

Geología y geofísica del cuerpo máfico-ultramáfico Las Cañas, Provincia de San Luis

Ariel ORTIZ SUÁREZ¹, Augusto MOROSINI¹, Humberto ULACCO¹ y Andrés CARUGNO DURÁN¹

Resumen: El cuerpo de las Cañas se ubica al NE de la provincia de San Luis, es un intrusivo de forma alargada y concordante según la estructura de la roca de caja. Su tamaño alcanza 800 metros de ancho por 2 kilómetros de largo. Se aloja en esquistos pertenecientes al Complejo Metamórfico Las Aguadas (Complejo Metamórfico Conlara) de esquistosidad de rumbo regional N 20 a 30° E y buzamiento de alto ángulo al este.

La roca predominante es un gabro que muestra estratificación magmática, reconociéndose sectores ultramáficos de hasta 50 metros de diámetro, que en partes son hornblenditas piroxénicas formadas por cristales poiquilíticos de anfíbol con inclusiones de clinopiroxeno, olivino alterado y minerales opacos. Estas rocas muestran alteración y mineralización de Ni, Cr, Fe, Zn y elementos del grupo del platino.

El relevamiento geomagnético terrestre revela una anomalía en la zona mineralizada coincidente con los sectores ultramáficos, con picos positivos y negativos de 1.955 y -480 nT próximos entre sí. Contrastes de aproximadamente 500 nT de amplitud caracterizan al cuerpo ígneo sin mineralización, mientras que las rocas metamórficas de la caja raramente superan los 100 nT de amplitud.

Las características geoquímicas indican que el cuerpo de Las Cañas está formado por dos grupos de rocas, unas con altos valores de MgO y otras predominantemente toleíticas, en el primer caso poseen valores máximos entre 2 y 22 ppb de Pt o Pd.

Abstract: *GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF THE LAS CAÑAS MAFIC-ULTRAMAFIC STOCK, SAN LUIS PROVINCE.* Las Cañas is an elongated stock located to the NE of San Luis province. Its structure is concordant with that of the country rock and has a size of 800 m wide by 2 km long, located in schists belonging to the Las Aguadas Metamorphic Complex (Conlara Metamorphic Complex) with N 20° - 30° schistosity and an eastward high angle dip.

The predominant facies is a gabbro that shows magmatic stratification and contains ultramafic sectors of up to 50 m in diameter; in some cases the rock is a pyroxenic hornblendite formed by poikilitic amphibole crystals with inclusions of clinopyroxene, altered olivine and opaque minerals. These rocks show alteration and mineralization of Ni, Cr, Fe, Zn and platinum group elements.

The geomagnetic terrestrial survey reveals an anomaly in the mineralized zone that coincides with the ultramafic rocks, with positive and negative peaks of 1955 and -480 nT that are close to each other. Contrasts of approximately 500 nT amplitude characterize the igneous body without mineralization, whereas the metamorphic host rocks rarely exceed 100 nT.

The geochemical features indicate that the Las Cañas body is formed by two groups of rocks, one with high values of MgO and the other predominantly tholeiitic, with the former case possessing between 2 and 22 ppb of Pt or Pd.

Palabras clave: Complejos máficos-ultramáficos, Complejo Metamórfico Conlara, magnetometría, MGP.

Key words: Mafic-ultramafic complexes, Conlara Metamorphic Complex, magnetometry, PGM.

Introducción

El cuerpo de Las Cañas se ubica en la provincia de San Luis, al NE de la ciudad capital y 23 km al O de la localidad de Concarán (*Figura 1A*). Dicho cuerpo se encuentra fuera de las fajas máficas – ultramáficas conocidas en la sierra de San Luis y ha sido poco estudiado

¹ Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis. E-mail: aortiz@unsl.edu.ar.

hasta el momento. El objetivo del presente trabajo está orientado a dar a conocer las principales características geológicas y geofísicas, así como analizar, de manera preliminar, su composición geoquímica.

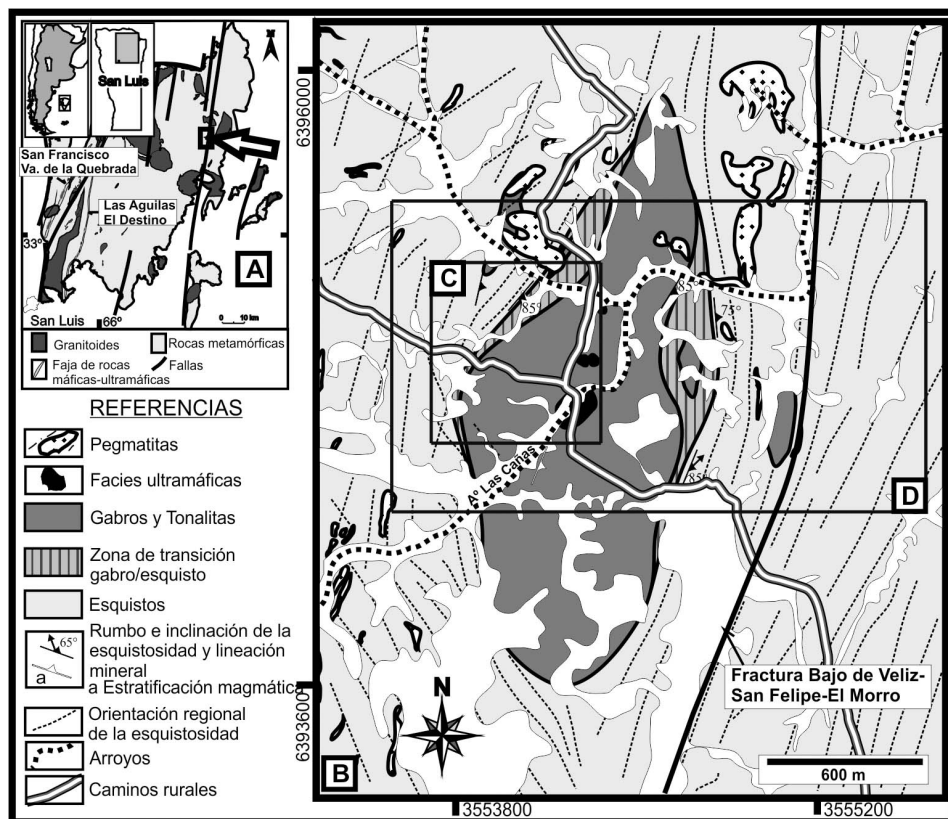


Figura 1. A. Mapa de ubicación del área estudiada. B. Mapa geológico del Plutón Las Cañas. C. Sector donde se realizó el muestreo para análisis químicos (Figura 6). D. Sector relevado con magnetometría (Figura 7A).

Las rocas máficas – ultramáficas constituyen un importante elemento para analizar los procesos ocurridos en la corteza y son herramientas útiles para determinar los ambientes tectónicos pasados. En la sierra de San Luis se han reconocido y descrito una serie de cuerpos de naturaleza máfica - ultramáfica, que originalmente se agruparon en dos fajas, una oriental y otra occidental (Kilmurray y Villar, 1981). La primera, denominada Las Águilas – El Destino (Figura 1A), está integrada por pequeños cuerpos de noritas y gabros, con diferenciados de piroxenitas y dunitas, que muestran una compleja historia (González Bonorino, 1961; Sabalúa *et al.*, 1981; Malvicini y Brogioni, 1993; Brogioni, 1994, 2001a y b; Brogioni y Ribot, 1994; Felfernig *et al.*, 1997; Ferracutti y Bjerg, 2001; Ferracutti *et al.*, 2006, 2007; Cruciani *et al.*, 2008, 2011). La edad de la intrusión de las rocas que conforman la faja oriental estaría comprendida entre el Cámbrico y Ordovícico, de acuerdo a determinaciones realizadas por Sims *et al.* (1998) y Steenken *et al.* (2006).

La faja occidental, denominada por González *et al.* (2002) San Francisco – Villa de la Quebrada (Figura 1A), está integrada por anfibolitas ortoderivadas, con protolitos basálticos y komatiíticos (Merodio *et al.*, 1978; Ortiz Suárez, 1999; González *et al.*, 2002). La posible

edad del magmatismo que dio origen a estas rocas se ha atribuido al mesoproterozoico (en torno a los 1.500 Ma) por Sato *et al.* (2001).

Por otra parte, es posible reconocer en los complejos metamórficos, con relativa frecuencia, cuerpos de anfibolitas que en la mayoría de los casos derivan de rocas ígneas pre-metamórficas cuyas edades y características no son bien conocidas (Ortiz Suárez, 1999; Delakowitz *et al.*, 1991).

Contexto geológico

La región estudiada se inscribe en el complejo Conlara (Sims *et al.*, 1997), que si bien fue definido para la zona sur de la sierra de San Luis posteriores trabajos lo han extendido a toda la región norte (Sato *et al.*, 2003). Dicho complejo está formado por esquistos, gneises, migmatitas, anfibolitas y mármoles cuya evolución ha sido atribuida a la orogenia Pampeana (Steenken *et al.*, 2005; Martino *et al.*, 2009).

La roca de caja del cuerpo de Las Cañas la constituyen esquistos cuarzo biotíticos pertenecientes al Complejo Metamórfico Las Aguadas, interpretado como producto de un metamorfismo de baja presión (Ortiz Suárez, 1988), y que corresponde a las zonas de medio grado metamórfico del Complejo Metamórfico Conlara. Dichas metamorfitas muestran una marcada esquistosidad de rumbo variable entre N 20 a 30° y 385°, el buzamiento es de alto ángulo, mayor de 65°, predominantemente al este, y la lineación mineral inclina hacia el NE o NO con ángulos entre 50 y 60°. Se reconocen pliegues sinquistosos de varias generaciones y pliegues locales que afectan la esquistosidad con planos axiales al NO. Numerosas pegmatitas intruyen a las rocas metamórficas y en menor medida a las rocas ígneas de Las Cañas. También es posible encontrar en la región rocas pertenecientes al Complejo Intrusivo Rodeo Viejo (Ortiz Suárez, 1996) y granitos como El Peñón (Llaneza y Ortiz Suárez, 2000; Steenken *et al.*, 2005) o Los Alanices (Ulacco y Ramos, 2001; López de Luchi *et al.*, 2011). Asimismo, se encuentran diques de lamprófidos y basaltos (Ortiz Suárez, 1996; Orozco y Ortiz Suárez, 2005) y mineralizaciones de W, V y Pb – Zn (Brodtkorb y Ametrano, 1981; Ulacco, 1997).

Metodología e instrumental empleado

Las actividades desarrolladas en el presente estudio consistieron en trabajos de campo, dirigidos a cartografiar y muestrear las unidades litológicas reconocidas, que permitieron la elaboración del mapa geológico (*Figura 1B*). Asimismo, en las campañas se efectuó el relevamiento magnetométrico del área estudiada.

Durante el análisis petrográfico de rutina se seleccionaron muestras para la determinación química en algunos minerales, particularmente plagioclasa y anfíbol. Este estudio se efectuó con un microscopio electrónico del LABMEN de la Universidad Nacional de San Luis, equipado con espectrómetros EDS y WDS, trabajando con un ancho de haz 5 micrones y una potencia de 20kV. Los patrones utilizados corresponden a minerales naturales (almandino, plagioclasa, sanidina, piropo, albita, rutilo y rodonita).

Por otra parte, la Empresa Río Tinto Argentina realizó una serie de análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas, en un área de aproximadamente 0,5 km² ubicada en la parte

central del cuerpo (*Figura 1C*). Los datos obtenidos permitieron realizar una caracterización geoquímica preliminar debido a la alteración presente y al tipo de elementos determinados. Los análisis fueron efectuados en los laboratorios Alex Stewart por Espectrofotometría de Emisión por Plasma de Argón (ICP).

El relevamiento geomagnético terrestre se realizó mediante un Magnetómetro de Precesión Nuclear Geometrics G-856, con una distribución y espaciado irregular entre mediciones, y cubriendo un área menor a los 2 km² que abarca la zona central del cuerpo intrusivo (*Figura 1D*). Se realizó la corrección por variación diurna mediante mediciones a diferentes intervalos de tiempo en una estación de base. Se determinaron los valores anómalos mediante la comparación con el "IGRF" (International Geomagnetic Reference Field) y se confeccionaron mapas de anomalía de Intensidad Total de Campo Magnético Terrestre (F) mediante software específico.

El Plutón Las Cañas

GEOLOGÍA. Se trata de un pequeño intrusivo de forma lenticular que se dispone de manera concordante con la estructura de las rocas metamórficas. Sus contactos son netos e interdigitados (*Figura 2A y B*), dando lugar a una zona de unos 200 metros de ancho donde se intercalan las rocas ígneas con las rocas de caja (*Figura 1B*). Alcanza un tamaño de 800 metros de ancho por 2 kilómetros de largo. Hacia el norte y sur se reconocen otros afloramientos de rocas similares. Prácticamente no se observan fenómenos de metamorfismo de contacto, solo se reconoce una leve recrystalización de micas sin orientación en las rocas metamórficas próximas al contacto.

El cuerpo de Las Cañas se localiza en el lado oeste de una fractura de importancia regional denominada Bajo de Véliz-San Felipe-El Morro (Criado Roque *et al.*, 1981), que posee un rumbo casi N-S y se extiende por más de 50 km (*Figura 1A y B*). Está formado por tres facies: tonalítica, máfica y ultramáfica. La primera facies se ubica en áreas marginales, la segunda es la predominante, mientras que las facies ultramáficas se encuentran en pequeños afloramientos ubicados en la parte centro-oriental del cuerpo intrusivo y cuyas dimensiones individuales no superan los 50 metros de diámetro. El paso entre la facies tonalítica y máfica es de tipo transicional, lo que dificulta su diferenciación en la cartografía, mientras que entre ésta última y la ultramáfica es neto, y en ocasiones se reconocen enclaves decimétricos de hornblendita dentro de los gabros. En las facies tonalítica y máfica se observan variaciones de tamaño de grano o pequeños diques de una unidad en la otra (*Figura 2C*), así como foliación magmática (*Figura 2D*) y tectónica. Son frecuentes también venillas de cuarzo, epidoto y turmalina, y enclaves de rocas metamórficas.

PETROGRAFÍA. Las facies tonalíticas son rocas de grano medio, aunque localmente se reconoce una textura más fina. Están formadas por abundante plagioclasa, algunas con alteración parcial a sericita y núcleos zonados y deshomogenizados. El cuarzo muestra subgrano o está parcialmente recrystalizado. La biotita se encuentra algo alterada a clorita. Es común la presencia de epidoto y minerales opacos. La composición modal de estas rocas se puede ver en la Tabla 1.

Las *facies máficas* son modalmente gabros a gabros cuarzosos de grano medio (*Tabla 1*). En algunos casos estas rocas tienen una cierta orientación mineralógica magmática, particularmente marcada por los anfíboles y biotitas. La plagioclasa está parcialmente alterada a muscovita y epidoto y en ciertas ocasiones muestra maclas algo curvadas. Los

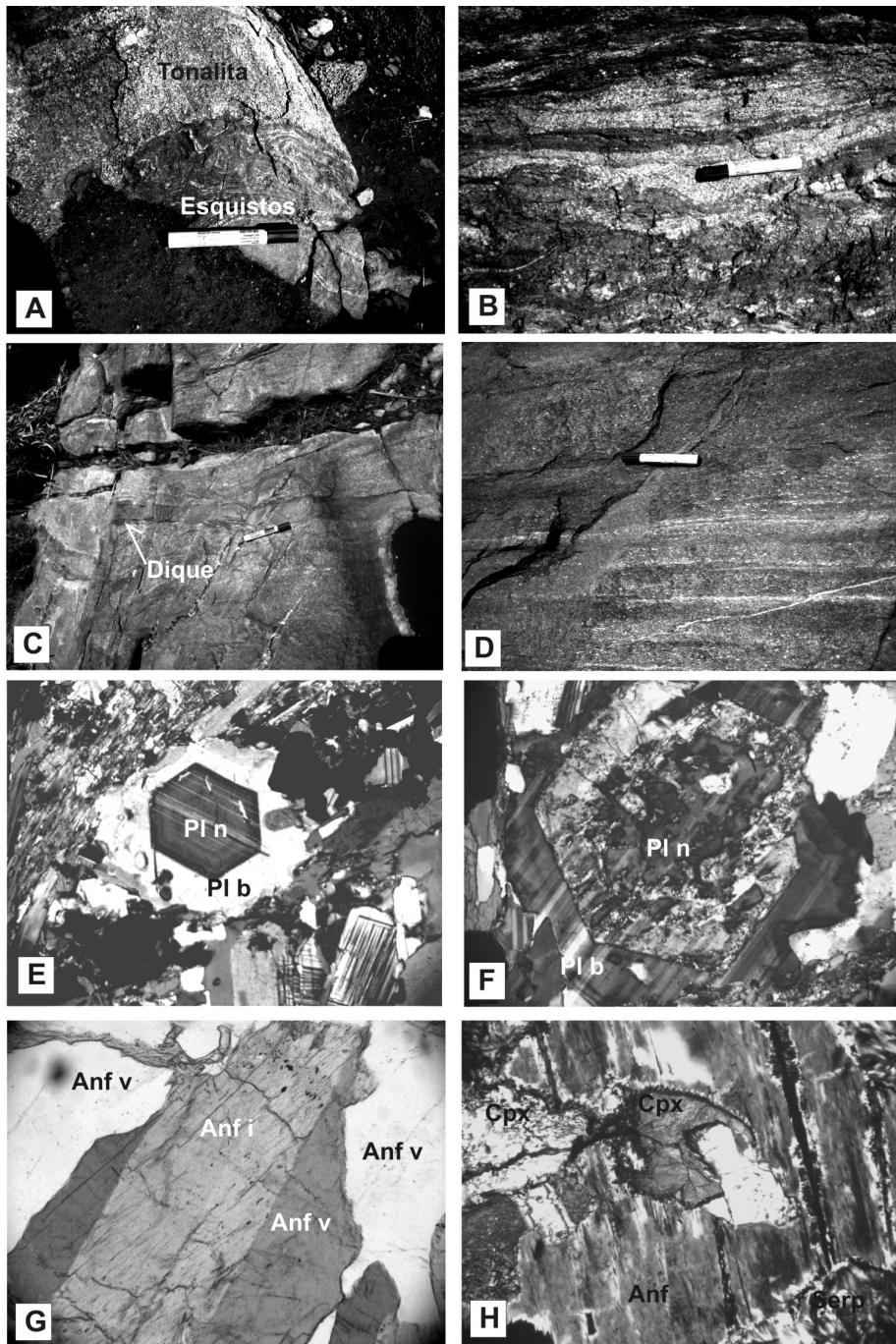


Figura 2. A. Contacto de tonalitas y esquistos replegados en el borde del cuerpo. B. Interdigitación entre tonalitas y esquistos. C. Diques de dioritas de grano fino. D. Estratificación magmática en la facies máfica. E. Microfotografías de dioritas mostrando plagioclasas con núcleos euhedrales. F. Ídem a la anterior con núcleos parcialmente reabsorbidos. G. Microfotografías de anfíboles verdes e incoloros en gabros. H. Microfotografías de hornblenditas piroxénicas con inclusiones de clinopiroxeno y de un mineral serpentizado (abreviaturas de Kretz, 1983).

Muestra	Pl	Am	Cpx	Bt	Qtz	Ep	Ms	Ap	Op	Chl	Srp	Roca
01/05/2001	41,3	17,1	--	15,4	10,9	4,5	1,5	0,5	3,5	5,2	--	Tonalita
05/05/2001	48,4	20,1	--	8,2	6,7	6,1	--	1,9	4,9	3,3	--	Gabro cuarzoso
09/05/2001	2,3	48,1	17,7	--	--	--	0,3	0,1	5,3	--	26,1	Ultramáfica
10/05/2001	46,9	30,5	--	--	--	13,9	3,3	0,1	1,1	4,1	--	Gabro

Tabla 1. Análisis modal de rocas de Las Cañas.

cristales poseen núcleos cálcicos (An 91) euhedrales (*Figura 2E y F*), a veces reabsorbidos o deshomogenizados, rodeados por una zona más sódica (An 86), homogénea y anhedral; los bordes más externos llegan a An 68 (las determinaciones composicionales de las plagioclasas se han realizado con microscopio electrónico y los datos obtenidos se muestran en la *Tabla 2*). La existencia de zonaciones como las que se observan, con núcleos euhedrales y homogéneos y el paso de manera brusca a bordes más sódicos, se puede interpretar como generada por una mezcla de magmas (Vernon, 2004). El anfíbol forma cristales subhedrales largos y presenta pleocroísmo en tonos de verde con zonas incoloras (*Figura 2G*). Los análisis químicos realizados indican una composición correspondiente a pargasita y tschermakita (*Tabla 2*), de acuerdo a la clasificación de Leake *et al.* (1997). El cuarzo es escaso o puede faltar, es intersticial, tiene extinción ondulosa y en algunos casos desarrolla subgrano. La biotita es pleocroica de color castaño a verde, en partes está alterada a clorita y algunos cristales están curvados. También hay epidoto, clorita, minerales opacos y apatito, y bandas de deformación de grano más fino y compuestas por plagioclasa, muscovita secundaria, minerales opacos, biotita verde, clorita y cuarzo poligonal. En ciertos sectores se puede reconocer estratificación magmática de orientación N 20° E con buzamiento de alto ángulo al E (*Figura 2D*), es decir paralela a las estructuras regionales.

Las *facies ultramáficas* muestran abundantes minerales secundarios, las rocas menos

M 10-5-01	SiO2	TiO2	Al2O3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Total		
1 Pl (zona externa)	45,75	0	35,35	0,02	0	0	17,3	1,48	0,01	99,92		
2 Pl (núcleo)	46,23	0	36,23	0,03	0	0	17,77	0,97	0,01	101,25		
7 Pl (borde z. externa)	68,22	0	26,32	0,05	0	0	6,14	1,56	0,05	102,35		
4 Anfíbol	44,56	0,97	14,71	12,86	0,16	12,57	12,27	1,23	0,35	99,66		
5 Anfíbol	43,38	1,6	13,31	12,81	0,15	11,88	12,36	1,75	0,65	97,88		
Plagioclasa 8 ox	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	An	Ab	Or
1	2,02	0	2	0	0	0	0,89	0,14	0	86,54	13,4	0,06
2	2,01	0	2,02	0	0	0	0,9	0,09	0	90,95	8,98	0,06
7	2,78	0	1,38	0	0	0	0,29	0,13	0	68,05	31,29	0,66
Anfíbol 23 ox	Si	Al (IV)	Al (VI)	Fe +3	Ti	Cr	Fe +2	Mn	Mg	Ca	Na	K
4	6,28	1,72	0,72	0,69	0,1	0	0,83	0,02	2,64	1,85	0,34	0,06
5	6,35	1,65	0,65	0,16	0,18	0	1,41	0,02	2,59	1,94	0,5	0,12

Tabla 2. Análisis químicos y fórmulas estructurales de plagioclasa y anfíbol de un gabro de Las Cañas.

alteradas están formadas por grandes cristales poiquilíticos de anfíbol incoloro a verde pálido o amarillo claro verdoso, con inclusiones de clinopiroxeno, probable olivino alterado y de minerales totalmente reemplazados por un agregado de serpentina y minerales opacos, que en algunos casos aún preservan las formas tabulares o redondeadas (*Figura 2H*). Generalmente el piroxeno está reemplazado en forma parcial por anfíbol. También se reconoce muy escasa plagioclasa, subhedral, parcial a totalmente alterada a sericita. Los minerales no poseen orientación y estas rocas suelen mostrar una importante alteración que da lugar a clorita, mica

incolora y serpentina. Se observan pocos minerales opacos y manchas de óxidos amarillentas. La importante alteración que presenta esta facies dificulta su clasificación, que en las rocas menos alteradas corresponde a hornblenditas piroxénicas.

La facies ultramáfica ubicada en el centro del cuerpo presenta mineralizaciones diseminadas de esperrilita, pirrotina, calcopirita, bravoita, pentlandita y esfalerita, como así también magnetita, cromita, ferricromita y espinelo de Cr y Al (Ortiz Suárez *et al.*, 2001).

GEOQUÍMICA. El análisis geoquímico preliminar, basados en los datos analíticos que se muestran en la *Tabla 3*, indica que el cuerpo de Las Cañas está formado por dos grupos de rocas (*Figura 3*). Una de ellas, que corresponde a la facies ultramáfica, se caracteriza por un alto contenido de MgO (valores entre 23 y casi 28%; *Tabla 3*), son rocas con Ni entre 638 y 1065 ppm, Cr entre 895 y 1480 ppm, Co de 80 a 102 ppm, relaciones Ni/Cu de 4,3 a 40,2 y MgO/(MgO+FeO) alrededor de 0,70. Estas rocas poseen valores máximos que llegan a 22 ppb de Pd y 21 ppb de Pt, y bajo contenido de TiO₂ (menor a 0,41%). Algunas de estas características (alto MnO y bajo TiO₂) las asemejan a magmas boniníticos (*Figura 4A*). Por otra parte, se observan rocas máficas que se ubican más claramente en el campo tholeítico o de basaltos MORB (*Figura 4A y B*); poseen menores valores de MgO, MgO/(MgO+FeO) predominantemente entre 0,20 y 0,30, aunque en algunos casos alcanza 0,60, y TiO₂ entre 1,2 y 1,7% en la mayoría de las muestras (*Tabla 3*).

Elementos	Unidades	102	111	99	103	105	110	112	114	115
Al ₂ O ₃	%	16,27	12,21	16,35	17,00	16,94	15,81	19,62	17,37	17,13
CaO	%	5,31	10,08	7,45	6,44	7,73	9,21	10,02	9,81	8,02
FeO	%	7,00	8,43	11,15	6,88	8,95	14,73	11,51	14,60	13,83
MgO	%	10,97	12,00	4,70	3,50	4,05	6,50	4,12	5,85	4,82
Na ₂ O	%	2,30	1,09	1,90	1,24	1,87	1,17	1,73	1,06	1,70
K ₂ O	%	1,26	0,36	1,92	0,02	1,36	0,17	0,41	0,35	0,91
TiO ₂	%	0,17	0,57	1,40	0,83	1,02	1,49	1,23	1,57	1,59
MnO	%	0,12	0,15	0,12	0,07	0,14	0,12	0,13	0,12	0,14
P ₂ O ₅	%	0,06	0,06	0,06	0,92	0,32	0,03	0,39	0,04	0,06
Mn	ppm	944	1170	923	527	1025	943	959	876	1065
As	ppm	<5	<5	<5	8	<5	<5	<5	<5	<5
Ba	ppm	160	60	190	20	220	30	110	80	130
Be	ppm	0,70	0,50	1,60	3,50	1,10	0,50	0,80	0,70	0,80
Bi	ppm	<2	2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2
Cd	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Co	ppm	43	47	32	28	23	71	30	69	51
Cr	ppm	300	551	19	12	27	22	12	21	33
Cu	ppm	73	89	43	15	56	277	49	219	69
Mo	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ni	ppm	194	249	10	23	21	64	7	42	16
Pb	ppm	10	3	6	9	10	4	6	2	7
S	%	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04	0,27	0,02	0,30	0,17
Sb	ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sr	ppm	406	110	179	324	328	166	333	190	223
V	ppm	107	267	346	303	162	1230	257	963	551
W	ppm	<10	<10	<10	20	<10	<10	<10	10	<10
Zn	ppm	77	67	100	97	114	102	102	102	120
Au	ppb	<1	<1	<1	<1	<1	3	<1	<1	<1
Pt	ppb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Pd	ppb	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ag	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Roca		Tonalita	Tonalita	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	Gabro

Tabla 3. Análisis químicos de rocas de Las Cañas.

Elementos	Unidades	116	117	118	119	104	106	107	108	113
Al ₂ O ₃	%	17,75	17,17	17,33	17,58	6,19	5,92	5,15	5,85	6,29
CaO	%	8,86	9,56	9,44	6,38	2,06	2,55	2,24	7,55	7,84
FeO	%	14,99	14,99	16,72	5,60	10,29	11,00	10,16	9,42	9,74
MgO	%	4,58	6,55	6,05	1,70	25,58	27,17	26,17	23,08	24,50
Na ₂ O	%	1,36	1,19	1,17	3,23	0,04	0,07	0,05	0,61	0,55
K ₂ O	%	0,34	0,24	0,51	1,13	0,02	0,02	0,04	0,18	0,17
TiO ₂	%	1,57	1,59	1,76	0,71	0,31	0,41	0,31	0,28	0,29
MnO	%	0,15	0,13	0,13	0,08	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16
P ₂ O ₅	%	0,05	0,03	0,06	0,45	0,10	0,04	0,04	0,03	0,04
Mn	ppm	1115	1005	1015	573	1155	1155	1075	1155	1175
As	ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5
Ba	ppm	60	50	100	320	10	20	20	60	30
Be	ppm	0,60	<0,5	0,70	1,50	0,60	0,50	<0,5	<0,5	<0,5
Bi	ppm	<2	<2	<2	<2	4	<2	2	2	<2
Cd	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Co	ppm	55	69	78	15	99	97	95	80	84
Cr	ppm	32	15	7	11	895	1060	1035	1170	1110
Cu	ppm	96	160	208	43	41	30	26	131	125
Mo	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ni	ppm	15	14	23	9	1005	1065	1045	578	638
Pb	ppm	6	6	4	18	3	<2	7	<2	2
S	%	0,11	0,31	0,06	0,01	0,08	<0,01	0,01	0,05	0,01
Sb	ppm	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sr	ppm	241	178	194	356	30	22	18	57	55
V	ppm	607	941	1175	144	81	134	100	165	165
W	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn	ppm	128	110	115	71	92	96	92	64	66
Au	ppb	<1	5	2	<1	<1	<1	<1	<1	3
Pt	ppb	<5	<5	<5	<5	<5	7	21	18	14
Pd	ppb	1	<1	<1	<1	2	10	9	14	10
Ag	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Roca		Gabro	Gabro	Gabro	Gabro	UM	UM	UM	UM	UM

Tabla 3. Continuación.

En diagramas de discriminación tectónica, las rocas analizadas de Las Cañas se ubican en los campos de arco magmático y de fondo oceánico (*Figura 4C*).

Comparando las litologías estudiadas con otras rocas máficas-ultramáficas de la sierra de San Luis, se observa que la facies ultramáfica posee características geoquímicas similares a las reconocidas para La Melada o Las Aguilas (*Figura 5*), Brogioni y Ribot, 1994; Ferracutti *et al.*, 2007), mientras que las otras facies se alejan de los campos definidos por estas rocas.

De acuerdo a lo que se observa en la disposición de los elementos analizados en el terreno, existe una marcada correlación entre las facies ultramáfica y los valores más altos de Mg, Cr, Pt, Pd y Ni, y algo menos clara con Ni y Co (*Figura 6*). Por otra parte, se observa cierta influencia en la distribución de Al₂O₃, Na₂O, Ba, Sr y Be hacia el Sur de la zona estudiada, que coincide con pegmatitas, vetas y venillas de cuarzo acompañadas de sulfuros, epidoto y turmalina, las que probablemente han producido un incremento de los tenores de K₂O, conjuntamente con los de Pb y Sb (*Figura 6*).

MAGNETOMETRÍA. Los datos del relevamiento magnetométrico, que corresponden a un total de 180 mediciones (*Figura 7A*), fueron analizados considerando los resultados obtenidos de anomalías geomagnéticas, es decir, sobre los valores que dan respuesta a las perturbaciones locales que sufre el Campo Magnético Terrestre, inducidas por las distintas

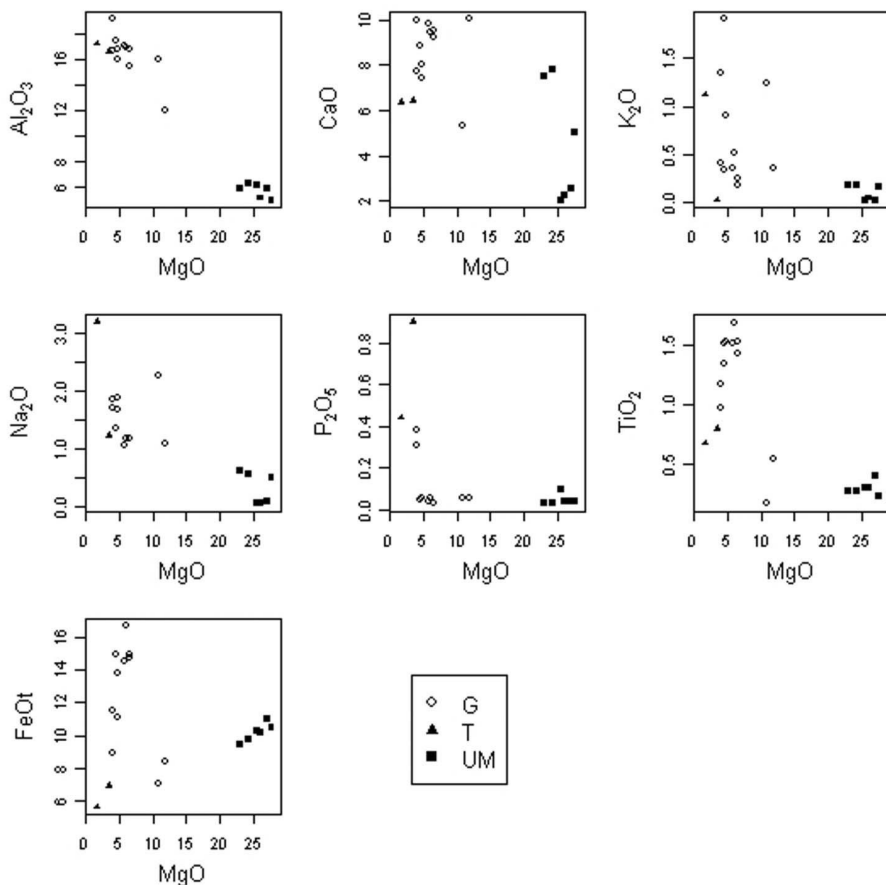


Figura 3. Diagramas de variación de óxidos de las rocas de Las Cañas. G: Gabros, T: tonalitas y UM: rocas ultramáficas.

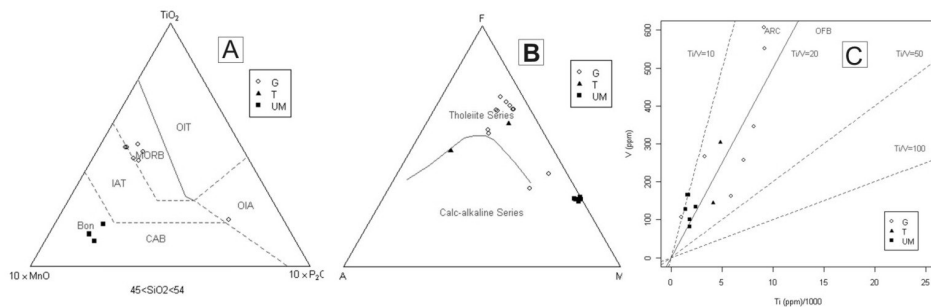


Figura 4. Diagramas de clasificación de las rocas de Las Cañas: A, Mullen (1983), B AFM de Irvine y Barager (1971) y C, Shervais (1982). G, T y UM ídem a Figura 4. OIT: Tholeiitas de islas oceánicas, MORB: Basaltos de dorsal centro oceánica, IAT: Tholeiitas de arcos de islas, Bon: Boninitas, CAB: Basaltos de arcos continentales. ARC: Tholeiitas de arco, OFB: Basaltos de fondo oceánico.

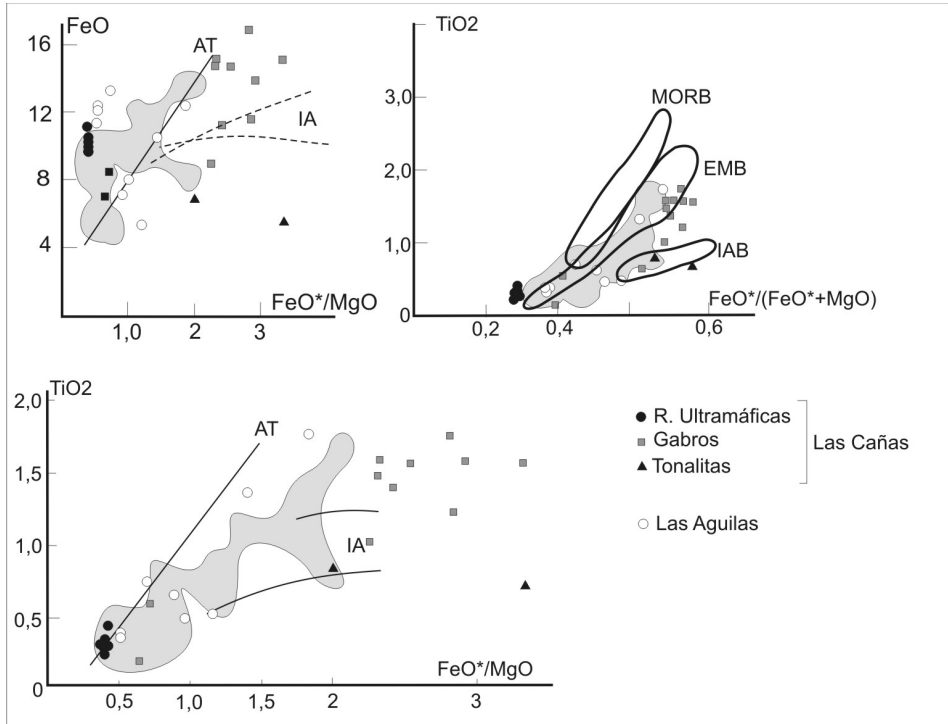


Figura 5. A, B y C. Diagramas FeO* (hierro total) vs FeO/MgO, Ti2O vs Fe*/(FeO*+MgO) y Ti2O vs Fe*/Mg, tomados de Miyashiro (1974), de las rocas de Las Cañas (cuadrados grises gabros, triángulos negros tonalitas y círculos negros rocas ultramáficas). Rocas de La Melada y La Gruta (nube gris, de Brogioni y Ribot 1994) y Las Aguilas (círculos blancos, de Ferracuti et al., 2007). AT: Tholeiitas abisales, IA: Tholeiitas de arcos de islas, MORB: Tholeiitas abisales, EMB: Tholeiitas de cuenca marginal ensialica, IAB: Tholeiitas de arco de islas.

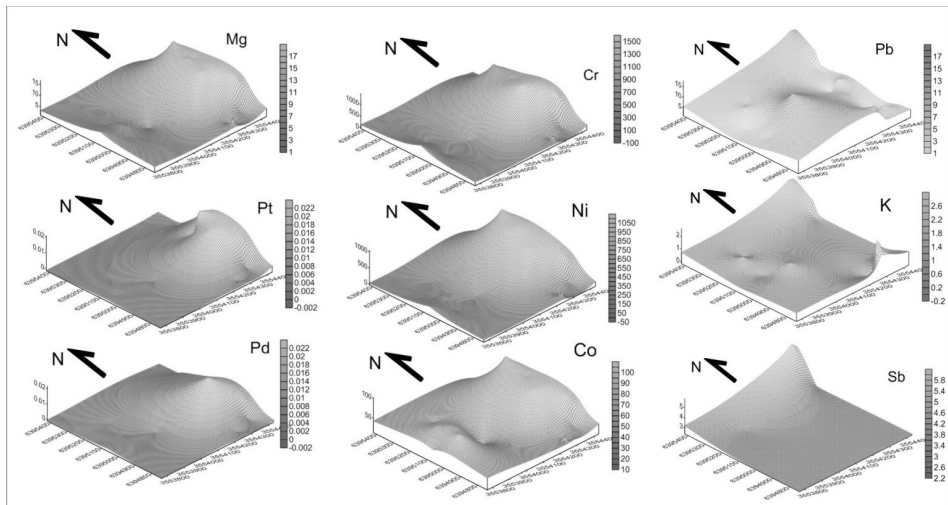


Figura 6. Diagramas de los tenores de diferentes elementos en el sector muestreado (Figura 1C).

susceptibilidades magnéticas de las rocas presentes en el área. Los mismos indican un pico mínimo de -17.805 nT, valor que no fue usado en el análisis de las anomalías por que no permite visualizar los demás datos. De esta manera el mínimo utilizado fue de -551 nT, el pico máximo es de 1.955 nT, la media de $-5,92$ nT (background), y la desviación standard de $305,5$ nT, indicando que por encima de este valor existe un umbral anómalo.

Los datos obtenidos del relevamiento geomagnético revelan la existencia de anomalías en la zona donde se encuentran las rocas ultramáficas, con picos positivos y negativos cercanos entre sí, con predominio de los primeros y gran amplitud en los valores de Intensidad Total, de hasta 2.500 nT (Figuras 7B y 8). La existencia de un valor positivo de 1.955 nT, acompañado de picos con valores negativos de -480 nT, es coincidente con la presencia del

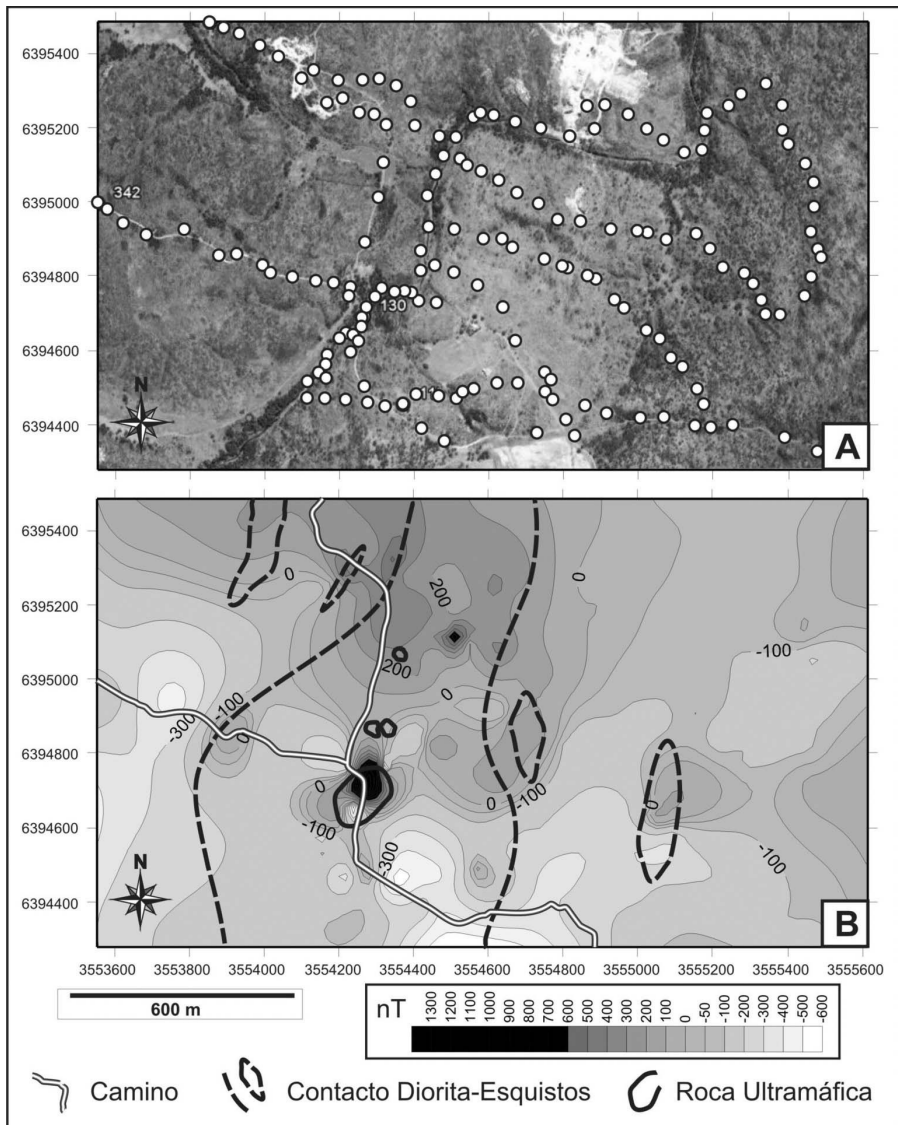


Figura 7. A. Ubicación de los puntos de registro en el relevamiento geomagnético. B. Mapa de anomalías magnetométricas.

mayor afloramiento de rocas ultramáficas ubicado en el centro del cuerpo Las Cañas, en cuyo interior se hallan mineralizaciones de sulfuros diseminados, entre ellos, pirrotina (Ortiz Suárez *et al.*, 2001).

Los contrastes de amplitud, de aproximadamente 500 nT, caracterizan la facies máfica del cuerpo Las Cañas (rocas con propiedades principalmente paramagnéticas por la presencia de biotita y hornblenda), que en sus contactos con la roca de caja incrementan el gradiente. Por su parte las rocas metamórficas raramente superan los 100 nT de amplitud, con valores constantes próximos al IGRF. Un valor extremadamente anómalo (-17.805 nT) fue detectado

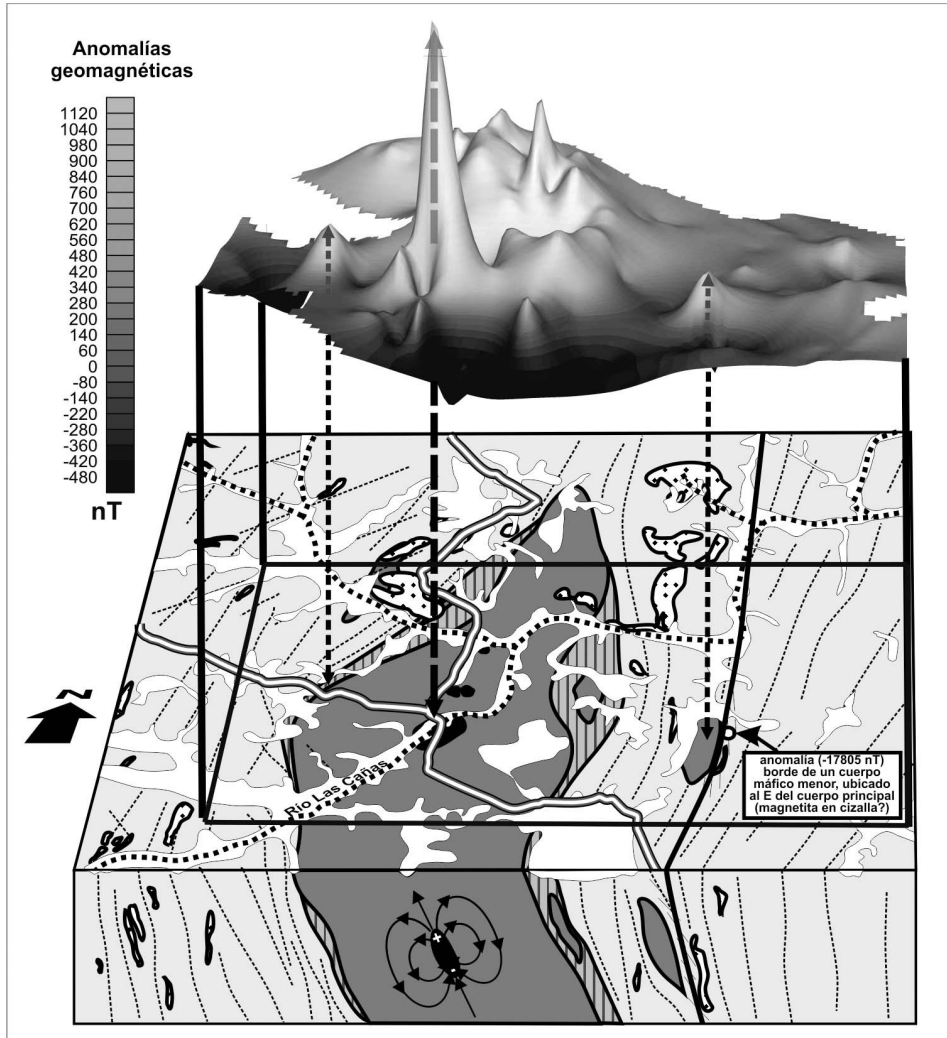


Figura 8. Imagen en 3D de las anomalías geomagnéticas sobre el mapa geológico del plutón Las Cañas.

al este del intrusivo y casi coincidente con la fractura Bajo de Véliz-San Felipe-El Morro.

Por otro lado, valores entre 700 y 1.000 nT se han detectado al norte del área relevada sobre los afloramientos máficos del cuerpo principal, y tal vez están indicando la presencia de rocas ultramáficas con mineralización ocultas a una cierta profundidad, que en superficie no han sido determinadas, aunque se reconocen algunos pequeños afloramientos ultramáficos

saltuarios que no coinciden del todo con los picos anómalos. Por consiguiente, los mapas de anomalías (*Figuras 7B y 8*) muestran una tendencia positiva hacia el sector norte, mientras que hacia el sur muestra una tendencia negativa, con ausencia de afloramientos de rocas fértiles, aunque cabe mencionar que el incremento en cantidad y espesor de cubierta cuaternaria podría atenuar levemente la señal magnética de posibles cuerpos mineralizados presentes en el subsuelo e inmersos dentro de la facies máfica del cuerpo Las Cañas.

De manera comparativa, rangos de amplitud con valores de hasta ± 2.500 nT fueron determinados por Bjerg *et al.* (1996) para las rocas ultramáficas de Las Águilas Este, Virorco y El Fierro, y de hasta 4.200 nT por Morosini *et al.* (2011) en el cuerpo Las Águilas Oeste, cuerpos en los cuales ha sido reconocida una mineralización de sulfuros, entre ellos, pirrotina, cuya propiedad ferromagnética favorece la presencia de anomalías.

La definición de fuertes anomalías puntuales con moderados a altos gradientes laterales se interpreta como el resultado de las mineralizaciones presentes, como así también a los contactos entre litologías con propiedades magnéticas distintivas, aunque en este caso los gradientes laterales son menor. El hecho de que la anomalía coincidente con el afloramiento ultramáfico principal presente un umbral fuertemente positivo y que a unos 200 metros hacia el SE del mismo exista un pico anómalo moderadamente negativo, estaría indicando que tal vez el dipolo magnético que representa la porción del cuerpo mineralizado posee un tamaño moderado, y que el mismo se encuentra levemente inclinado hacia el sureste respecto a la superficie, con la posición del polo (+) hacia arriba y (-) hacia abajo, considerando la forma asimétrica de la anomalía en un perfil y los valores de inclinación y declinación magnética del IGRF a la latitud y fecha de relevamiento (*Figura 8*). Esta interpretación es consistente con observaciones de campo en las estructuras y en los contactos entre la facies máfica y los esquistos de la caja, que sugieren que en general, tanto el cuerpo máfico como la zona ultramáfica mineralizada (dipolo magnético) estarían buzando con alto ángulo hacia el sureste.

Fuera del cuerpo principal afloran unidades menores que probablemente han sido desmembrados durante la deformación famatiniana, dando origen a rocas miloníticas en una zona de borde e interdigitación. Algunos de estos cuerpos, cuyos tamaños rondan las decenas de metros en afloramiento, se hacen evidentes en el mapa de anomalías magnética como cuerpos bipolares con picos positivos y negativos adyacentes de moderada a baja amplitud en sus valores, lo que es interpretado como un indicativo del carácter paramagnético de los mismos. En algunos casos se interpreta que el cambio brusco en la polaridad de las anomalías magnéticas y sus fuertes gradientes, como en el contacto oriental de uno de los cuerpos menores ubicado al este del intrusivo principal (*Figura 8*), estaría indicando que tal vez el contacto ha favorecido la removilización secundaria de minerales ferromagnéticos como magnetita, debido a la cizalla sobrepuesta que afectó a los contactos

Interpretación General

Las evidencias geológicas de las rocas estudiadas indican que se han intruido con posterioridad al clímax metamórfico, aunque han sufrido procesos deformacionales póstumos como desarrollo de subgrano y recristalización de cuarzo, presencia de bandas de deformación y curvatura de maclas en plagioclasa. Esto, de acuerdo a la relación existente de la caja metamórfica, sugiere un emplazamiento posterior a la orogenia Pampeana.

Las características petrográficas y geoquímicas indican la existencia de dos grupos de rocas diferentes que sugiere la existencia de una mezcla de magmas; estudios geoquímicos

más precisos podrían dar elementos para confirmar o desechar tal hipótesis. Dichas rocas son acompañadas de mineralizaciones de elementos del grupo del platino (EGP), Ni y Cr, en estrecha relación con las facies ultramáficas.

La geología, estructura, magnetometría y texturas indican que las rocas estudiadas han estado sometidas a deformación, probablemente, de temperaturas medias: Su relación con una fractura de importancia regional hace suponer que se trata de un rasgo estructural importante que ha tenido una compleja historia.

Conclusiones

- Las rocas de Las Cañas forman parte de un pequeño intrusivo que se emplaza en una fractura de carácter regional y orientación N-S cuya expresión terciaria se ha denominado Bajo de Véliz-Sierra de Tilisarao-El Morro.

- El intrusivo está formado por tres facies, tonalitas, restringidas a zonas de borde, máfica predominante y ultramáfica; esta última se encuentra en pequeños afloramientos ubicados en la zona central del cuerpo o como enclaves decimétricos.

- La petrografía está representada por tonalitas con biotita y plagioclasa, gabros con anfíbol y rocas ultramáficas alteradas entre las que se reconocen hornblenditas piroxénicas parcialmente serpentinizadas. Estas últimas presentan mineralizaciones de sulfuros y minerales del grupo del platino.

- El análisis geoquímico preliminar indica la existencia de dos grupos rocosos, uno con altos tenores de MgO, Cr, Ni, Pt y Pd, y bajos valores de TiO_2 . El otro grupo es predominantemente tholeítico y se ubica próximo al campo de los basaltos de arco de islas. El contenido de potasio es elevado en algunas muestras analizadas, lo que podría deberse a la superposición de un halo de alteración potásica, producido por vetas de cuarzo portadoras de sulfuros presentes en el área.

- La magnetometría muestra una muy buena respuesta en las facies ultramáficas, con valores anómalos de amplitud de más de 1200 Nt, mientras que las facies máficas arrojan valores de 500 Nt y en la roca de caja raramente superan los 100 nT de amplitud, con valores constantes próximos al International Geomagnetic Reference Field

- Se interpreta que el magmatismo que dio origen a las rocas de Las Cañas está asociado a procesos famatinianos, aún no claramente determinados, dentro de rocas metamórficas pampeanas.

Agradecimientos

La empresa Rio Tinto Argentina cedió gentilmente los análisis químicos de las rocas estudiadas. El magnetómetro utilizado fue prestado por el Dr. Mario Giménez del Instituto Volponi (San Juan). La Universidad Nacional de San Luis, a través del Departamento de Geología y Proyecto 340103, financió los gastos y suministró la infraestructura para la realización del presente trabajo. Las correcciones realizadas por el árbitro permitieron mejorar la versión original.

Bibliografía

- Bjerg, E.A., Kostadinoff, J., Mogessie, A., Hoinkes, G., Stump, E.F. y Hauzenberger, Ch.A. 1996. La faja de rocas ultramáficas de las Sierras de San Luis: nuevos hallazgos de minerales del grupo del platino. III Jornadas de Mineralogía y Petrología y Metalogénesis de Rocas Ultrabásicas, La Plata, Actas 5: 303-310.
- Brodtkorb, M.K. y Ametrano, S. 1981. Estudio mineralógico de la Mina Los Cóndores. Provincia de San Luis. VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas 4: 259-271.
- Brogioni, N. 1994. Petrología de la Faja de Rocas Máficas y Ultramáficas de la Sierra de San Luis, Argentina. VII Congreso Geológico Chileno, Concepción, Actas 2: 967-971.
- Brogioni, N. 2001a. Geología de los cuerpos Virorco y El Fierro, faja máfica – ultramáfica del borde oriental de la sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56: 281-292.
- Brogioni, N. 2001b. Petrología de los cuerpos Virorco y El Fierro, faja máfica – ultramáfica del borde oriental de la sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56: 535-547.
- Brogioni, N. y Ribot, A. 1994. Petrología de los cuerpos de La Melada y La Gruta, faja máfica y ultramáficas del borde oriental de la sierra de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 49: 269-283.
- Criado Roque, P., Mombrú y Ramos, V. 1981. Estructura e interpretación tectónica. En: Yrigoyen M. (Ed.), Geología y recursos minerales de la provincia de San Luis, Relatorio del VIII Congreso Geológico Argentino: 151-192.
- Cruciani, G., Franceschelli, M., Groppo, C., Brogioni, N. y Vaselli, O. 2008. Formation of clinopyroxene spinel and amphibole spinel symplectites in coronitic gabbros from the Sierra de San Luis (Argentina): a key to post-magmatic evolution. *Journal Metamorphic Geology*, 26: 759-774.
- Cruciani, G., Franceschelli, M. y Brogioni, N. 2011. Mineral re-equilibration and P-T path of metagabbros, Sierra de San Luis, Argentina: insights into the exhumation of a mafic-ultramafic belt. *European Journal of Mineralogy*, 23: 591-608.
- Delakowitz, B., Höll, R., Brodtkorb, M.K. y Brodtkorb, A. 1991. Geología y génesis de yacimientos scheelíticos de la Sierra del Morro Oeste, Provincia de San Luis. En: Brodtkorb, M.K. (Ed.), Geología de yacimientos de wolframio de las provincias de San Luis y Córdoba, Argentina. Publicación N° 1 Instituto de Recursos Minerales. Universidad Nacional de la Plata: 49-96.
- Felfernig, A., Mogessie, A., Hauzenberger, Ch. A., Hoinkes, G., Bjerg, E.A., Kostadinoff, J., Delpino, S. y Dimieri L. 1997. Petrology and mineralization of the Las Águilas ultramafic body, San Luis province, Argentina. *Terra Nova*, 9: 532-533.
- Ferracutti, G.R. y Bjerg E.A. 2001. Estudio Petrográfico-Calcoográfico de las rocas máficas-ultramáficas del yacimiento Las Águilas, Provincia de San Luis, Argentina. XI Congreso Latinoamericano de Geología y III Congreso Uruguayo, Montevideo, Trabajo 171 en CD-ROM.
- Ferracutti, G., Bjerg E.A. y Mogessie A. 2006. Segregación temprana de sulfuros en la extracción de elementos del grupo del platino de las rocas máficas-ultramáficas de Las Águilas y alrededores, San Luis, Argentina. VIII Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Buenos Aires, Actas: 347-350.
- Ferracutti, G., Bjerg, E. y Mogessie, A. 2007. Petrología y geoquímica de las rocas máficas-ultramáficas del área río Las Águilas – arroyo de los Manantiales, provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 62: 405-416.
- González Bonorino, F. 1961. Petrología de algunos cuerpos básicos de San Luis y las granulitas asociadas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 16: 61-106.
- González, P.D., Sato, A.M. y Llambías E.J. 2002. The Komatiites and associated mafic to ultramafic metavolcanic rocks of western Sierra de San Luis. XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Actas 2: 87-90.
- Irvine T.N. y Barager, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523-548.
- Kilmurray J. y Villar L. 1981. El basamento de la sierra de San Luis y su petrología. En: Yrigoyen M. (Ed.), Geología y recursos minerales de la provincia de San Luis, Relatorio del VIII Congreso Geológico Argentino: 33-54.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68: 277-279.
- Llaneza G. y Ortiz Suárez, A. 2000. Geología y petrografía del granito El Peñón (Provincia de San Luis) y su relación con el metamorfismo y la deformación. VIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Actas 1: 639-643.
- López de Luchi M.G., Ianizzotto N.F., Martínez Dopico C. y Cerredo M.E. 2011. Tourmaline granites of the Conlara Metamorphic Complex. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Actas S2: 196-197.
- Malvicini, L. y Brogioni, N. 1993. Petrología y Génesis del yacimiento de sulfuros de Ni, Cu y platinoideos “Las Águilas Este”, Provincia de San Luis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 48: 3-20.
- Martino, R.D., Guerreschi A.B. y Sfragulla J.A. 2009. Petrology, structure and tectonic significance of the Tuclame banded schists in the Sierras Pampeanas of Córdoba and its relationship with the metamorphic basement of the northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 27: 280-298.
- Merodio, J., Dalla Salda, L. y Rapela, C. 1978. Estudio petrológico y geoquímico preliminar del cuerpo básico de la

- región de San Francisco del Monte de Oro, prov. de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 33:122-138.
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274: 321-355.
- Morosini, A., González Mosso, E. y Ortiz Suárez, A. 2011. Relevamiento geomagnético sobre un sector del cuerpo "Las Águilas oeste": faja máfica-ultramáfica oriental de la Sierra de San Luis. XVIII Congreso Geológico Argentino, Neuquén, Actas: 1131.
- Mullen, E.D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*, 62: 53-62.
- Orozco, B. y Ortiz Suárez, A. 2005. Los lamprófiros de la Sierra de San Luis. XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Actas 1: 585-590.
- Ortiz Suárez, A. 1988. El basamento de Las Aguadas, provincia de San Luis. *Revista de la Asociación de Mineralogía Petrología y Sedimentología*, 19: 13-24.
- Ortiz Suárez, A. 1996. Geología y petrografía de los intrusivos de Las Aguadas, Provincia de San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 51: 321-330.
- Ortiz Suárez, A. 1999. [Geología y petrología de San Francisco el Monte de Oro, San Luis. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Luis, 259 pp. Inédito].
- Ortiz Suárez, A. Ulacco, H., Zaccarini Garuti, F. y Garuti, G. 2001. Sperrylite from Sulfides of Las Cañas (Sierra de San Luis): the Second Argentinian occurrence. VII Congreso Argentino de Geología Económica, Salta, Actas 1: 169-172.
- Sabalúa, J., Chabert, M. y Santamaría, G. 1981. Mineralización de sulfuros de hierro, cobre y níquel en el cuerpo básico de Las Águilas, Provincia de San Luis. VIII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Actas 4: 497-507.
- Sato, A., González, P. y Sato, K. 2001. First indication of Mesoproterozoic age from the western basement of Sierra de San Luis, Argentina. III South American Symposium on Isotope Geology, Santiago, Extended Abstracts (CD): 64-67.
- Sato, A., González, P. y Llambías, E. 2003. Evolución del orógeno Famatiniano en la Sierra de San Luis: magmatismo de arco, deformación y metamorfismo de bajo a alto grado. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 58: 487-504.
- Shervais, J.W. 1982. Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 59: 101-118.
- Sims, J., Stuart-Smith, P., Lyons, P. y Skirrow, R. 1997. 1:250.000 Scale Geological and Metallogenic Maps. Sierras de San Luis and Comechingones, Provinces of San Luis and Córdoba. Final report. Geoscientific Mapping of the Sierras Pampeanas Argentine-Australia Cooperative Project. Australian Geological Survey Organization. SEGEMAR. 123 pp.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R., Stuart-Smith, P., y Miró, R. 1998. U-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R.J. y Rapela, C.W. (Eds), *The Proto-Andean Margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publications, 142: 259-281.
- Steenken, A., López de Luchi, M.G., Martino, R.D., Siegesmund, S. y Wemmer, K. 2005. SHRIMP dating of the El Peñón granite: a time marker at the turningpoint between the Pampean and Famatinian cycles within the Conlara Metamorphic Complex (Sierra de San Luis, Argentina). XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Actas 1: 889-896.
- Steenken, A., Siegesmund, S., López de Luchi, M.G., Frei, R. y Wemmer, K. 2006. Neoproterozoic to early Palaeozoic events in the Sierra de San Luis: implications for the Famatinian geodynamics in the Eastern Sierras Pampeanas (Argentina). *Journal of the Geological Society of London*, 163: 965-982.
- Ulacco, J.H. 1997. [Metalogenia de las vetas de Plomo – Zinc del distrito Las Aguadas, Departamento San Martín, Provincia de San Luis. Tesis Doctoral, Universidad de San Luis, 326 pp. Inédito]
- Ulacco, J.H. y Ramos, G.A. 2001. Geología, geoquímica y geocronología del granito Los Alanices, San Luis, Argentina, IV Congreso Geológico Minero de la Sociedad Cubana de Geología, La Habana, Actas en CD-ROM.
- Vernon, R.H. 2004. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press, 594 pp.

Recibido: 26 de octubre de 2011

Aceptado: 5 de marzo de 2012