

NUEVA INFORMACION PETROGENÉTICA DE LAS BASANITAS DE CASPI CUCHUNA, SIERRA NORTE DE CÓRDOBA.

María Sol O'LEARY¹, Raúl LIRA² y Michael J. DORAIS³

¹ CONICET – CIMAR, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue. Av. San Martín 1400, Neuquén.

E-mail: sol_oleary@yahoo.com.ar

² CONICET - Museo de Geología y Mineralogía "Dr. A. Stelzner". F.C.E.F. y N. – Universidad Nacional de Córdoba. Av. Velez Sársfield 299, Córdoba.

³ Department of Geology, Brigham Young University, Provo, Utah 84602-4606, Estados Unidos.

RESUMEN

Se presenta nueva información mineralógica y geoquímica de los diques básicos alcalinos situados en el sector centro-occidental del batolito Sierra Norte-Ambargasta, en el paraje Caspi Cuchuna. Se establece su composición basanítica y de acuerdo a la mineraloquímica de los silicatos ferromagnesianos constitutivos, olivino ($Fe_{0.83}$) y diópsido ($Wo_{49}En_{37}Fs_{14}$), se propone una cristalización en condiciones de alta temperatura y alta presión en sus etapas iniciales, parámetros que decrecieron junto con un aumento de la fugacidad de oxígeno, posiblemente en condiciones cercanas a las de emplazamiento. Los contenidos de Cr (333 ppm), Ni (183 ppm) y MgO (9,13%) indican características relativamente primarias de esta roca, con fraccionamiento de olivino, piroxeno y magnetita. El empobrecimiento de ETR pesados revela la presencia de granate residual en la fuente y el importante enriquecimiento de elementos incompatibles (Cs, Rb y Ba) indicaría contaminación por corteza durante el ascenso y emplazamiento. Su impronta geoquímica lo ubica en un ambiente de intraplaca (WPB) y muestra un patrón multielemental comparable a los basaltos alcalinos de intraplaca ubicados al este de la zona volcánica activa andina, en un régimen extensional. Sus características geoquímicas sugieren una derivación por fusión parcial de litósfera subcontinental con posible aporte de corteza continental.

Palabras clave: *basanitas, petrogenesis, Sierra Norte, Sierras Pampeanas, Argentina*

ABSTRACT: *New petrogenetic information of the Caspi Cuchuna basanites, Sierra Norte de Córdoba.*

New mineralogical and geochemical data from the Caspi Cuchuna basic alkaline dykes located in the central-western region of the Sierra Norte-Ambargasta batholith are presented. The petrography and bulk rock chemistry classify these dykes as basanites. Mineral chemistry data for selected olivine and clinopyroxene phenocrysts suggest high temperature and high pressure conditions for initial crystallization; the system evolved towards lower pressure and temperature along with an increase of the oxygen fugacity, possibly approaching emplacement conditions. The Cr (333 ppm), Ni (183 ppm) and MgO (9.13 wt. %) contents indicate relatively primary characteristics for the rock, suggesting olivine, pyroxene and magnetite fractionation. The depletion of HREE is indicative of the presence of residual garnet in the source. The enrichment of incompatible elements (Cs, Rb, and Ba) suggests crustal contamination during ascent and emplacement of the melt. The geochemical signature is compatible with a within-plate setting (WPB) and the multielemental diagram is comparable with within-plate alkaline basalts like those representative of extensional regimes located east of the active volcanic Andean zone. The geochemical characteristics suggest derivation from partial melting of a subcontinental lithosphere possibly contaminated with a continental crust component.

Keywords: *Basanites, petrogenesis, Sierra Norte, Sierras Pampeanas, Argentina*

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Los diques básicos alcalinos objeto de este trabajo intruyen granitoides pertenecientes al batolito Sierra Norte-Ambargasta, en el norte de la provincia de Córdoba. Este complejo ígneo se generó como consecuencia de la implantación de un régimen de arco colisional durante el precámbrico-cámbrico (Lira *et al.* 1997, Koukharsky *et al.* 1999; Millone *et al.* 2003, Leal *et al.* 2003; entre otros) y cuyos últimos representantes ígneos se remontan al límite cambro-ordovícico (Rapela *et al.* 1991, Millone *et al.* 2003, Correa 2003).

Los primeros registros de los diques básicos en la sierra Norte-Ambargasta, dentro de la provincia de Córdoba y específicamente en cercanías del paraje Caspi Cuchuna, corresponden al trabajo de Viramonte (1972). En ese trabajo se caracterizó a los diques como basaltos alcalinos y se los relacionó con basaltos de otro sector de Córdoba, en la zona del río Los Molinos (Gordillo y Lencinas 1969) y que fueron datados arrojando una edad cretácica (Kay y Ramos

1996). Posteriormente, uno de los cuerpos básicos de Caspi Cuchuna fue datado por González y Toselli (1975) usando el método K/Ar en roca total y arrojó una edad de 212 ± 13 Ma, es decir del Triásico superior – Jurásico inferior. Más recientemente Koukharsky *et al.* (2001, 2002), establecen algunos rangos geoquímicos para un conjunto litológico que involucra a los diques básicos de Santiago del Estero y Córdoba, sin especificar puntualmente las características composicionales de los diques de Caspi Cuchuna y presentan nuevas edades radiométricas que indican una edad permo-triásica (249 ± 6 Ma) para un representante de los diques básicos alcalinos de Caspi Cuchuna, lo cual los desvincula de la importante extensión regional registrada en el Jurásico-Cretácico y permitiría suponer la existencia de un evento extensional en este sector del batolito Sierra Norte-Ambargasta entre el final del Paleozoico y comienzos del Mesozoico.

Este trabajo tiene como objetivo presentar nueva información mineraloquímica y geoquímica de los diques básicos alcalinos del sector centro-occidental del batolito de

Sierra Norte-Ambargasta, localizados en las inmediaciones del paraje Caspi Cuchuna. Con ella se pretenden dilucidar aspectos genéticos y contribuir al conocimiento del ambiente geotectónico de emplazamiento.

UBICACIÓN Y GENERALIDADES

Como fuera descrito por Viramonte (1972), en el sector centro-occidental del batolito Sierra Norte-Ambargasta, aledaños al paraje Caspi Cuchuna, existen al menos tres diques verticales de rumbo prácticamente norte (N18°E), con una extensión observada no mayor a 20 metros y espesores de 30 hasta 80 cm. Se encuentran en cercanías de la escuela Fray Mamerto Esquiú y las coordenadas exactas de uno de los cuerpos analizados son: $29^{\circ} 48' 53''$ L. S. – $64^{\circ} 04' 07''$ L. O. (Fig. 1). Los diques son oscuros y tienen una estructura amigaloide, en sectores maciza, con textura porfirítica. Están afectados por un diaclasado típico que genera una marcada disyunción columnar, perpendicular a la roca encajonante. Esta litología hospedante está constituida por un granito

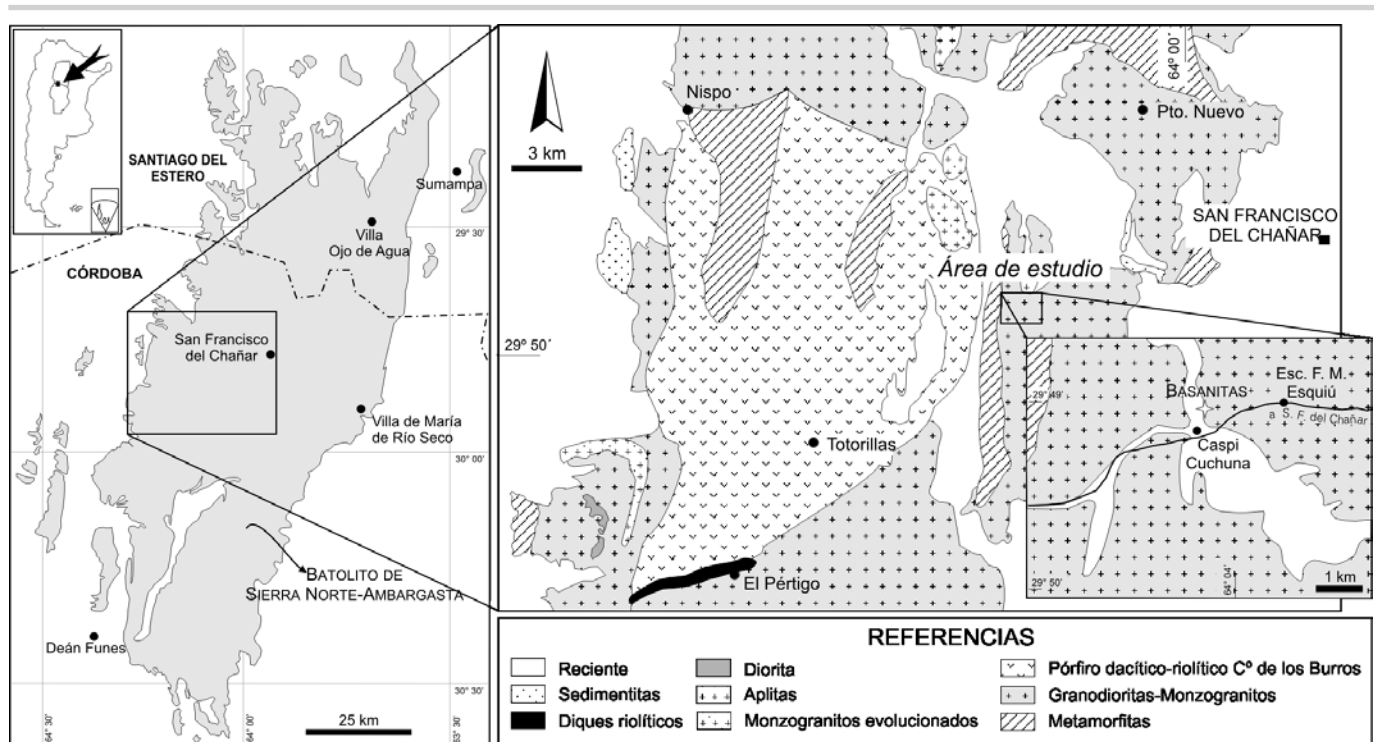


Figura 1: Mapa geológico del sector centro-oeste del batolito de Sierra Norte-Ambargasta, indicando la localidad de muestreo.

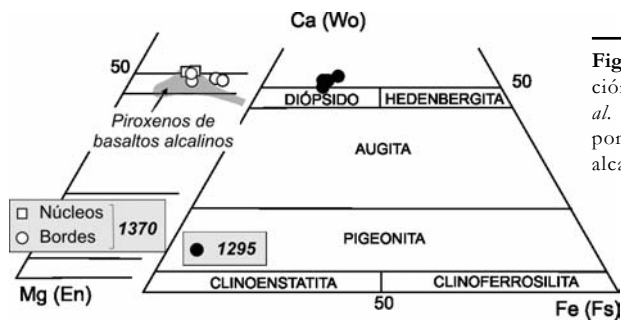


Figura 2: Diagrama de clasificación de piroxenos (Morimoto *et al.* 1988). La zona grisada corresponde a los piroxenos de basaltos alcalinos (Wilson 1989).

aplítico intruido en la granodiorita de extensión regional, que muestra en este sector algunos enclaves diorítico-tonalíticos. La roca está formada por fenocristales de olivino y de diópsido inmersos en una pasta intersertal a subofítica formada por cristallitos de clinopiroxeno, minerales opacos, feldespato potásico y plagioclasa en una base vítrea, dando lugar a una textura vitroporfírica. Los fenocristales de olivino son subhedrales a euhedrales y tienen una longitud máxima de 2 a 3 mm. Exhiben márgenes reabsorbidos, hay algunos cristales esqueléticos y otros que presentan minerales secundarios (óxidos de Fe y minerales del grupo de la serpentina) en las fracturas de partición. Los fenocristales de clinopiroxeno son euhedrales a subhedrales, tienen un tamaño máximo de 1 a 2 mm y muestran

núcleos incoloros y bordes castaño-rosados, con zonación en reloj de arena; en algunos casos estos individuos se agrupan formando glomeropórfiros. Todas las características ópticas indicarían que se trata de augitas enriquecidas en Ti pero la química mineral revela que son diópsidos. La plagioclasa está restringida a la pasta, en forma de microlitos escasos y en sectores conformando una textura pilotáxica. En la mesotaxis fue detectada, a partir de análisis con microsonda de electrones, la presencia de feldespato potásico. Entre los minerales accesorios se identificaron escasos apatitos y abundantes fases opacas: magnetitas de hasta 0,1 mm y pirritas y calcopirritas de 10 mm como máximo. Son numerosas las vacuolas rellenas de calcita y minerales del grupo de las zeolitas.

MINERALOQUÍMICA

Se registraron las composiciones químicas de olivinos y clinopiroxenos de dos muestras, una representativa de la roca con textura intersertal-subofítica (1295) y la otra de la roca con textura vitroporfírica (1370). Los resultados de los análisis se registran en el cuadro 1; además se han efectuado análisis a algunos microlitos de feldespato de la muestra 1295.

Olivinos: La composición química de los olivinos analizados indica que son muy ricos en Mg (forsteríticos), en 1295 el dato promedio indica Fo_{84} y en 1370 es levemente inferior (Fo_{82}). No se registran variaciones significativas entre los individuos y se ubican dentro del rango composicional de los olivinos cristalizados tempranamente en magmas básicos (Deer *et al.* 1992).

Clinopiroxenos: Pertenecen al grupo QUAD (Ca-Mg-Fe) y dentro de este grupo se clasifican como diópsidos (Morimoto *et al.* 1988, Fig. 2). Hay pequeñas variaciones composicionales entre uno y otro análisis, entre una y otra roca y entre el núcleo y los bordes; de acuerdo a la nomenclatura usada se anexan los sufijos correspondientes a estas variaciones en la tabla que contiene los datos (Cuadro 1). Tres de los diópsidos de 1295 son subsilícicos ($Si < 1,75$), uno de ellos contiene exceso de titanio (posiblemente se trate de Ti^{+3}); en cuanto a los clinopiroxenos de 1370 muestran una clara zonación con núcleos constituidos por diópsidos aluminico-sódicos y bordes normales, en uno de los casos algo enriquecido en Cr. Las composiciones se ubican cerca del campo composicional de los piroxenos típicos de basaltos alcalinos (Fig. 2) definido por Wilson (1989).

Los bordes de 1370 y los diópsidos de 1295 son más ricos en Ti y más pobres en Na que los núcleos de 1370; estas tendencias se relacionan al número de Mg ($Mg\#$) de los piroxenos, en los cuales a medida que aumenta el $Mg\#$ es mayor el contenido de Ti y menor el de Na (Fig. 3a). En general la relación Al^{VI}/Al^{IV} de estos diópsidos está en el límite de la alta y baja presión de cristalización, aunque es notable que los núcleos de los clinopiroxenos de 1370 tienen contenidos de Al^{VI} mayores a 0,1 lo que revela su elevada presión de cristalización inicial (Fig. 3b).

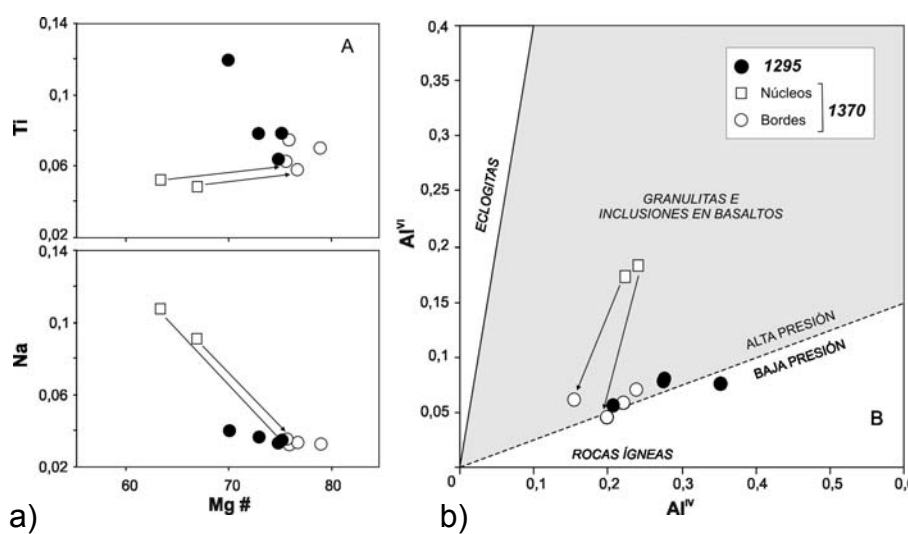


Figura 3: A) Gráfico Ti y Na *vs.* $Mg\#$. B) Diagrama Al^{VI} *vs.* Al^{IV} que muestra campos de alta y baja presión (según Wass 1979, en Dorais 1990). Los círculos negros corresponden a 1295 y los símbolos blancos a 1370; las flechas unen los núcleos (cuadrados blancos) y bordes (círculos blancos) de un mismo cristal analizado.

CUADRO 1: Análisis químicos representativos de minerales constituyentes de las basanitas de Caspi Cuchuna, Sierra Norte de Córdoba.

	Olivino						Clinopiroxeno						Feldespatos							
	1370			1370			1370			1370			1295							
	1a	2a	3a	1a	1b	1c	2b	2a	1b	1a núcleo	1b núcleo	1c núcleo	1d borde	2a	2b					
SiO ₂	40.40	39.90	39.52	39.65	39.92	39.65	39.01	47.94	43.32	46.05	45.70	46.80	47.21	48.06	49.08	47.07	47.31	SiO ₂	59.58	58.08
TiO ₂	0.03	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.03	2.29	4.15	2.77	2.73	1.83	1.69	2.22	2.02	2.49	2.61	Al ₂ O ₃	22.18	23.39
Al ₂ O ₃	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5.97	9.56	8.08	7.96	9.53	8.90	5.53	4.89	7.01	6.29	FeO	0.70	0.85
FeO	14.81	16.72	15.90	12.96	16.81	16.76	17.15	7.65	8.20	7.10	7.78	10.28	9.31	7.64	7.07	6.52	7.09	CaO	1.07	0.48
Cr ₂ O ₃	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.02	0.00	0.31	0.02	0.02	0.00	0.04	0.00	0.42	0.00	Na ₂ O	5.35	6.47
MnO	0.22	0.21	0.18	0.14	0.19	0.22	0.26	0.14	0.12	0.09	0.08	0.17	0.17	0.20	0.12	0.12	0.23	K ₂ O	9.28	9.46
MgO	45.08	43.51	44.55	43.46	43.49	43.40	43.51	12.79	10.62	12.07	11.76	9.94	10.55	13.34	13.14	12.87	12.58	Total	98.16	98.73
NiO	0.20	0.18	0.28	0.28	0.14	0.25	0.10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.			
CaO	0.25	0.27	0.24	0.24	0.13	0.12	0.23	22.95	23.04	23.21	23.11	19.90	20.45	22.40	22.24	22.92	22.95	Nº de iones en base a 8 O		
Na ₂ O	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.46	0.54	0.49	0.50	1.46	1.25	0.48	0.45	0.45	0.44	Si	2.784	2.717
Total	100.99	100.80	100.68	100.88	100.91	100.48	100.30	100.20	99.55	100.16	99.64	99.74	99.51	99.90	99.00	99.85	99.50	Al	1.222	1.289
Nº de iones sobre la base de 4 O																				
Si	1.003	1.002	0.992	1	1.002	1	0.989	1.792	1.647	1.724	1.725	1.757	1.776	1.8	1.844	1.76	1.779	K	0.027	0.033
Al	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.263	0.429	0.356	0.354	0.424	0.395	0.244	0.216	0.309	0.279	Ca	0.054	0.024
Ti	0.001	0	0	0	0	0	0.001	0.064	0.119	0.078	0.078	0.052	0.048	0.062	0.057	0.07	0.074	Na	0.485	0.587
Fe	0.308	0.351	0.334	0.267	0.355	0.355	0.363	0.239	0.261	0.222	0.246	0.324	0.293	0.239	0.222	0.204	0.223	Ab	44.40	49.91
Cr	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0	0	0.009	0	0.001	0	0.001	0	0.012	0	Cr	50.69	48.03
Mn	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.006	0.005	0.006	0.004	0.004	0.004	An	4.90	2.06
Mg	1.669	1.629	1.666	1.718	1.634	1.632	1.644	0.713	0.608	0.674	0.662	0.559	0.592	0.745	0.736	0.771	0.705			
Ca	0.007	0.007	0.006	0.006	0.003	0.003	0.006	0.919	0.939	0.931	0.935	0.804	0.824	0.899	0.895	0.918	0.925			
Ni	0.004	0.004	0.006	0.005	0.003	0.005	0.002	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.			
Na	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.034	0.04	0.035	0.036	0.107	0.091	0.035	0.033	0.032	0.032			
Proporción Molar																				
Mo	0.33	0.37	0.32	0.32	0.17	0.16	0.17	49.01	51.82	50.87	50.65	47.49	48.07	47.59	48.20	48.39	49.73			
Wo	84.52	82.38	83.42	86.68	82.14	82.04	82.09	38.03	33.55	36.83	35.86	33.02	34.54	39.44	39.63	40.64	37.90			
Fa	15.58	17.76	16.70	13.49	17.83	17.89	18.11	12.96	14.62	12.30	13.49	19.49	17.39	12.97	12.17	10.96	12.37			
Li	0.20	0.19	0.28	0.28	0.14	0.26	0.10	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido	dioptido			
Te	0.23	0.22	0.20	0.15	0.21	0.23	0.28	subsilicico	subsilicico	subsilicico	subsilicico	aluminoso	aluminoso	aluminoso	aluminoso	aluminoso	aluminoso			
Mg #	84.4	82.3	83.3	86.5	82.2	82.1	81.9	74.9	70.0	75.2	72.9	63.3	66.9	75.7	76.8	79.1	76.0			

Mg # = Mg/(Mg+Fe)
 n.a.: no analizado
 * TT⁴⁺ > 0.1

Datos medidos con sonda electrónica CAMECA SX50 en el Dept. of Geology de Brigham Young University, Provo, Utah, EEUU. Condiciones analíticas: aceleración de voltaje 15 kV, diámetro del haz incidente 10 mm., intensidad de corriente 10 nA., Patrones naturales: Na Ka Jadedita, Mg Ka MgO, Al Ka Anortita, Si Ka Ortoclasa, Ca Ka Wollastonita, Ti Ka Titanita, Mn Ka Espesantina, Fe Ka Fayalita. Los datos microanalíticos fueron reducidos mediante los factores de corrección de Pouchou y Pichoir (1985).

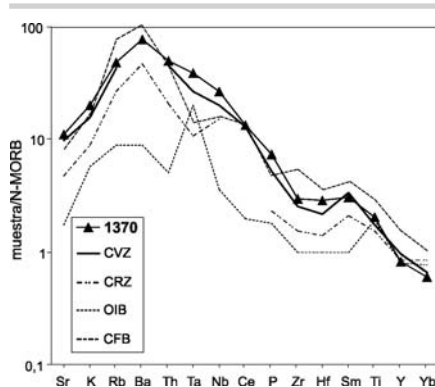


Figura 4: Diagrama multielemental de la basanita de Caspi Cuchuna (muestra 1370) normalizado a N-MORB (valores de Sun y McDonough 1989). CVZ: basalto alcalino de intraplaca al este de los Andes (Wilson 1989), CRZ: basalto de rift continental (Kenia, Wilson 1989), OIB: basalto de arco isla (Sun y McDonough 1989) y CFB: basalto tholeiítico de flujo continental (Paraná, Wilson 1989).

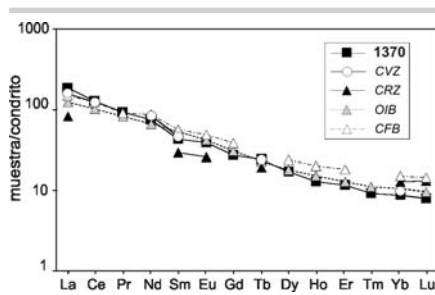


Figura 5: Diagrama de ETR normalizado a condrito (valores de Boynton 1984). Las siglas son las de la figura 4.

Para evaluar las sustituciones acopladas que operan en estos clinopiroxenos se han proyectado los contenidos de Al^{IV} , Al^{VI} y Ti; la correlación positiva que se registra tanto en 1370 como en 1295 y fundamentalmente desde 1370 a 1295, revelan la existencia de sustitución del tipo Ti-tschermakítica y Al-tschermakítica.

Las variaciones en los contenidos de Ti, Al^{IV} , Al^{VI} , Na y Mg# se relacionan a cambios de temperatura, presión y actividades del fundido durante la cristalización del magma básico. Como fuera establecido por Bédard *et al.* (1988), las sustituciones Ti-tschermakítica y Al-tschermakítica relacionadas al Mg# serían el resultado de tres posibles procesos: a) cinéticos, b) cristalización fraccionada y enfriamiento y c) cristalización polibárica. Las variaciones que observamos en el diagrama que evidencia las condiciones de presión (Fig. 3b)

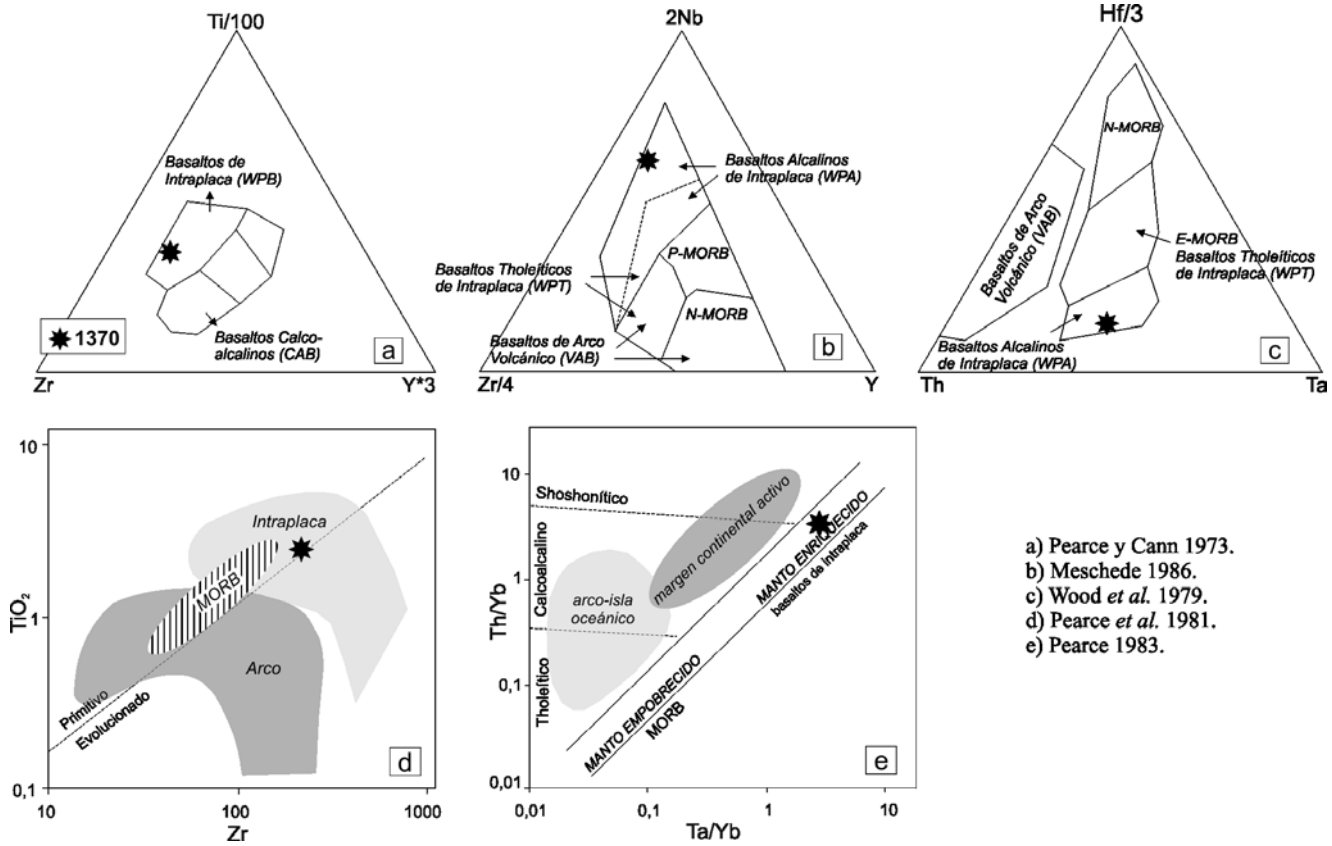
CUADRO 2: Análisis químico y valores calculados para la norma CIPW correspondiente a la basanita de Caspi Cuchuna (muestra 1370), Sierra Norte de Córdoba.

Elementos Mayoritarios (% en peso)		Elementos Minoritarios y Trazas (ppm)		Elementos de Tierras Raras (ppm)	
SiO ₂	39,92	Rb	27,0	La	55,70
TiO ₂	2,604	Sr	986,0	Ce	100,00
Al ₂ O ₃	12,36	Y	23,0	Pr	11,10
Fe ₂ O ₃	12,47	Zr	217,0	Nd	43,60
MgO	9,13	Nb	63,0	Sm	8,10
MnO	0,193	Ba	490,0	Eu	2,81
CaO	10,41	Th	6,0	Gd	6,90
Na ₂ O	3,44	U	1,9	Tb	1,10
K ₂ O	1,71	V	221,0	Dy	5,40
P ₂ O ₅	0,95	Cr	333,0	Ho	0,90
LOI	5,69	Co	48,0	Er	2,40
T total	98,88	Ni	183,0	Tm	0,29
Composición Normativa (CIPW)		Cu	56,0	Yb	1,80
		Zn	96,0	Lu	0,25
		Ga	18,0	ΣETR	240,35
Qz	0	Ge	1,0	ΣETRL	218,50
or	10,97	As	<5	ΣETRP	21,85
ab	2,39	Mo	5,0	La/ Yb	30,94
an	14,33	Ag	0,5	La/ Ce	0,557
ne	15,80	In	<0,2	Análisis realizados en Act Labs (Canadá): elementos mayoritarios por espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF), elementos minoritarios y trazas y elementos de tierras raras (ETR) por espectrometría de plasma inducido con espectrometría de masas (ICP-MS).	
Di	28,83	Sn	38		
OI	16,50	Sb	<0,5		
mt	3,56	Cs	41,2		
il	5,37	Hf	5,9		
ap	2,25	Ta	5,1		
* AN	85,71	W	<1		
*Mg# (M)	64	Tl	0,30		
		Pb	12,0		
*según Wilkinson (1986)		Bi	<0,4		
<5: debajo del nivel de detección		Sc	19,0		
		Be	3,0		

permitiría suponer que ha existido cristalización polibárica.

La relación Mg/(Mg+Fe) en minerales

ferromagnesianos es utilizada para evaluar las condiciones de fugacidad de oxígeno del magma durante la cristalización



a) Pearce y Cann 1973.
 b) Meschede 1986.
 c) Wood *et al.* 1979.
 d) Pearce *et al.* 1981.
 e) Pearce 1983.

Figura 6: a, b, c, d y e. Diagramas de discriminación geotectónica. Detalles interpretativos en el texto.

(Czamanske y Wones 1973, Pe-Piper 1988, entre otros); en este caso se registra un aumento en esta relación desde los núcleos hacia los bordes de 1370, lo que indica un incremento de la fO_2 .

Feldespatos: Se llevaron a cabo dos análisis de microlitos de la pasta correspondientes a la muestra 1295 (cuadro 1) y se clasifican como feldespatos alcalinos ($An_{0.4}Ab_{4.7}Or_{4.9}$); no se cuenta con análisis de las plagioclasas.

GEOQUÍMICA Y AMBIENTE TECTÓNICO

La roca estudiada tiene un contenido de SiO_2 (en base anhidra) de 42,8% en peso, con altos tenores de álcalis, CaO, MgO y TiO_2 . La clasificación de esta roca utilizando el diagrama TAS (Le Maitre 1989) indica que es una basanita, lo que queda reafirmado en el gráfico de Cox *et al.* (1979), en tanto, en el diagrama de elementos inmóviles de Winchester y Floyd (1977), la mues-

tra se ubica en el campo de los basaltos alcalinos muy cerca del límite con las basanitas. Los datos químicos y los valores de la norma CIPW se pueden ver en el cuadro 2. La clasificación de Wilkinson (1986), en base al cálculo de la norma CIPW, confirma que se trata de una basanita cumpliendo con las siguientes condiciones: **AN** ($100An/(An+Ab) > 50$, **M** ($100Mg/(Mg+Fe^{2+}) < 75$, $Al_2O_3 < 16\%$ en peso, $Ne > 5$ y $Ab > 0$. La litología analizada queda comprendida dentro de los rangos establecidos por Koukharsky *et al.* (2002), con contenidos de SiO_2 (42,8%) y TiO_2 (2,6%) y una relación K_2O/Na_2O de 0,49, que indica que la roca se encuentra dentro de la serie potásica (Middlemost 1975). En el diagrama multielemental, normalizado a N-MORB (valores de Sun y McDonough 1989, Fig. 4) se observa un relativo enriquecimiento de casi todos los elementos. A medida que aumenta la incompatibilidad es mayor el enriqueci-

miento registrado y aunque no se muestra en el diagrama, el Cs tiene un fuerte enriquecimiento (superior a 100 veces el contenido en N-MORB). Estos valores tan elevados se relacionan a una posible contaminación cortical durante el ascenso. Los elementos de transición (altamente compatibles) presentan tenores muy similares a los contenidos de N-MORB; en cuanto a los elementos de tierras raras, en el diagrama normalizado a condrito (Fig. 5), se registra un patrón de enriquecimiento preferencial de los elementos de tierras raras livianos respecto de los pesados, con una suave pendiente desde los valores más enriquecidos (La) a los menos enriquecidos (Lu). La anomalía positiva de Eu ($Eu/Eu^* = 1,15$) indica un magma pobremente fraccionado. Los diagramas de discriminación geotectónica utilizados (Figs. 6 a, b y c, Pearce y Cann 1973, Meschede 1986 y Wood *et al.* 1979, respectivamente) indican de manera coincidente que se trata de un cuerpo alca-

lino de intraplaca (WPB) y de acuerdo a Pearce (1983, en Pearce, 1996) la roca se relaciona a fundidos primitivos y vinculados a manto enriquecido (Figs. 6 d y e).

Los basaltos de intraplaca (WPB) se caracterizan por enriquecimientos relativos a N-MORB de Th, Nb (y Ta), Ce (y otros ETRL), Zr (y Hf) y Ti y valores similares de Y (y elementos de tierras raras y Sc) y se los identifica con relaciones altas de Ti/Y, Yb o Sc. Estas litologías alcalinas de intraplaca pueden dividirse en rocas de islas oceánicas (OIB) y en rocas de zonas de rift continental (CRZ). En el diagrama multielemental normalizado a N-MORB (Fig. 5) se han dibujado los patrones correspondientes a dos basaltos que responden a estas características (basalto OIB de Sun y McDonough 1989 y basaltos CRZ de Kenia, en Wilson 1989); asimismo se anexa el patrón de un basalto tholeítico de flujo continental típico (CFB) tomado de Wilson (1989) y, finalmente, se superpone el patrón multielemental de un basalto alcalino de intraplaca ubicado al este de la zona volcánica activa de los Andes actuales (Wilson 1989). Lo que puede observarse es que el patrón correspondiente a la roca estudiada presenta notables similitudes con esta última litología más que con los basaltos OIB, CRZ o CFB, principalmente en lo que se refiere a la magnitud de los enriquecimientos de todos los elementos respecto de N-MORB y fundamentalmente en el comportamiento del Ta-Nb.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los diques básicos alcalinos estudiados en este trabajo se clasifican como basanitas. La mineralogía de silicatos ferromagnesianos que lo constituyen, olivino (Fo_{83}) y diópsido ($\text{Wo}_{49}\text{En}_{37}\text{Fs}_{14}$), indican una cristalización en condiciones de alta temperatura y alta presión en sus etapas iniciales, parámetros que luego decrecieron junto con un aumento de la fugacidad de oxígeno, posiblemente en condiciones cercanas a las de emplazamiento.

Se trata de una roca con características geoquímicas relativamente primarias, evidenciadas por el contenido de Cr (333 ppm), Ni (183 ppm) y MgO (9,13%), que sufrió fraccionamiento de olivino, piroxeno y magne-

tita. La presencia de granate residual en la fuente se refleja en el empobrecimiento en ETR pesados observado y existe un enriquecimiento importante en elementos incompatibles como Cs, Rb y Ba, comportamiento que podría deberse a contaminación por corteza durante el ascenso y emplazamiento. Tiene claramente una impronta geoquímica que lo ubica en un ambiente de intraplaca (WPB) en un régimen tectónico extensional cuya fuente podría ser la fusión parcial de litósfera subcontinental con un posible aporte de corteza continental.

Este magmatismo básico alcalino de tipo extensional en Sierra Norte-Ambargasta fue primeramente relacionado a la extensión jurásico-cretácica (Viramonte 1972), posteriormente Linares y González (1990) proponen una edad cercana al límite Triásico-Jurásico (212 ± 13 Ma) y más recientemente Koukharsky *et al.* (2001, 2002) indican que tendrían una edad de 249 ± 6 Ma (Permo-Triásico) y plantean la existencia de un evento extensional de magnitud regional en el interior de Gondwana durante el ciclo orogénico gondwánico.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias al financiamiento del CONICET que otorgara una beca doctoral a M. S. O. y de la ANPCYT mediante el apoyo financiero a los proyectos BID 1201 OC-AR, PICT 07-03581 y PICT R-179. Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Dr. R. Miró y a la Dra. M. Koukharsky por sus valiosas sugerencias en calidad de árbitros.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bédard, J. H., Francis, D. M. y Ludden, J. 1988. Petrology and pyroxene chemistry of Montereian dykes: The origin of concentric zoning and green cores in clinopyroxenes of alkali basalts and lamprophyres. *Canadian Journal of Earth Sciences* 25: 2041-2058.
- Correa, M. J. 2003. Petrología y edad K/Ar de diques relacionados a la Formación Oncán, sierra de Ambargasta, Santiago del Estero. *Revista de la Asociación Geológica Argentina (Comunicación)* 58: 664-668.
- Cox, K. G., Bell, J. D. y Pankhurst, R. J. 1979.

The interpretation of Igneous rocks. Unwin Hyman Ltd., 450 p., London.

- Czamanske, G. K. y Wones, D. R. 1973. Oxidation during magmatic differentiation. Finnmarka Complex, Oslo Area, Norway: Part 2, The mafic silicates. *Journal of Petrology* 14: 349-380.
- Deer, W. A., Howie, R. A. y Zussman, J. 1992. An Introduction of the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific and Technical, Segunda Edición, 696 p.
- Dorais, M. J. 1990. Compositional variations in pyroxenes and amphiboles of the Belknap Mountain complex, New Hampshire. Evidence for the origin of silica-saturated alkaline rocks. *American Mineralogist* 75: 1092-1105.
- González, R. R. y Toselli, A. 1975. La efusividad del Mesozoico argentino y su relación con áreas sudamericanas. *Anais do 25º Congresso Brasileiro de Geologia*: 259-272, São Paulo.
- Gordillo, C. E. y Lencinas, A. N. 1969. Geología y Petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores (Córdoba). *Academia Nacional de Ciencias, Boletín* 46 (1): 73-10, Córdoba.
- Kay, S. M. y Ramos, V. A. 1996. El magmatismo cretácico de las Sierras de Córdoba y sus implicancias tectónicas. 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 453-464, Buenos Aires.
- Koukharsky, M., Munizaga, F., Leal, P. R., Correa, M. J. y Brodtkorb, M. K. de 1999. New K/Ar ages in the Ambargasta and Norte de Córdoba ranges, Argentina. 2º South American Symposium on Isotope Geology, 76-77, Villa Carlos Paz.
- Koukharsky, M., Tassinari, C., Brodtkorb, M. K. de y Leal, P. 2001. Basaltos del Neopaleozoico-Triásico temprano? en las Sierras Norte de Córdoba y de Ambargasta, Sierras Pampeanas Orientales: petrografía y edades K/Ar. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (3): 400-403.
- Koukharsky, M., Brodtkorb, M. K. de, Ramos, V. A., Kay, S. M. y Leal, P. 2002. Magmatismo básico y ultrabásico del neopaleozoico en las Sierras Pampeanas y regiones aledañas. En C. A. Cingolani, N. Cabaleri, E. Linares, M. G. López de Luchi, H. A. Ostera y H. O. Panarello (eds.) 15º Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 105-110. El Calafate.

- Leal, P. R., Hartmann, L. A., Santos, J. O. S., Miró, R. C. y Ramos, V. 2003. Volcanismo postorogénico en el extremo norte de las Sierras Pampeanas Orientales: Nuevos datos geocronológicos y sus implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 593-607.
- Le Maitre, R. W. 1989 (ed.). *A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*. Blackwell, 193 p., Oxford.
- Linares, E. y González, R. R. 1990. Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina. *Asociación Geológica Argentina. Publicación especial Serie B (Didáctica y Complementaria)* 19, 627 p.
- Lira, R., Millone, H. A., Kirschbaum, A. M. y Moreno, R. S. 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte-Ambargasta ranges, central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 157-177.
- Meschede, M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology* 56: 207-218.
- Middlemost, E. A. K. 1975. The basalt clan. *Earth Sciences Reviews* 11: 337-364.
- Millone, H. A., Tassinari, C. G. C., Lira, R. y Poklepovic, M. F. 2003. Age and Strontium-Neodymium Isotope Geochemistry of Granitoids of the Sierra Norte-Ambargasta Batholith, Central Argentina. 4^o South American Symposium on Isotope Geology, 617-620, Bahia.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K. y Gottardi, G. 1988. Nomenclature of Pyroxenes. *American Mineralogist* 73: 1123-1133.
- Pearce, J. A. 1996. A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams. En: Wyman, D.A. (Ed.) *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration*, Geological Association of Canada, Short Course Notes 12: 79-113.
- Pearce, J. A. y Cann, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses: *Earth and Planetary Science Letters* 19: 290-300.
- Pe-Piper, G. 1988. Calcic amphiboles of mafic rocks of the Jeffers Brook plutonic complex, Nova Scotia, Canada. *American Mineralogist* 73: 993-1006.
- Pouchou, J. L. y Pichoir, F. 1985. "PAP" (phi-rho-z) procedure for improved quantitative microanalysis. En Armstrong, J. T. (ed.) *Microbeam analysis*. San Francisco Press, 104-106., San Francisco.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J. y Bonalumi, A. A. 1991. Edad y geoquímica del pórfido granítico de Oncán, Sierra Norte de Córdoba, Sierras Pampeanas, Argentina. 6^o Congreso Geológico Chileno, Actas: 19-22, Viña del Mar.
- Sun, S. S. y McDonough, W. F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. En A. D. Saunders y M. J. Norry (eds.) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society, Special Publications 42: 313-345, Londres.
- Viramonte, J. G. 1972. Los diques básicos de Caspi Cuchuna, Sierra Norte-Córdoba. *Boletín de la Asociación Geológica de Córdoba* 1(3-4): 135-136.
- Wilkinson, J. F. G. 1986. Classification and Average Chemical Compositions of Common Basalts and Andesites. *Journal of Petrology* 27: 31-62.
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Chapman & Hall, 446 p., Londres.
- 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.
- Wood, D. A., Joron, J.-L. y Treuil, M. 1979. A reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letters* 45: 326-336.

Recibido: 27 de junio, 2005

Aceptado: 20 de abril, 2006