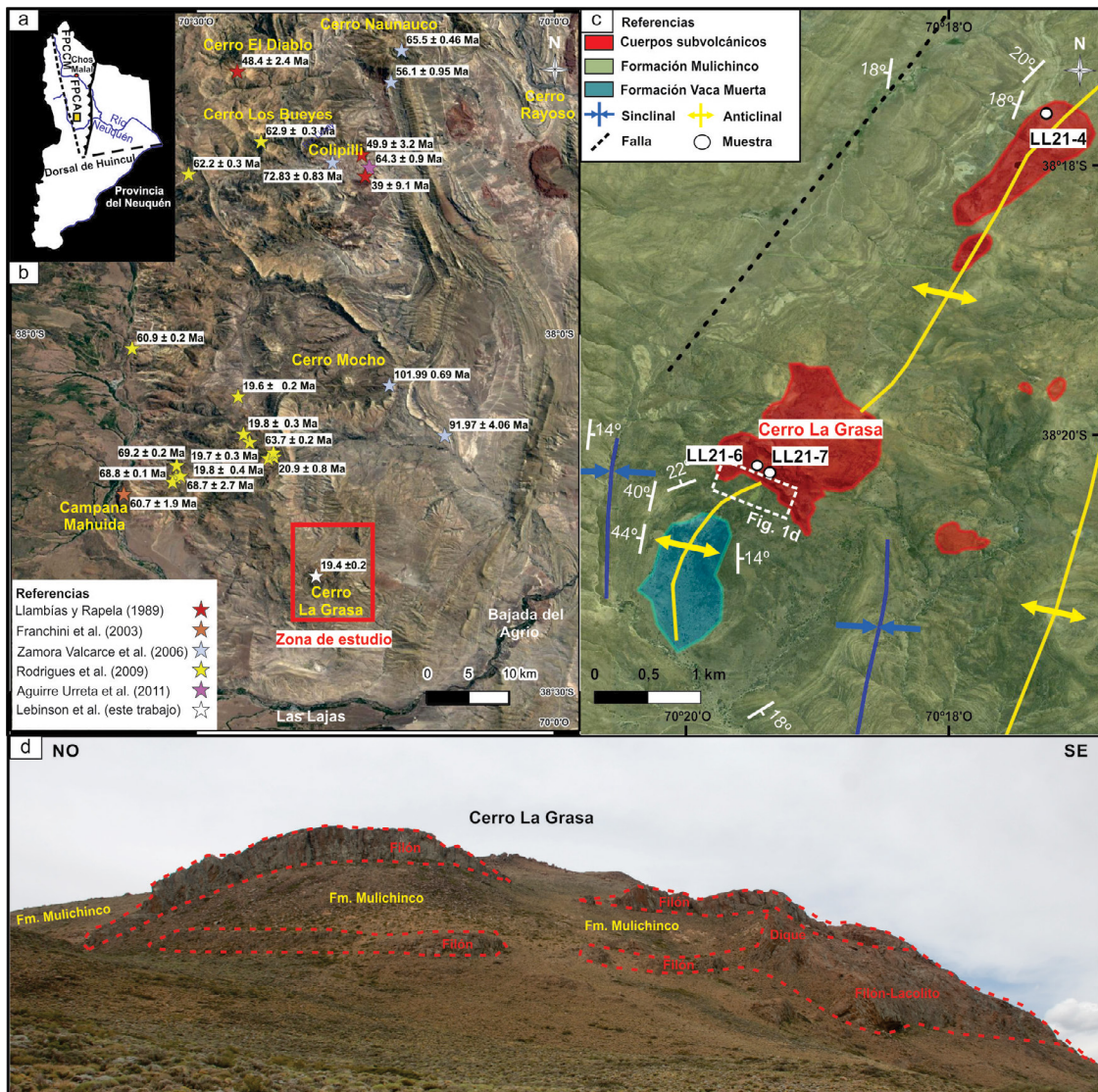
jetivo principal de esta contribución es dar a conocer la primera edad U-Pb del cerro La Grasa. Adicionalmente, junto con los respectivos análisis geoquímicos y estudios petrológicos de las rocas ígneas, se evaluará la afinidad de este cuerpo con el magmatismo desarrollado en zonas aledañas.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

En la Cuenca Neuquina, ubicada en la región centro-oeste de Argentina, se depositaron más de 7000 metros de sedimentos desde el Triásico hasta el Cretácico-Paleoceno, que incluyen las principales rocas madres y reservorios que dieron origen a los yacimientos de hidrocarburos (Vergani et al. 1995, Arregui et al. 2011). A fines del Cretácico, la Cuenca

Neuquina evoluciona a una fase de antepaís en respuesta a una tectónica compresional sobre el margen andino, durante la cual comienza el desarrollo de fajas plegadas y corridas y un importante magmatismo asociado (Cobbold y Rossello 2003, Ramos y Folguera 2005).

La faja plegada y corrida del Agrio, ubicada entre las localidades de Chos Malal y Las Lajas (provincia del Neuquén), se caracteriza por la interacción de estructuras de piel gruesa y de piel fina que da lugar a una región con pliegues y corrimientos de orientación general norte-sur (Zapata et al. 1999, Zamora Valcarce et al. 2006, Rojas Vera et al. 2015, Lebinson et al. 2015a, b, 2018, Aramendia et al. 2019, Irastorza et al. 2019, Turienzo et al. 2022). Generalmente, las estructuras de piel gruesa, que involucran al basamento en subsuelo, forman anticlinas de más de 8 km de longitud de onda. Mientras



**Figura 1:** a) Localización del área de estudio (FPCA: faja plegada y corrida del Agrio; FPCCM: faja plegada y corrida de Chos Malal). b) Edades del magmatismo en el sector sur de la faja plegada y corrida del Agrio. c) Mapa de las estructuras y ubicación de las muestras de los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa. d) Cuerpos subvolcánicos en el sector sur del cerro La Grasa interdigitados en la Formación Mulichinco.

**CUADRO 1:** Resultados de los análisis geoquímicos del Cerro La Grasa.

Cerro La Grasa			
	LL21-4	LL21-6	LL21-7
Elementos mayoritarios en % peso			
SiO <sub>2</sub>	55,9	65,7	66,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,15	15,9	15,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,89	3,88	4,07
CaO	5,81	3,93	4,14
MgO	2,78	1,1	1,18
Na <sub>2</sub> O	4,19	3,86	3,75
K <sub>2</sub> O	1,52	2,43	2,51
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,002	<0,002	<0,002
TiO <sub>2</sub>	0,7	0,39	0,38
MnO	0,16	0,1	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,21	0,17
SrO	0,08	0,06	0,06
BaO	0,04	0,06	0,05
LOI	2,96	2,27	3,39
Total	98,49	99,89	101,58
Elementos trazas en ppm			
C	0,13	0,1	0,22
S	0,01	0,01	0,09
Ba	380	494	434
Ce	41	46,5	41,6
Cr	14	9	8
Cs	1,4	0,9	0,89
Dy	3,64	2,61	1,99
Er	2,25	1,53	1,47
Eu	1,5	1,11	0,86
Ga	18,4	15	13,9
Gd	4,35	2,97	2,92
Ge	1,6	1,4	1,6
Hf	2,96	3,93	3,44
Ho	0,68	0,41	0,48
La	19,4	24,8	22,4
Lu	0,29	0,22	0,21
Nb	11	15,2	13,7
Nd	21,8	20,5	17,6
Pr	4,99	4,83	4,41
Rb	34,6	66,4	59,4
Sm	4,4	3,66	3,36
Sn	1	1,1	1,5
Sr	698	573	503
Ta	0,9	1,4	1,3
Tb	0,68	0,39	0,36
Th	2,65	4,97	4,69
Tm	0,32	0,18	0,19
U	0,96	1,62	1,55
V	132	50	47
W	0,9	0,8	1,3
Y	19,6	14,1	12,7
Yb	2,15	1,61	1,66
Zr	131	153	146
As	0,4	0,4	1,4
Bi	0,03	0,01	0,01
Hg	<0,005	<0,005	<0,005
In	0,023	0,016	0,018
Re	<0,001	<0,001	<0,001
Sb	<0,05	<0,05	0,23
Se	<0,2	<0,2	<0,2
Te	0,01	<0,01	0,01
Tl	0,03	0,02	0,03
Ag	<0,5	<0,5	<0,5
Cd	<0,5	<0,5	<0,5
Co	14	5	4
Cu	27	5	8
Li	30	30	30
Mo	<1	1	1
Ni	5	1	2
Pb	<2	8	5
Sc	10	3	3
Zn	62	40	25

que algunos autores han interpretado estas estructuras como respuesta a la inversión positiva de fallas normales y sus respectivos hemigrábenes (Zapata et al. 1999; Zamora Valcarce

**CUADRO 2:** Condiciones del análisis de circones.

Condiciones de medición ICPMS	
Mass	Dwell Times (ms)
29Si	50
91Zr	10
206Pb	25
207Pb	70
208Pb	25
232Th	10
235U	50
238U	25
Condiciones de Ablación	
Spot	38 µm
Frecuencia	9 Hz
Fluence	3 J.cm <sup>-2</sup>
Tiempo de ablación	25 s
Caudal N <sub>2</sub>	4 ml.min <sup>-1</sup>
Caudal He	370 ml.min <sup>-1</sup>
Cálculo de edad U/Pb	
Material de Referencia Primario	Zr 91500
Material Testigo	Zr Plesovice
Reducción de Datos	
Versión del software	LADR 1.1.07
Nivel de incertidumbre informado	Within-Run Analytical Precision
Incertidumbre reportada	1 x Unc.(ratios) / 1 x Unc. (Comp)
Salidas Gráficas y Resultados	
Versión del software	IsoplotRgui versión 5.0
Incertidumbre reportada	1s

et al. 2006, Rojas Vera et al. 2015), otros las han interpretado como formadas por nuevos corrimientos que generan cuñas de basamento y se emplazan en la secuencia sedimentaria, transfiriendo el acortamiento hacia el antepaís (Sánchez et al. 2015, Turienzo et al. 2018, 2022, Lebinson et al. 2015a, 2018, 2020). Por otra parte, las estructuras de piel fina se asocian a pliegues relacionados con fallas con despegues en diferentes niveles incompetentes (formaciones Auquilco, Vaca Muerta y Agrio, y el Grupo Bajada del Agrio) dentro de la secuencia sedimentaria de la Cuenca Neuquina. Estos pliegues en la cubierta sedimentaria, de rumbo dominante N-S, tienen menor longitud de onda que los pliegues que involucran al basamento y son el resultado de la transferencia de acortamiento derivada de las estructuras de piel gruesa.

Las rocas ígneas de la faja plegada y corrida del Agrio se agrupan principalmente dentro del cinturón andesítico paleógeno Naunauco, definido por Llambías y Aragón (2011), el cual se desarrolla entre las localidades de Andacollo y Las Lajas. Inicialmente, estas rocas fueron descritas como "Serie andesítica infraterciaria" o "Serie andesítica oligocena" por

Groeber (1929) y Zöllner y Amos (1973) entre otros. Posteriormente, Groeber (1946) las redefinió como "Mollelitense", y luego, Irigoyen (1972) al adaptar esta terminología a la nomenclatura estratigráfica lo denominó como Grupo Molle. Sin embargo, en la actualidad, esta nomenclatura se utiliza sólo para las rocas ígneas que afloran al sur de la provincia de Mendoza de edad miocena (Nullo et al. 2002). Para las rocas ígneas del norte neuquino, Zamora Valcarce (2007) las define como Grupo Naunauco, que incluye a la Formación Colipilli (Llambías y Rapela 1989) integrada por cuerpos intrusivos y facies extrusivas, y a la Formación Cayanta (Rapela y Llambías 1985) compuesta por coladas y brechas volcánicas.

## MÉTODO

Durante el trabajo de campo se obtuvieron tres muestras de rocas ígneas que se procesaron y analizaron geoquímicamente en el Laboratorio ALS, utilizando espectrometría de masa ICP-ES para la determinación de los elementos mayores y espectrometría de masa en plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para los elementos traza y tierras raras. Una de estas muestras (LL21-7), fue datada en el Laboratorio LA.TE ANDES S.A. mediante un espectrómetro Agilent 8900 triple cuadrupolo (ICP-QQQ). Se registraron 84 análisis U/Pb en circones del cerro La Grasa. Los procesamientos y resultados de estos estudios se reportan en los cuadros 1, 2 y 3.

## RESULTADOS

### Estructura del área y petrología-geoquímica de las rocas ígneas

Estructuralmente en la zona de estudio se observan pliegues y corrimientos que afectan a las formaciones Vaca Muerta, Mulichinco y Agrío. Los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa se encuentran en el núcleo de un anticlinal de orientación NNE-SSO (Fig. 1c). Este pliegue presenta en su limbo occidental buzamientos entre 40°-55° al O, mientras que su limbo oriental inclina entre 10°-20° al E, lo cual indica una vergencia al oeste. En el núcleo del pliegue se exponen lutitas negras con intercalaciones de calizas de la Formación Vaca Muerta (Tithoniano-Valanginiano temprano), mientras que coronando el cerro y hacia los limbos se encuentran las areniscas y areniscas calcáreas de la Formación Mulichinco (Valanginiano temprano-tardío).

Los cuerpos subvolcánicos se disponen formando lacolitos globosos que se afinan en filones capa hacia los laterales,

interdigitados en la Formación Mulichinco (Fig. 1d). En menor medida se reconocen diques que se conectan con los filones capa y lacolitos, conformando un emplazamiento tipo árbol de Navidad. Se estudiaron tres muestras de los cuerpos subvolcánicos, una del sector norte y dos del sector sur (Fig. 1c). La roca del sector norte (LL21-04) presenta una composición andesítica, con una textura porfírica, con fenocristales (40%) de plagioclasa, anfíbol y en menor medida clinopiroxeno, inmersos en una mesostasis afieltrada (60%), con tablillas de plagioclasas que exhiben un arreglo desordenado. Por su parte, las rocas del sector sur (LL21-06 y LL21-07) muestran una composición andesítica a dacítica, con texturas porfíricas, con una matriz de tipo pilotáxica. Los fenocristales (35%) de plagioclasa y anfíboles se encuentran inmersos en una pasta (65%) compuesta por tablillas de plagioclasa, con disposición caótica, cuarzo anhedral, minerales opacos y material de alteración entre las tablillas de plagioclasa.

Los datos geoquímicos del cerro La Grasa se volcaron en una serie de diagramas con el fin de clasificar y discriminar ambientes tectónicos (Fig. 2a-f). En el diagrama de SiO<sub>2</sub> versus Zr/TiO, se determinó que la muestra del sector norte corresponde a una andesita, mientras que las muestras del sector sur clasifican en el campo de riocacita/dacita (Fig. 2a). A su vez, en el diagrama de Wood (1980), el cual divide a los basaltos en distintos ambientes tectónicos, las muestras se ubican en el campo de basaltos de arco (Fig. 2b). En el diagrama de tierras raras normalizado a condrito (Sun y McDonough 1989), se observa que todas las rocas presentan un patrón similar, indicando una relación genética entre ellas, exhibiendo un diseño con un enriquecimiento en tierras raras livianas (La/Yb > 1) y un diseño subhorizontal de las tierras raras pesadas (Fig. 2c). No se presenta anomalía de europio. Además, las muestras normalizadas a un Basalto de Dorsal Centro Oceánica (*Mid-Ocean Ridge Basalt* - MORB), tienen un enriquecimiento en los elementos K, Rb, Ba y Th y un marcado empobrecimiento en Ti (Fig. 2d). Todas estas características en los diagramas indican que las muestras del cerro La Grasa presentan una afinidad calcoalcalina de arco (Pearce 1982).

### Geocronología

Los circones analizados de la muestra LL21-7 (38°20'19.55" S, 70°19'59.92" O) presentan formas euhedrales a subhedrales, con caras cristalinas bien desarrolladas. Entre las principales morfologías reconocidas se presentan cristales prismáticos cortos y otros con caras cristalinas simples y bipiramidales (Fig. 2g). Algunos pocos granos tienen bordes corroídos, inclusiones y crecimientos secundarios a partir de núcleos probablemente más antiguos. De un total de 84 puntos se utilizaron aquellos que mostraban niveles de

**CUADRO 3: Resultados de los análisis en circones.**

		Edad Isotópica (Ma)												Edad Recomendada					
Muestra-punto	SEQ	Relaciones radiogénicas												Edad Preferida	1s	Disc. % (206/238)/ (207/235)			
		207Pb/ 235U	1s	206Pb/ 238U	1s	207Pb/ 206Pb	1s	207Pb/ 206Pb	1s	Rho XY	Rho YZ	206Pb/ 238U	1s				207Pb/ 235U	1s	207Pb/ 206Pb
C840 - 19	1	0.02939844	0.00420994	0.00264443	0.00025003	0.08160821	0.01245418	0.05939109	0.02007623	17.0	1.6	29.42	4.2	1235.3	188.5	17.0	1.6	9%	58%
C840 - 3	1	0.01943064	0.00249793	0.00266378	0.00013923	0.05359028	0.00708679	0.05573975	0.01964699	17.1	0.9	19.54	2.5	352.9	46.7	17.1	0.9	5%	88%
C840 - 80	1	0.02516001	0.00414894	0.00268933	0.00017399	0.07095563	0.01172221	0.04193481	0.01484234	17.3	1.1	25.23	4.2	955.2	157.8	17.3	1.1	6%	69%
C840 - 1	1	0.01628302	0.00222077	0.00269982	0.00015656	0.04365123	0.00608218	0.07049936	0.02574127	17.4	1.0	16.40	2.2	0.0	0.0	17.4	1.0	6%	106%
C840 - 85	1	0.01409766	0.00293350	0.00271483	0.00020792	0.04132010	0.00890893	0.0708775	0.02333827	17.5	1.3	14.21	3.0	0.0	0.0	17.5	1.3	8%	123%
C840 - 52	1	0.02528000	0.00410015	0.00272696	0.00022987	0.06993399	0.01201293	0.05606326	0.01913505	17.6	1.5	25.35	4.1	925.5	159.0	17.6	1.5	8%	69%
C840 - 6	1	0.02103668	0.00294383	0.00279043	0.00015870	0.05527779	0.00801050	0.05390895	0.01981137	18.0	1.0	21.14	3.0	422.5	61.2	18.0	1.0	6%	85%
C840 - 33	1	0.01975596	0.00278937	0.00280174	0.00016219	0.05354170	0.00782398	0.0581461	0.02073	18.0	1.0	19.86	2.8	350.8	51.3	18.0	1.0	6%	91%
C840 - 59	1	0.01899623	0.00253954	0.00281736	0.00017200	0.05140516	0.00706960	0.06773038	0.0243301	18.1	1.1	19.11	2.6	258.0	35.5	18.1	1.1	6%	95%
C840 - 11	1	0.01982262	0.00259048	0.00283320	0.00016302	0.05226115	0.00702290	0.06293042	0.02321263	18.2	1.0	19.93	2.6	295.8	39.8	18.2	1.0	6%	92%
C840 - 58	1	0.02032729	0.00267716	0.00286865	0.00014549	0.05457755	0.00741037	0.05434484	0.01963329	18.5	0.9	20.43	2.7	394.0	53.5	18.5	0.9	5%	90%
C840 - 17	1	0.01730516	0.00220097	0.00288850	0.00015784	0.04417308	0.00571788	0.07171435	0.02760482	18.6	1.0	17.42	2.2	0.0	0.0	18.6	1.0	5%	107%
C840 - 22	1	0.01720779	0.00174226	0.00289239	0.00011931	0.04426707	0.00460288	0.06848129	0.02592119	18.6	0.8	17.32	1.8	0.0	0.0	18.6	0.8	4%	107%
C840 - 34	1	0.01784587	0.00287623	0.00289293	0.00016913	0.04651279	0.00774942	0.05880312	0.02182498	18.6	1.1	17.96	2.9	23.2	3.9	18.6	1.1	6%	104%
C840 - 75	1	0.01516038	0.00226089	0.00289678	0.00014251	0.03985865	0.00607400	0.06307571	0.02347828	18.6	0.9	15.28	2.3	0.0	0.0	18.6	0.9	5%	122%
C840 - 63	1	0.02675195	0.00593980	0.00291059	0.00020146	0.07138431	0.01593251	0.03391681	0.01264453	18.7	1.3	26.81	6.0	967.5	215.9	18.7	1.3	7%	70%
C840 - 5	1	0.02681750	0.00412529	0.00291517	0.00022407	0.06533327	0.01055415	0.054316	0.02123043	18.8	1.4	26.87	4.1	784.1	126.7	18.8	1.4	8%	70%
C840 - 18	1	0.01527365	0.00226435	0.00291775	0.00016887	0.03837953	0.00580705	0.07457558	0.02907932	18.8	1.1	15.39	2.3	0.0	0.0	18.8	1.1	6%	122%
C840 - 31	1	0.01961329	0.00178826	0.00292447	0.00009380	0.05068374	0.00433057	0.05245313	0.02165998	18.8	0.6	19.72	1.8	225.4	19.3	18.8	0.6	3%	95%
C840 - 47	1	0.01603632	0.00318772	0.00293308	0.00025542	0.04444214	0.00917907	0.08012739	0.02782679	18.9	1.6	16.15	3.2	0.0	0.0	18.9	1.6	9%	117%
C840 - 16	1	0.02133651	0.00278249	0.00293654	0.00011990	0.05224855	0.00705612	0.0430917	0.01699263	18.9	0.8	21.44	2.8	295.3	39.9	18.9	0.8	4%	88%
C840 - 14	1	0.02467488	0.00404284	0.00293752	0.00019995	0.06211020	0.00947607	0.04945831	0.02110074	18.9	1.3	24.75	4.1	677.0	103.3	18.9	1.3	7%	76%
C840 - 7	1	0.02229784	0.00375964	0.00293787	0.00011851	0.05659640	0.00965235	0.03152218	0.01227804	18.9	0.8	22.39	3.8	474.9	81.0	18.9	0.8	4%	84%
C840 - 61	1	0.01508108	0.00217945	0.00293989	0.00014061	0.04007261	0.00591173	0.06451588	0.02378475	18.9	0.9	15.20	2.2	0.0	0.0	18.9	0.9	5%	125%
C840 - 25	1	0.01620804	0.00204208	0.00294876	0.00013747	0.04087206	0.00521955	0.06732025	0.02633807	19.0	0.9	16.33	2.1	0.0	0.0	19.0	0.9	5%	116%
C840 - 24	1	0.01976236	0.00215390	0.00296037	0.00009530	0.05172703	0.00590505	0.04424543	0.01613872	19.1	0.6	19.87	2.2	272.3	31.1	19.1	0.6	3%	96%
C840 - 28	1	0.01549518	0.00309470	0.00296585	0.00019901	0.03946337	0.00814419	0.06430514	0.02443521	19.1	1.3	15.61	3.1	0.0	0.0	19.1	1.3	7%	122%
C840 - 72	1	0.02234903	0.00349126	0.00297800	0.00014451	0.05694603	0.00858075	0.04139225	0.0168413	19.2	0.9	22.44	3.5	488.5	73.6	19.2	0.9	5%	85%
C840 - 39	1	0.01587333	0.00239157	0.00299165	0.00015100	0.03925636	0.00604608	0.06313975	0.02497534	19.3	1.0	15.99	2.4	0.0	0.0	19.3	1.0	5%	120%
C840 - 13	1	0.03155354	0.00764271	0.00299211	0.00015676	0.07865372	0.01617037	0.02051079	0.00969415	19.3	1.0	31.54	7.6	1162.5	239.0	19.3	1.0	5%	61%
C840 - 12	1	0.01768576	0.00213240	0.00299709	0.00011136	0.04299594	0.00542734	0.05222332	0.02051851	19.3	0.7	17.80	2.1	0.0	0.0	19.3	0.7	4%	108%
C840 - 78	1	0.02567986	0.00294597	0.00299818	0.00015170	0.06438516	0.00759698	0.05149379	0.01996833	19.3	1.0	25.75	3.0	753.4	88.9	19.3	1.0	5%	75%
C840 - 65	1	0.01916098	0.00163192	0.00299915	0.00007750	0.04863586	0.00383123	0.04749004	0.0202285	19.3	0.5	19.27	1.6	129.3	10.2	19.3	0.5	3%	100%
C840 - 82	1	0.01812829	0.00264603	0.00300048	0.00013413	0.04439418	0.00677267	0.05069034	0.0198043	19.3	0.9	18.24	2.7	0.0	0.0	19.3	0.9	4%	106%

**CUADRO 3: Resultados de los análisis en circones.**

C840 - 74	1	0.02509249	0.00331906	0.00300413	0.00019955	0.06316998	0.00867834	0.06012297	0.02299425	19.3	1.3	25.16	3.3	713.0	98.0	19.3	1.3	7%	77%
C840 - 60	1	0.01946554	0.00268267	0.00300638	0.00013742	0.04735180	0.00856448	0.05122546	0.01604545	19.4	0.9	19.58	2.7	65.9	11.9	19.4	0.9	5%	99%
C840 - 23	1	0.01702997	0.00270798	0.00300789	0.00019083	0.04165490	0.00680594	0.07046982	0.02803891	19.4	1.2	17.15	2.7	0.0	0.0	19.4	1.2	6%	113%
C840 - 4	1	0.01917615	0.00154020	0.00302672	0.00008440	0.04551739	0.00352219	0.05479808	0.0239624	19.5	0.5	19.29	1.5	0.0	0.0	19.5	0.5	3%	101%
C840 - 84	1	0.02114250	0.00331028	0.00302831	0.00020402	0.05224126	0.00847648	0.06163144	0.02406861	19.5	1.3	21.24	3.3	295.0	47.9	19.5	1.3	7%	92%
C840 - 8	1	0.01878890	0.00220677	0.00303604	0.00014415	0.04526028	0.00537982	0.06532135	0.02679441	19.5	0.9	18.90	2.2	0.0	0.0	19.5	0.9	5%	103%
C840 - 79	1	0.01729086	0.00323541	0.00304083	0.00024195	0.04101293	0.00791412	0.07478301	0.03057245	19.6	1.6	17.41	3.3	0.0	0.0	19.6	1.6	8%	112%
C840 - 67	1	0.02305971	0.00368020	0.00304370	0.00018734	0.05669015	0.00925414	0.05090491	0.02024391	19.6	1.2	23.15	3.7	439.0	73.0	19.6	1.2	6%	85%
C840 - 20	1	0.03505843	0.00672910	0.00304421	0.00027758	0.08292119	0.01714951	0.04125024	0.01618571	19.6	1.8	34.99	6.7	1266.5	261.9	19.6	1.8	9%	56%
C840 - 62	1	0.02347097	0.00369000	0.00305616	0.00019206	0.05739149	0.00940627	0.05204927	0.02041851	19.7	1.2	23.56	3.7	505.6	82.9	19.7	1.2	6%	84%
C840 - 83	1	0.03075862	0.00477894	0.00306554	0.00020400	0.07021800	0.01148761	0.04268708	0.01775817	19.7	1.3	30.76	4.8	933.8	152.8	19.7	1.3	7%	64%
C840 - 42	1	0.03946487	0.00559165	0.00308296	0.00022742	0.10307270	0.01583711	0.04067151	0.01436001	19.8	1.5	39.30	5.6	1679.4	258.0	19.8	1.5	7%	50%
C840 - 51	1	0.02453156	0.00295382	0.00309428	0.00014593	0.06161951	0.00737578	0.04940342	0.01978488	19.9	0.9	24.61	3.0	660.0	79.0	19.9	0.9	5%	81%
C840 - 49	1	0.01506449	0.00216621	0.00309761	0.00017986	0.03944175	0.00578600	0.08302788	0.0310847	19.9	1.2	15.18	2.2	0.0	0.0	19.9	1.2	6%	131%
C840 - 9	1	0.02018734	0.00298382	0.00311122	0.00017870	0.04755170	0.00723475	0.05989638	0.0247005	20.0	1.2	20.29	3.0	76.0	11.6	20.0	1.2	6%	99%
C840 - 48	1	0.02735307	0.00534863	0.00311904	0.00019164	0.06745953	0.01259510	0.03582899	0.01521512	20.1	1.2	27.40	5.4	851.1	158.9	20.1	1.2	6%	73%
C840 - 55	1	0.01914682	0.00219852	0.00313801	0.00012993	0.04789817	0.00557089	0.05909716	0.02332231	20.2	0.8	19.26	2.2	93.2	10.8	20.2	0.8	4%	105%
C840 - 81	1	0.01795371	0.00203316	0.00313956	0.00011799	0.04252445	0.00483913	0.0580318	0.02438207	20.2	0.8	18.07	2.0	0.0	0.0	20.2	0.8	4%	112%
C840 - 73	1	0.02305161	0.00311512	0.00314263	0.00018825	0.05303636	0.00737359	0.06043072	0.02553016	20.2	1.2	23.14	3.1	329.3	45.8	20.2	1.2	6%	87%
C840 - 71	1	0.03084440	0.00335317	0.00314728	0.00015307	0.07164957	0.00801857	0.04564968	0.01908956	20.3	1.0	30.85	3.4	975.1	109.1	20.3	1.0	5%	66%
C840 - 27	1	0.01375546	0.00265950	0.00314837	0.00021076	0.03265666	0.00646696	0.07924789	0.03259028	20.3	1.4	13.87	2.7	0.0	0.0	20.3	1.4	7%	146%
C840 - 68	1	0.01594723	0.00201443	0.00314986	0.00014496	0.03986139	0.00509349	0.07195836	0.0284589	20.3	0.9	16.06	2.0	0.0	0.0	20.3	0.9	5%	126%
C840 - 21	1	0.01595471	0.00233041	0.00315562	0.00018352	0.03738154	0.00555991	0.07874894	0.03300721	20.3	1.2	16.07	2.3	0.0	0.0	20.3	1.2	6%	126%
C840 - 77	1	0.02157721	0.00351585	0.00316194	0.00019024	0.05106357	0.00862592	0.05410901	0.02205435	20.4	1.2	21.68	3.5	242.7	41.0	20.4	1.2	6%	94%
C840 - 54	1	0.01560856	0.00195996	0.00316518	0.00012877	0.03752292	0.00475361	0.06566991	0.02708868	20.4	0.8	15.73	2.0	0.0	0.0	20.4	0.8	4%	130%
C840 - 50	1	0.01826780	0.00411911	0.00317901	0.00025949	0.04478068	0.01051791	0.06299685	0.02467135	20.5	1.7	18.38	4.1	0.0	0.0	20.5	1.7	8%	111%
C840 - 66	1	0.02346557	0.00397775	0.00317970	0.00017032	0.05650247	0.01052628	0.04281848	0.01618056	20.5	1.1	23.55	4.0	471.2	87.8	20.5	1.1	5%	87%
C840 - 38	1	0.01560275	0.00265453	0.00319420	0.00020379	0.03843306	0.00671197	0.07677036	0.03036202	20.6	1.3	15.72	2.7	0.0	0.0	20.6	1.3	6%	131%
C840 - 2	1	0.01958120	0.00318984	0.00320697	0.00018213	0.04289377	0.00718425	0.05709527	0.02535061	20.6	1.2	19.69	3.2	0.0	0.0	20.6	1.2	6%	105%
C840 - 32	1	0.01446361	0.00301100	0.00321570	0.00025917	0.03386744	0.00724364	0.08607581	0.03577951	20.7	1.7	14.58	3.0	0.0	0.0	20.7	1.7	8%	142%
C840 - 41	1	0.01743629	0.00289236	0.00322279	0.00021157	0.04076418	0.00694904	0.07314817	0.03044608	20.7	1.4	17.55	2.9	0.0	0.0	20.7	1.4	7%	118%
C840 - 76	1	0.01860128	0.00274230	0.00322402	0.00023594	0.04302413	0.00649129	0.08603776	0.03634733	20.7	1.5	18.71	2.8	0.0	0.0	20.7	1.5	7%	111%
C840 - 15	1	0.01784139	0.00261208	0.00323430	0.00015337	0.04076064	0.00590204	0.05871719	0.02598662	20.8	1.0	17.96	2.6	0.0	0.0	20.8	1.0	5%	116%
C840 - 30	1	0.01368816	0.00258564	0.00323610	0.00018928	0.03317963	0.00641856	0.07320291	0.02948887	20.8	1.2	13.80	2.6	0.0	0.0	20.8	1.2	6%	151%
C840 - 87	1	0.01815178	0.00317707	0.00323679	0.00018973	0.04165771	0.00750407	0.05971984	0.02528416	20.8	1.2	18.27	3.2	0.0	0.0	20.8	1.2	6%	114%
C840 - 40	1	0.01733298	0.00225653	0.00324459	0.00018953	0.04185098	0.00553773	0.08399368	0.03422597	20.9	1.2	17.45	2.3	0.0	0.0	20.9	1.2	6%	120%
C840 - 26	1	0.02027838	0.00298493	0.00324532	0.00013959	0.04801168	0.00664940	0.04642918	0.02084218	20.9	0.9	20.38	3.0	98.8	13.7	20.9	0.9	4%	102%

concordancia entre 90 y 110% (N=25). A partir de su representación en los diagramas Wheterill y Tera-Wasserburg se obtuvo una edad de concordia de 19.4 ±0.2 (Fig. 2g y h).

## CONSIDERACIONES FINALES

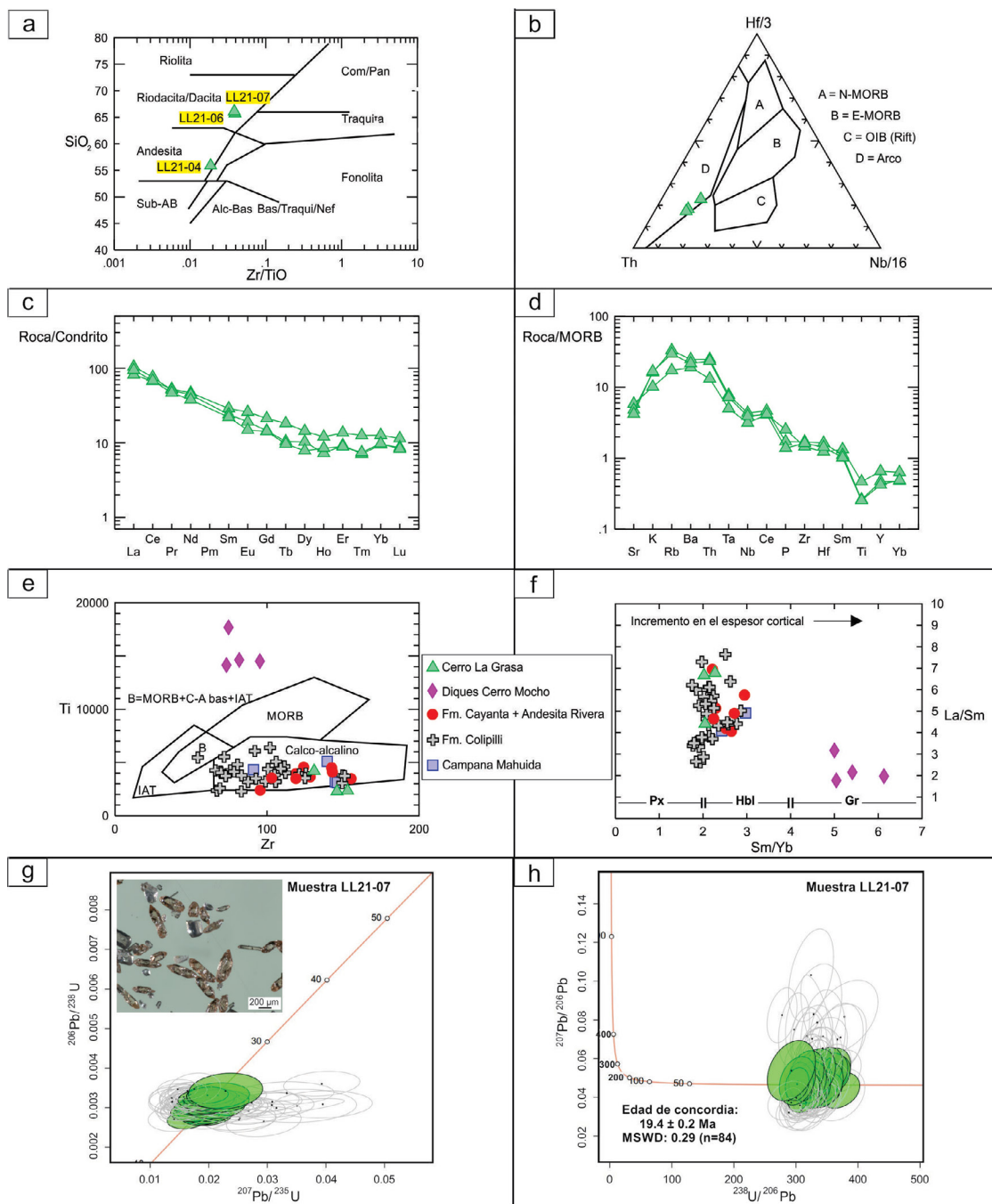
Hasta el momento, los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa eran asignados a la Formación Colipilli (Leanza et al. 2001), unidad compuesta por filones capa, lacolitos, stocks y diques. Este magmatismo se ubica a lo largo del cinturón andesítico Naunauco, de edad cretácica-paleógena (Llambías y Aragón 2011) y se distribuyen en diversas estructuras de las fajas plegadas y corridas de Chos Malal y del Agrio. Al norte del área de trabajo (Fig. 1b), el cuerpo subvolcánico del cerro Naunauco tiene una edad <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar de 65.5 ± 0.46 Ma, mientras que un filón capa de esta región fue datado <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar en 56.64 ± 0.44 Ma y una bomba volcánica en 72.83 ± 0.83 Ma de la región de Colipilli (Zamora Valcarce et al. 2006). Hacia el oeste de Naunauco, se encuentra el lacolito cerro El Diablo con una edad <sup>40</sup>K/<sup>40</sup>Ar de 48.4 ± 2.4 Ma que se emplaza en el núcleo de un anticlinal en las formaciones Vaca Muerta y Mulichinco (Llambías y Rapela 1989). Al sur de este lugar, se encuentra el cerro de Los Bueyes (Fig. 1b), con una edad <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar de 62.9 ± 0.3 Ma (Rodrigues et al. 2009). En el área de Pichaihue (al este de Colipilli), Aguirre Urreta et al. (2011) dataron tobas volcánicas intercaladas en los depósitos de la Caliza Pichaihue (Grupo Malargüe) obteniendo una edad correspondiente al Maastrichiano (64.3 ± 0.9 Ma, U-Pb SHRIMP).

Al suroeste de Colipilli afloran diques E-O con diversas longitudes definidos como Basalto Cerro Mocho (Fig. 1b), con edades <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar de 101.99 ± 0.69 Ma y 91.97 ± 4.08 Ma (Zamora Valcarce et al. 2006). Hacia el extremo sur del cinturón Naunauco, en el área de Campana Mahuida, Franchini et al. (2003) determinaron una edad <sup>40</sup>K/<sup>40</sup>Ar de 60.7 ± 1.9 Ma para los cuerpos ígneos distribuidos en esta región. Al noroeste del cerro La Grasa, se destacan numerosos cuerpos ígneos emplazados en la Formación Vaca Muerta. Estas rocas, datadas por Rodrigues et al. (2009), permiten diferenciar dos pulsos magmáticos, uno en el Cretácico-Paleoceno con edades de 60-68 Ma, y otro durante el Mioceno con edades de 19-20 Ma (Fig. 1b). La edad aportada en este trabajo, 19.4 Ma (Fig. 2a), permite diferenciar los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa del cinturón andesítico paleógeno Naunauco y vincularlos con el magmatismo de edad miocena registrado por Rodrigues et al. (2009) al noroeste del área de estudio.

Geoquímicamente, las muestras del cerro La Grasa presentan una composición andesítica-riodacítica con afinidad

CUADRO 3: Resultados de los análisis en circones.

C840 - 86	1	0.01759552	0.00277427	0.00326209	0.00021279	0.04133936	0.00667977	0.07669982	0.0318553	21.0	1.4	17.71	2.8	0.0	0.0	21.0	1.4	7%	119%
C840 - 69	1	0.01499865	0.00218516	0.00326322	0.00014809	0.03579299	0.00529604	0.06777032	0.02796221	21.0	1.0	15.12	2.2	0.0	0.0	21.0	1.0	5%	139%
C840 - 45	1	0.01574423	0.00273723	0.00326518	0.00021244	0.03696335	0.00668813	0.07761016	0.0322454	21.0	1.4	15.86	2.8	0.0	0.0	21.0	1.4	7%	132%
C840 - 56	1	0.02515738	0.00311785	0.00329521	0.00016094	0.05787313	0.00737356	0.05161926	0.02182677	21.2	1.0	25.23	3.1	524.0	66.8	21.2	1.0	5%	84%
C840 - 64	1	0.02157082	0.00356010	0.00330796	0.00021019	0.04849867	0.00827950	0.05903912	0.02538619	21.3	1.4	21.67	3.6	122.6	20.9	21.3	1.4	6%	98%
C840 - 70	1	0.01977973	0.00234752	0.00331219	0.00013743	0.04682510	0.00563289	0.05854381	0.02439831	21.3	0.9	19.89	2.4	39.2	4.7	21.3	0.9	4%	107%
C840 - 37	1	0.01689720	0.00286994	0.00332749	0.00019536	0.03961212	0.00691213	0.06807215	0.02826381	21.4	1.3	17.01	2.9	0.0	0.0	21.4	1.3	6%	126%
C840 - 35	1	0.03332335	0.00531920	0.00336737	0.00018841	0.07501009	0.01247813	0.03542	0.01509889	21.7	1.2	33.28	5.3	1067.9	177.6	21.7	1.2	6%	65%
C840 - 44	1	0.02286989	0.00418637	0.00341739	0.00029929	0.05378730	0.01029212	0.07149218	0.02907981	22.0	1.9	22.96	4.2	361.1	69.1	22.0	1.9	9%	96%
C840 - 57	1	0.01637367	0.00218487	0.00342174	0.00014346	0.03732216	0.00504161	0.06566163	0.02845559	22.0	0.9	16.49	2.2	0.0	0.0	22.0	0.9	4%	134%
C840 - 36	1	0.01472537	0.00226921	0.00346465	0.00016328	0.03216431	0.00502880	0.07195531	0.03246935	22.3	1.1	14.84	2.3	0.0	0.0	22.3	1.1	5%	150%
C840 - 43	1	0.01753335	0.002966510	0.00347084	0.00026605	0.03829586	0.00663719	0.08972731	0.04008476	22.3	1.7	17.65	3.0	0.0	0.0	22.3	1.7	8%	127%
C840 - 29	1	0.03929708	0.00430102	0.00360204	0.00020746	0.08243366	0.00938512	0.04823393	0.02210468	23.2	1.3	39.14	4.3	1255.0	142.9	23.2	1.3	6%	59%



**Figura 2:** a) Diagrama  $\text{SiO}_2$  vs.  $\text{Zr}/\text{TiO}$  de Winchester y Floyd (1977). b) Diagrama discriminador tectónico  $\text{Th}-\text{Hf}/3-\text{Nb}/16$  de Wood (1980). c) Diagrama de tierras raras (REE) normalizado a condrito (Sun y McDonough 1989). d) Diagrama multielemental normalizado a Basalto de Dorsal Centro Oceánica (MORB: Mid-ocean Ridge Basalt) según el orden y los factores de normalización de Pearce (1983). e) Diagrama  $\text{Ti} - \text{Zr}$  de Pearce y Cann (1973) donde se comparan todas las rocas de distintas composiciones y edades a lo largo de la faja corrida y plegada del Agrio. f) Diagrama  $\text{La}/\text{Sm} - \text{Sm}/\text{Yb}$  de Hildreth y Moorbath (1988), Px: piroxeno; Hbl: hornblenda; Gr: Granate. g) Diagramas Wetherill y h) Tera-Wasserburg para el análisis de circones de la muestra LL21-07. Los datos de los análisis geoquímicos fueron tomados de Franchini et al. (2003), Zamora Valcarce et al. (2006), Mateo Fernández Caso et al. (2011) y Salvioli et al. (2018).

calcoalcalina de arco. Con el fin de comparar estas rocas con el magmatismo a lo largo de la faja corrida y plegada del Agrio se utilizaron los diagramas discriminadores tectónicos de  $\text{Ti} - \text{Zr}$  (Pearce y Cann 1973) y  $\text{La}/\text{Sm} - \text{Sm}/\text{Yb}$  (Hildreth y Moorbath 1988) donde se muestran las rocas ígneas de regiones aledañas a la zona de estudio: Colipilli-Naunauco

(Zamora Valcarce 2007, Mateo Fernández et al. 2011, Salvioli et al. 2018), Campana Mahuida (Franchini et al. 2003), diques del Cerro Mocho (Zamora Valcarce et al. 2006) y las facies extrusivas como la Formación Cayanta (Zamora Valcarce et al. 2006) y Andesita Rivera (Mateo Fernández et al. 2011). En el diagrama discriminador tectónico  $\text{Ti} - \text{Zr}$  (Fig. 2e) se puede



apreciar que las muestras del cerro La Grasa presentan altas concentraciones de Zr y bajas de Ti similares a las rocas de Campana Mahuida y de las formaciones Colipilli y Cayanta-Andesita Rivera, con afinidad calcoalcalina. Por otro lado, los diques del cerro Mocho presentan altas concentraciones de Ti y bajas de Zr, diferenciándose tanto del magmatismo Cretácico - Paleógeno como del Mioceno. Asimismo, se utilizó el diagrama de Hildreth y Moorbath (1988) en el cual se grafica la relación La/Sm, indicativa de la pendiente de las tierras raras livianas, versus la relación Sm/Yb, que refleja la pendiente de las tierras raras pesadas. En este diagrama (Fig. 2f), se observa que los cuerpos ígneos del cerro La Grasa, Campana Mahuida, y las formaciones Colipilli y Cayanta habrían fraccionado principalmente anfíbol, y en menor medida piroxeno, como minerales residuales en la fuente en equilibrio con el fundido de acuerdo a sus bajas relaciones Sm/Yb. Los diques cerro Mocho muestran una alta relación Sm/Yb, lo cual estarían reflejando un origen profundo para estos magmas, con granate como fase residual en la fuente, mineral en la cual el Yb es altamente compatible (Zamora Valcarce 2007).

Para la región norte de la Cuenca Neuquina, Kay et al. (2006) identificaron dos sectores donde se desarrolló magmatismo durante el Mioceno temprano-medio: en la región del arco con las formaciones Trapa-Trapa y Cura Mallín, y hacia el retroarco, con las formaciones Molle, Pichi Tril y la Sierra de Huantraico. En el primer sector, las rocas de arco se caracterizan por las relaciones La/Ta (35-55), Ba/La (15-35) y Ta/Hf (0.9-0.11) (Kay et al. 2006). Por otro lado, en la región del retroarco, Kay y Copeland (2006) y Kay et al. (2006) establecen dos pulsos magmáticos durante el Mioceno temprano-medio en la Cuenca Neuquina. El primero de ellos, entre los 24-20 Ma., vinculado a un ambiente extensional de retroarco sin componentes de arco (La/Ta < 14; Ba/La < 16; Ta/Hf > 0.45), y el segundo, entre los 19-15 Ma., donde el magmatismo muestra tendencias de ambiente de arco en régimen compresivo (La/Ta 15-26, Ba/La 15-32, Ta/Hf 0.2-4.5). Las relaciones La/Ta (17-21), Ba/La (19), Ta/Hf (0.30-0.37) y bajo contenido de TiO<sub>2</sub> (0.3-0.7) de las rocas del cerro La Grasa se asemejan a esta última unidad en donde se observa una tendencia de magmatismo de arco.

El emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa a lo largo de un anticlinal, coincide con lo observado en otras áreas de la cuenca Neuquina. Repol et al (2002) interpretan que los lacolitos en la faja plegada y corrida del Agrio pueden desarrollarse preferentemente en los núcleos de los anticlinales por ser sectores de alivio tensional. En la faja plegada y corrida de Chos Malal, Gürer et al. (2015) obtuvieron una edad U-Pb en circones de aproximadamente 11.6

Ma para las rocas subvolcánicas del Cerro Negro, e interpretan un emplazamiento sintectónico controlado por estiramiento de la zona externa durante el desarrollo del anticlinal en el cual se alojan. La relación observada entre el anticlinal y los cuerpos subvolcánicos del cerro La Grasa, demuestra que el pliegue podría ser anterior o contemporáneo al magmatismo. Para corroborar alguna de estas dos propuestas se requieren estudios petrológicos y estructurales más detallados, lo cual a su vez permitiría conocer con más precisión la evolución tectono-magmática de este segmento de la faja plegada y corrida del Agrio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y al INGENIO - CONICET por el apoyo logístico y financiero. Este trabajo fue financiado con fondos de PUE CONICET, PGI SECYT-UNS y PICT de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Los autores agradecen a los revisores de la Revista de la Asociación Geológica Argentina por las correcciones y sugerencias que contribuyeron en mejorar este trabajo.

## TRABAJOS CITADOS

- Aguirre-Urreta, B., Tunik, M., Naipauer, M., Pazos, P., Ottone, E., Fanning, M., Ramos, V.A., 2011. Malargüe Group (Maastrichtian-Danian) deposits in the Neuquén Andes, Argentina: Implications for the onset of the first Atlantic transgression related to Western Gondwana breakup. *Gondwana Research*, 19(2):482-494.
- Arregui, C., Carbone, O. y Leanza, H. 2011. Contexto Tectosedimentario. En: Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J. (eds) *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, 18° Congreso Geológico Argentino, Estratigrafía 1: 29-36, Buenos Aires.
- Borghi, P., Fennell, L., Gómez Omil, R., Naipauer, M., Acevedo, E. y Folguera, A. 2019. The Neuquén group: the reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes (35–37°S). *Tectonophysics* 767, 177-228.
- Cobbald, P.R. y Rossello, E.A. 2003. Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin, Argentina. *Mar. Petrol. Geol.* 20, 429–443. [https://doi.org/10.4-8172\(03\)00077-1](https://doi.org/10.4-8172(03)00077-1).
- Franchini, M., López Escobar, L., Schalamuk, I. y Meinert, L. 2003. Magmatic characteristics of Paleocene Cerro Nevazón region and other Late Cretaceous to Early Tertiary calalkaline subvolcanic to plutonic units in the Neuquén Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 399-421.
- Groeber, P. 1929. Líneas fundamentales de la Geología del Neuquén,

- sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dirección General de Minas Geología e Hidrología, Boletín 18, serie B (Geología), Buenos Aires.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70. Hoja Chos Malal. Revista de la Asociación Geológica Argentina 1: 178-208. Buenos Aires.
- Gürer, D., Galland, O., Corfu, F., Leanza, H.A. and Sassier, C. 2015. Structure and evolution of volcanic plumbing systems in fold-and-thrust belts: A case study of the Cerro Negro de Tricao Malal, Neuquén Province, Argentina. Geological Society of America Bulletin 128: 315-331.
- Hildreth, W. y Moorbath, S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. Contributions to Mineralogy and Petrology 98: 455-489.
- Irastorza, A., Turienzo, M., Peralta, F., Irastorza, M., Zavala, C. y Sánchez, M. 2019. La estructura del frente de deformación de la faja plegada y corrida del Agrio a los 38°20'S, Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 76 (3): 213-228.
- Kay, S.M., y Copeland, P. 2006. Early to middle Miocene backarc magmas of the Neuquén Basin: Geochemical consequences of slab shallowing and the westward drift of South America. 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, p. 185-213.
- Kay, S.M., Burns, M., Copeland, P. y Mancilla, O. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. 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). Geological Society of America, Special Paper 407: p. 19-60.
- Leanza, H.A., Hugo, C.A., Repol, D., González, R. Danieli, J. y Lizuaín, A. 2001. Hoja Geológica 3969-I Zapala, Provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Boletín 275: 133 p.
- Leanza, H.A., Repol, D., Sruoga, P. y Salvarredy Aranguren, M. 2002. Nuevas unidades estratigráficas del Mesozoico y Cenozoico de la comarca de Huncal, provincia del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Actas 1: 619- 624. Buenos Aires.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V., Dimieri, L., 2015a. Geometría y cinemática de las estructuras tectónicas en el extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio, Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 72(3): 299-313.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V., D'Annunzio María Celeste, Dimieri, L., 2018. The structure of the northern Agrio fold and thrust belt (37°30'S), Neuquén Basin, Argentina. Andean Geology, 45 (2), 249-273.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Cristallini, E., Araujo, V., y Dimieri, L. 2020. Kinematics of a backthrust system in the Agrio fold and thrust belt, Argentina: Insights from structural analysis and analogue models. Journal of South American Earth Sciences; vol. 100.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W. 1989. Las vulcanitas de Colipilli, Neuquén, y su relación con otras unidades paleógenas de la Cordillera. Revista de la Asociación Geológica Argentina 44(1-4): 224-236. Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Aragón, E. 2011. Volcanismo Paleógeno. En Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J. (eds) Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén, 18° Congreso Geológico Argentino, Estratigrafía 23: 265-274, Buenos Aires.
- Mateo Fernández Caso, M.P., Montero, D., Leal, P.R. y Ramos, A.V. 2011. Petrografía y geoquímica del magmatismo cretácico superior-eoceno en el área de Pichaihue, provincia de Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 68: 173-184.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En: Thorpe, R.S. (ed.), Andesites. EDITORIAL, 525-548, Chichester.
- Pearce, J.A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En Hawkesworth, C.J. y Norry, M.J. (eds.) Continental Basalts and Mantle Xenoliths: Cheshire, Shiva Publishing Co., 230-250.
- Pearce, J.A., y Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Science Letter 19: 290-300.
- Ramos, V.A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En: Veiga, G.D., Spalletti, L.A., Howell, J.A., Schwarz, E. (Eds.), The Neuquén Basin: A Case Study in tectonics and Basin Dynamics, vol. 252. Geol Soc London, Specialion, pp. 15-35.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, 4: 458-488.
- Rodrigues, N., Cobbold, P., Loseth, H. y Ruffet, G. R. 2009. Widespread bedding-parallel veins of fibrous calcite ('beef') in a mature source rock (Vaca Muerta Fm, Neuquén Basin, Argentina): evidence for overpressure and horizontal compression. Journal of the Geological Society, 166 (4): 695.
- Repol, D., Leanza, H.A., Sruoga, P. y Hugo, C.A. 2002. Evolución tectónica del Cenozoico de la comarca de Chorriaca, Provincia del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas en CD. El Calafate.
- Rojas Vera, E., Mescua, J., Folguera, A., Becker, T.P., Sagripanti, L., Fennell, L., Orts, D. y Ramos, V.A. 2015. Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquén: Insights from structural analysis and apatite fission track dating, Journal of South American Earth Sciences 64: 418-433.
- Salvioli, M., Lanfranchini, M., Recio, C. y de Barrio, R. 2018. El magmatismo cretácico-terciario y su relación con sistemas hidrotermales polimetálicos en la región de Colipilli-Naunauco, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica de Argentina 75 (1): 46-63.
- Sánchez, N., Turienzo, M., Lebinson, F., Araujo, V., Coutand, I. y Dimieri,

- L. 2015. Structural style of the Chos Malal fold and thrust belt, Neuquén basin, Argentina: Relationship between thick- and thin-skinned tectonics. *Journal of South American Earth Sciences* 64: 399-417.
- Sun, S.S. y McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. y Norry, M.J. (eds.) *Magmatism in ocean basins*. Geological Society of London 42: 313-345. Londres.
- Turienzo, M., Sánchez, N., Lebinson, F., Starck, D., Araujo, V., Irastorza, A., Peralta, F. y Dimieri, L. 2022. Análisis estructural del frente de deformación en el segmento norte de la faja plegada y corrida del Agrio (37°40'S - 70°O), Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 79 (2), 349-380.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Weisink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402.
- Winchester J. A. y Floyd P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Zamora Valcarce, G. 2007. Estructura y cinemática de la faja plegada del Agrio. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédito), 304 p., Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Delpino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. En Kay, S.M. y Ramos, V.A. *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: 125-145. Nueva York.
- Zapata, T., Brissón, I., y Dzelalija, F. 1999. La estructura de la faja corrida y plegada andina en relación con el control del basamento de la Cuenca Neuquina. *Boletín de Informaciones Petroleras* 60: 113-121.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 143: 91 p. Buenos Aires.