

OBSIDIANA GRIS PORFÍRICA CALCO-ALCALINA DEL VOLCÁN CHAITÉN EN SITIOS ARQUEOLÓGICOS AL SUR DEL RÍO SANTA CRUZ, PATAGONIA MERIDIONAL

CHARLES R. STERN^{*}, SOLEDAD CARACOTCHE^{**}, ISABEL CRUZ^{***} Y JUDITH CHARLIN^{****}

RESUMEN

En el Parque Nacional Monte León y el Campo Volcánico Pali Aike se han recuperado un núcleo y dos lascas de obsidiana gris porfírica riolítica, la cual es químicamente diferente a los tipos más comunes de obsidiana (negra, gris verdosa veteada y verde) descritos para esta área del sur de Patagonia. Esta obsidiana gris porfírica tiene mayores concentraciones de Sr y Ba y menores concentraciones de Zr, Y, Nb, Th, Hf y Yb que los otros tres tipos de obsidiana. En estos aspectos, esta obsidiana se asemeja más a las riolitas calco-alcálicas de volcanes andinos que a las riolitas peralcalinas asociadas con el vulcanismo de retroarco de las mesetas basálticas de Patagonia. Sin embargo, esta obsidiana gris porfírica tiene baja Sr/Y (<20) y es químicamente diferente de las adakitas (Sr/Y >30) emitidas por los volcanes de la Zona Volcánica Austral (49-54°S) en el extremo sur de los Andes, ubicada directamente al oeste de Monte León y Pali Aike. Además, hasta la fecha no se ha identificado obsidiana riolítica en estos volcanes australes. Por otra parte, estas muestras de obsidiana gris porfírica tienen similitudes visuales y químicas con la obsidiana gris porfírica del Volcán Chaitén (42°50'S) situado a más de 1100 km al noroeste.

PALABRAS CLAVE: obsidiana, Patagonia, Monte León, Pali Aike, volcán Chaitén.

^{*} Department of Geological Sciences, University of Colorado, Boulder, Colorado 80309-0399 USA. charles.stern@colorado.edu.

^{**} Delegación Regional Patagonia, APN, Vicelmirante O'Connor (8400) S. C. de Bariloche, Río Negro, Argentina. scaracotche@apn.gov.ar.

^{***} UARG -UNPA, Lisandro de la Torre 1070 (9400) Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina. isabelcruz55@yahoo.com.ar.

^{****} CONICET-IMHICIHU, UBA, Saavedra 15 5º piso (1083 ACA), C.A.B.A, Argentina. judith_charlin@yahoo.com.ar.

PORPHYRITIC GREY CALC-ALKALINE OBSIDIAN FROM CHAITÉN VOLCANO IN
ARCHAEOLOGICAL SITES SOUTH OF THE SANTA CRUZ RIVER, SOUTHERNMOST PATAGONIA

ABSTRACT

One core and two flakes of porphyritic grey rhyolite obsidian from Parque Nacional Monte León and the Pali Aike volcanic field are chemically different than the more common black, banded grey-green and green obsidian types previously described from this area of southernmost Patagonia. This porphyritic grey obsidian has higher concentrations of Sr and Ba and lower concentrations of Zr, Y, Nb, Th, Hf and Yb than these other three obsidian types. In these respects this obsidian resembles calc-alkaline rhyolite from Andean volcanoes rather than the peralkaline rhyolite associated with Patagonian back-arc basaltic plateau volcanism. However, this porphyritic grey obsidian has low Sr/Y (<20) and is chemically distinct from the adakitic (Sr/Y >30) erupted from volcanoes in the Austral Volcanic Zone (49-54°S) of the southernmost Andes, located directly to the west of Monte León and Pali Aike. Furthermore, no rhyolite obsidian has ever been identified in these austral volcanoes. Instead, these samples of porphyritic grey obsidian have visual and chemical similarities to porphyritic grey obsidian from the Chaitén volcano (42°50'S) located over 1100 km to the northwest.

KEY WORDS: obsidian, Patagonia, Monte León, Pali Aike, Chaitén volcano

INTRODUCCIÓN

A partir de materiales provenientes de sitios arqueológicos del sur de Patagonia se han descrito varios tipos de obsidiana: negra de Pampa del Asador, gris verdosa veteada de Cordillera Baguales y verde del Seno de Otway (Fig. 1; Stern 2004a). Aquí describiremos una obsidiana gris porfírica visualmente diferente de los otros tipos, recuperada en sitios arqueológicos del Parque Nacional Monte León (PNML; Caracotche *et al.* 2005) y el Campo Volcánico Pali Aike (CVPA; Skewes 1978; Charlin 2009a), dos localidades ubicadas al sur del río Santa Cruz (Figs. 1 y 2; Tabla 1). Esta obsidiana gris porfírica difiere visualmente y químicamente de los otros tres tipos previamente descritos, los cuales son más abundantes en estas áreas, pero es muy similar a la obsidiana gris porfírica del volcán Chaitén (Fig. 3) en la cadena volcánica de los Andes más de 1100 km a la noroeste (Fig. 1).

LAS MUESTRAS

En el Parque Nacional Monte León se han recuperado diversos artefactos en obsidiana, la mayor parte de los cuales corresponden a los tipos negro, verde y gris verdoso veteado (Caracotche *et al.* 2005; Cruz *et al.* 2011). En dos sectores del

Parque también se registraron muestras correspondientes al tipo gris porfírico que se presenta en este trabajo. La primera de estas muestras es un núcleo (3,7cm de largo x 2,8 de ancho x 2,7 de espesor; Fig. 3) que se ubicaba sobre la terraza de 300 msnm, observado en superficie y asociado a algunas lascas durante el relevamiento de la zona norte del Parque, sector para el que aún no se posee información cronológica. La segunda muestra está integrada por una lasca pequeña proveniente de Cabeza de León, una amplia concentración arqueológica en la que se están desarrollando trabajos sistemáticos desde 2004 y para la que se cuenta con un fechado de 970 ± 100 AP (Caracotche *et al.* 2005; Cruz *et al.* 2010, 2011). La lasca se recuperó en un perfil expuesto sobre el borde de un cañadón, que se está monitoreando desde marzo de 2009 con el fin de conocer diversos aspectos de la dinámica de formación y modificación de este depósito por procesos ambientales.

La muestra de obsidiana gris porfírica del campo volcánico Pali Aike procede del sitio Frailes 2, un alero actualmente colapsado localizado en un alineamiento de ocho conos volcánicos de dirección NW-SE, conocido localmente como Cerro de los Frailes (Fig. 2). Dicho afloramiento es el más oriental del CVPA, ubicado aproximadamente a 25 km de la costa Atlántica. El mismo forma parte de la

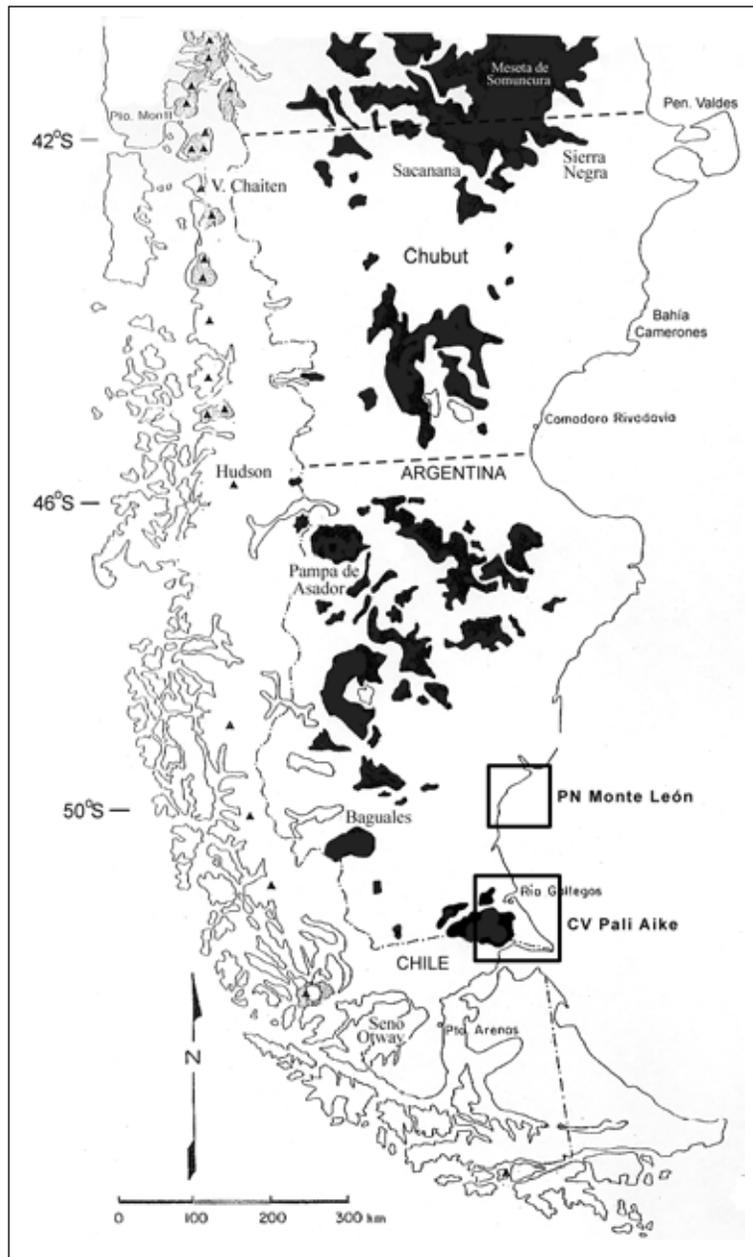


Fig. 1. Mapa de ubicación del Parque Nacional Monte León y Campo Volcánico Pali Aike donde fueron encontradas las muestras de obsidiana gris. La ubicación de las obsidianas se indica en mapas más detallados de la zona (Figura 2), señaladas por los círculos. Esta figura también muestra la ubicación de los volcanes del arco Andino y de las lavas Patagónicas de retro-arco, y las fuentes más comunes de los distintos tipos de obsidianas en el sur de la Patagonia que incluyen obsidiana negra de Pampa de Asador, obsidiana bandeada gris-verdosa bandeada de la Cordillera Baguales, obsidiana verde de Seno Otway, obsidiana translúcida gris a negra de Sacanana y Telsen, y obsidiana gris porfírica del Volcán Chaitén.

Tabla 1. Ubicación y descripción de las muestras.

Muestra	Latitud °S	Longitud °W	Ambiente	Contexto	Comentario
P.N. Monte León					
M11 Zona Norte	50°15'36.2"S	68°48'17.7"W	terrazza alta	Superficie	núcleo
A1 Cabeza de León	50°20'56.8"S	68°53'17.5"W	perfil expuesto	Superficie	lasca
C.V. Pali-Aike					
#1 Alero Frailes 2	51°51.156'S	69°10.345"W	paredón rocoso	Superficie	lasca

unidad volcánica nº2 identificada por D'Orazio *et al.* (2000), presentando una edad de 0.31 ± 0.03 m.a (Meglioli 1992). Las prospecciones realizadas a lo largo de Cerro de los Frailes mostraron evidencias de ocupaciones humanas en la mayoría de los conos volcánicos (Charlin 2009a).

La muestra artefactual de obsidiana gris porfírica aquí analizada procede de la superficie del alero Frailes 2, actualmente un paredón rocoso con escaso reparo (<1 m) de aproximadamente 43,4 m de largo, el cual presenta materiales dispersos en superficie en un área de ca. 18,2 x 8,4 m. El mismo se encuentra ubicado en la parte externa del cono más meridional del alineamiento volcánico, con orientación hacia el este.

Este artefacto de obsidiana gris porfírica es una lasca secundaria entera (de 13 x 15 x 4 mm), con un 40% de corteza sobre la cara dorsal y talón facetado con un ángulo entre 80-100°. En este sitio también se recuperaron tres desechos de talla y un núcleo en obsidiana gris verdosa veteada y dos desechos de talla en la variedad negra. Análisis geoquímicos previos realizados sobre el núcleo determinaron su procedencia de la cordillera Baguales (Charlin 2009b).

Artefactos en obsidiana negra, verde, gris verdosa veteada y gris, en variedades aún no determinadas, también fueron recuperados en otros sitios del CVPA (Charlin 2009a y 2009b), incluidas las cuevas Pali Aike y Fell (Stern 2000). Según inspección visual, las variedades grises han sido registradas en La Carlota (en las cuadrículas 2 y 3), localizada en el curso medio del río Gallegos, en Cóndor 1 (en superficie y en las cuadrículas 4E y 12H) y Norte 1 (sondeo 1), ambos sitios ubicados al sur del río Chico, y en laguna Azul (transecta 1), hacia el extremo SE del CVPA, en cercanías de la frontera con Chile (Charlin 2009a). Debemos tener recaudos en cuanto a la abundancia y distribución de las variedades grises, al menos en el CVPA, ya que se han observado diferencias (macroscópicas) en la distribución del color entre estos artefactos. En algunos casos el color gris se presenta bajo la forma de motas o bandas y en otros su distribución es homogénea, pero varía su opacidad registrándose casos traslúcidos y casos opacos. Esto nos conduce a pensar que podría tratarse de diferentes variedades.

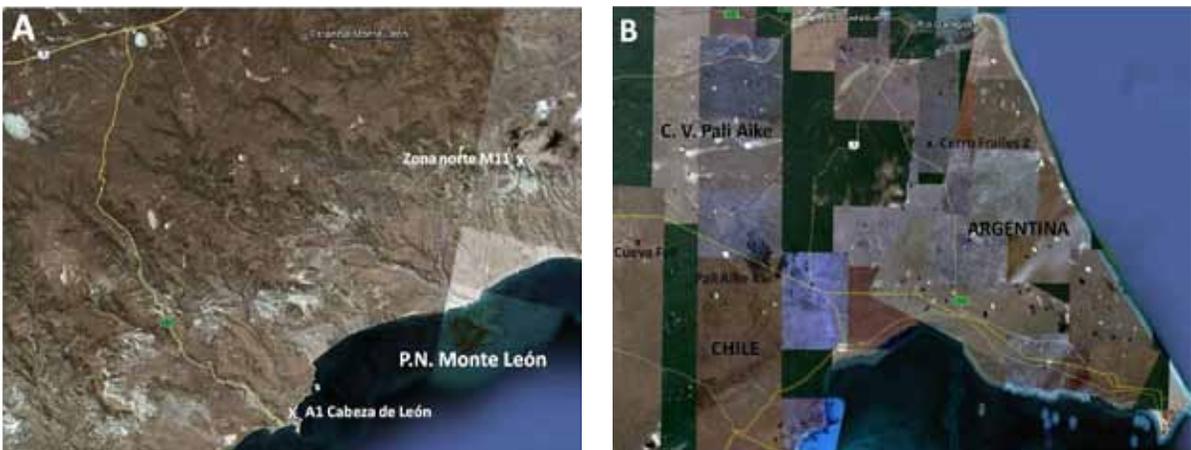


Fig. 2. Ubicación de las muestras de las zonas de P. N. Monte León (A) y C.V. Pali Aike (B).



Fig. 3. Fotografía de la muestra M11 de obsidiana gris porfírica de P. N. Monte León (pequeña muestra a la derecha) y la obsidiana porfírica gris del Volcán Chaitén (a la izquierda).

PETROQUÍMICA

Las tres muestras de obsidiana gris porfírica de Monte León y Pali Aike son visualmente y químicamente similares. Son de color gris, con una pequeña cantidad de cristales de plagioclasa blanca (Fig. 3) y visualmente se asemejan a la obsidiana gris porfírica del volcán Chaitén.

Químicamente, su composición de elementos traza es claramente diferente a la de las obsidianas negra, verde y gris verdosa veteada previamente reportadas para el área (Stern 2000 y 2004a). Esta nueva obsidiana gris porfírica tiene valores más altos de Sr y Ba y más bajos de Zr, Y, Nb, Th, Hf y Yb que los de los otros tres tipos de obsidianas (Fig. 4). En estos aspectos difiere de todas las obsidianas peralcalinas asociadas a los basaltos de retroarco de

Tabla 2. Contenido de elementos trazas (en ppm) en las tres muestras.

Area	P.N. Monte León				C.V. Pali-Aike	Vn Chaitén
Sitio	Zona Norte		Cabeza de León		Alero Frailes 2	
Muestra	M11	repetida	A1	repetida	#1	Promedio
Lab #	CS1122	CS1525	CS1132	CS1524	CS831	
Ti	494	584	483	622	533	594
Mn	473	470	469	502	494	457
Rb	167	153	166	160	146	125
Sr	172	182	160	160	156	154
Y	10	10	11	11	10	12
Zr	53	54	61	62	65	88
Nb	10	9	12	13	13	11
Cs	6.4	6.7	5.4	5.3	5.6	7.7
Ba	427	480	475	497	526	660
Hf	2.8	2.5	2.6	2.7	3.2	2.9
Pb	17.8	19.9	17.4	18.6	16.5	19.5
Th	15.0	14.8	12.6	12.2	13.3	13.4
U	3.9	4.1	3.8	3.1	3.2	3.5
La	22.2	23.7	27.9	27.3	27.7	28.2
Ce	43.9	45.5	56.1	52.7	52.6	50.3
Pr	4.60	4.92	5.64	5.72	5.77	5.49
Nd	16.2	17.9	19.8	20.3	22.4	18.7
Sm	3.19	3.77	3.72	4.24	3.94	2.96
Eu	0.56	0.75	0.64	0.69	0.84	0.56
Gd	3.36	3.84	3.44	4.10	3.52	3.71
Tb	0.36	0.43	0.38	0.46	0.42	0.40
Dy	1.73	1.84	2.04	1.92	1.94	2.08
Ho	0.31	0.35	0.37	0.36	0.33	0.41
Er	0.80	1.05	1.03	0.95	1.02	1.18
Tm	0.11	0.11	0.12	0.11	0.13	0.21
Yb	0.78	0.82	0.84	0.89	0.96	1.29
Lu	0.11	0.10	0.12	0.10	0.13	0.19

la meseta patagónica y se asemeja más a las rocas calco-alcálicas de los Andes, como la obsidiana riolítica del volcán Chaitén, a la cual la obsidiana gris se asemeja químicamente (Tabla 2 y Fig. 4). Las bajas concentraciones de Zr, Y, Nb, Th, Hf y Yb en rocas volcánicas calco-alcálicas de bordes de placas convergentes, como los volcanes de los Andes, resultan del hecho que estos elementos no son solubles en agua, y este tipo de vulcanismo está relacionado con la deshidratación de la corteza oceánica subductada, la cual enriquece el manto por debajo de los volcanes de arco en elementos solubles en agua, tales como Sr y Ba, pero no en elementos insolubles (Stern 2004b).

Sin embargo, estas obsidianas gris porfíricas son también diferentes a las adakitas eruptadas de los volcanes de la Zona Volcánica Austral (AVZ; Fig. 1). Estas adakitas tienen $Sr/Y > 30$ (Fig. 5; Stern y Kilian 1996), mientras que las obsidianas gris porfíricas de los sitios arqueológicos tienen $Sr/Y < 20$ similares a las riolitas del Volcán Chaitén (Tabla 2). Por otra parte, ninguna obsidiana riolítica ha sido encontrada en asociación con los volcanes de la Zona Volcánica Austral.

DISCUSIÓN

Las muestras de obsidiana gris porfírica descritas en este trabajo son mucho menos comunes que las obsidianas negra, gris verdosa veteada y

verde que derivan de Pampa del Asador, Cordillera Baguales y Seno de Otway respectivamente, en el sur de Patagonia meridional. Su química sugiere, con certeza, que estos restos derivan de una fuente independiente de las de obsidiana negra, verde y gris verdosa veteada encontradas en este área, y muy probablemente sea una fuente volcánica de los Andes.

Sin embargo, no se conoce ninguna obsidiana riolítica de la zona Volcánica Austral Andina, que se extiende directamente al oeste de Monte León y Pali Aike, entre los 49° y 54° de latitud (Fig. 1; Stern y Kilian 1996; Stern, 2004b; Stern *et al.* 2007). Estos volcanes están formados por andesitas y dacitas adakíticas, y si bien han producido tefras riolíticas asociadas a erupciones explosivas (Stern 2008), no han producido domos de obsidiana riolítica.

El volcán Andino conocido más cercano con obsidiana riolítica es el Chaitén, ubicado más de 1100 km al noroeste en el lado chileno de la cordillera de los Andes. Las muestras de obsidiana gris descritas aquí son similares visualmente y químicamente a esta obsidiana (Figs. 3, 4, y 5). Por lo tanto, su escasez es consistente con una fuente remota como el volcán Chaitén y esta es la única posible fuente conocida hasta el momento.

Sin embargo, la obsidiana del Chaitén no ha sido encontrada al este de la divisoria de aguas en Argentina, incluso a la misma latitud que el volcán Chaitén, lo que sugiere que la cordillera de los Andes

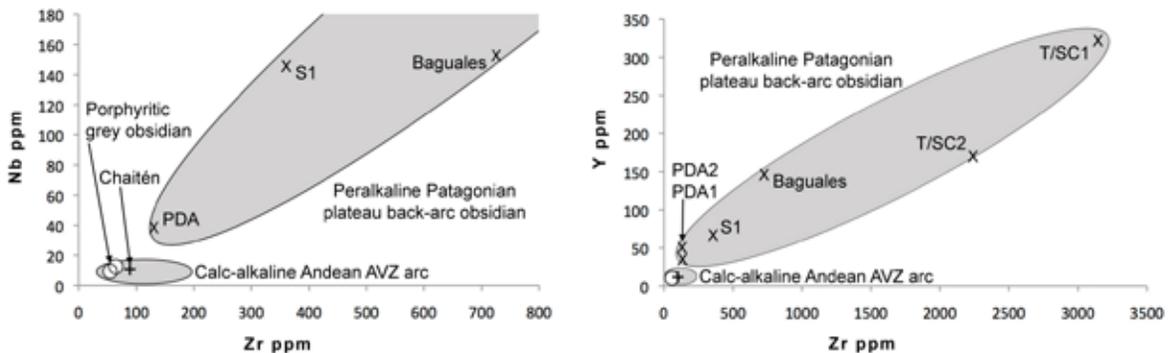


Fig. 4. Concentraciones en partes por millón de Zr (Zirconio) versus Nb (Niobium) e Y (Yttrium) de la obsidiana gris porfírica cerca del la costa Atlántica en el extremo sur de la Patagonia (círculos abiertos; Tabla 2) comparada con obsidianas gris del Volcán Chaitén en el arco Andino (+; Tabla 2, Stern 2004a) y obsidianas peralkalina asociadas con las mesetas de lavas retro-arco de la Patagonia. (x's; Stern, 2004a), incluyendo obsidianas de la Cordillera Baguales, Pampa Asador (PDA1 y PDA2), Sacanana (S1) y cerca de Telsen (T/SC1 y T/SC2). La figura ilustra las similitudes químicas de las obsidianas gris porfírica del extremo sur de la Patagonia con las obsidianas de Volcán Chaitén y con la de otras rocas volcánicas calco-alcálicas del arco Andino y las diferencias con las obsidianas peralkalinas de retro-arco.

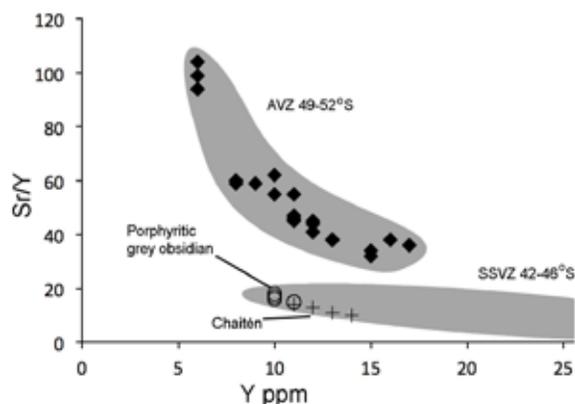


Fig. 5. Sr (Estroncio en ppm) versus Sr/Y (Ytrio) para las muestras de obsidiana porfírica gris de PN Monte León y CV Pali-Aike (Tabla 2) comparada con la obsidiana gris del Volcán Chaitén (44°S; Stern 2004a) en la parte sur de la Zona Volcánica Andina Sur (42-46°S; SSVZI Stern 2004b). La figura también muestra el campo para otras rocas volcánicas del SSVZ y adakitas de la Zona Volcánica Austral (49-54°S; AVZ; Stern y Kilian 1996) situada directamente al oeste de P. N. Monte León y CV Pali-Aike. Los artefactos de obsidiana porfírica gris son químicamente distintos de las adakitas eruptadas en la zona Andina Austral (AVZ) y obsidias riolíticas no han sido encontradas en estos volcanes.

es una barrera biogeográfica (Méndez Melgar *et al.*, 2010) y que los cazadores-recolectores terrestres de las pampas al este de los Andes en Patagonia no intercambiaron por lo menos esta obsidiana, a esta latitud. Aunque la obsidiana del Chaitén ha sido ampliamente explotada y transportada por los indios canoeros a lo largo de la costa meridional de Chile, hasta tan al norte como Chan Chan cerca de Valdivia y tan al sur como las cercanías de Aisén, al norte de la península Taitao (Stern *et al.* 2002; Reyes *et al.*, 2007), hasta el momento no ha sido encontrada al sur de esta península.

Si las obsidias porfíricas de color gris de Monte León y el Campo Volcánico Pali Aike provienen de Chaitén, es necesario comprender cuáles fueron las vías por las que llegaron a este sector del sur de Patagonia continental. Para ello, en primer lugar debería profundizarse la búsqueda y reconocimiento de esta obsidiana en los conjuntos líticos de la región, de manera tal que sea posible establecer si la distribución cercana a la costa que muestran los hallazgos en ambas localidades se vincula con el modo de aprovisionamiento humano de esta obsidiana o si obedece a que la misma todavía no se ha detectado en el interior del continente. En segundo lugar, si se confirma esta distribución costera, será necesario explicar la forma en que circuló esta materia prima a partir de varias líneas de evidencia, preferentemente independientes entre sí. De esta

forma, la presencia de este tipo de obsidiana en un lugar tan alejado de su fuente de aprovisionamiento será un elemento más para discutir la forma en que las poblaciones humanas utilizaron el espacio y sus recursos en el sur del continente.

AGRADECIMIENTOS

Los trabajos en el P. N. Monte León se efectúan en el marco de los Proyectos PIP/CONICET 112-200801-00996, 29/A206-1 UNPA y 05/F723 SeCyT- UNC. Las investigaciones en Pali Aike han sido financiadas por los proyectos PIP-CONICET 2390, PIP- CONICET 5676, PICT-ANPCyT 04-9498, Grant-National Geographic Society 7736-04, UBACyT F133 y actualmente por PICT-ANPCyT 2008 n° 15.

BIBLIOGRAFÍA

- CARACOTCHE, M. S., I. CRUZ; S. ESPINOSA, F. CARBALLO y J. B. BELARDI 2005. Rescate arqueológico en el Parque Nacional Monte León (Santa Cruz, Argentina). *Magallania* 33 (2):143-163.
- CHARLIN, J. 2009a. *Estrategias de aprovisionamiento y utilización de las materias primas líticas en el campo volcánico Pali Aike (Prov. Santa Cruz, Argentina)*. British Archaeological Reports, Internacional Series 1901, Archaeopress, Oxford.

- 2009b. Aprovechamiento, explotación y circulación de obsidias durante el Holoceno tardío en Pali Aike (Prov. Santa Cruz). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXIV*: 53-74.
- CRUZ, I., A. S. MUÑOZ y P. A. LOBBIA. 2010. Zooarqueología al sur del río Santa Cruz (Patagonia Argentina). Los restos de fauna de P 96 (Punta Entrada) y CL 1 (P. N. Monte León). En: *Arqueología Argentina en el Bicentenario de la Revolución de Mayo*, (J. R. Bárcena y H. Chiavazza, Eds) Tomo I, pp. 315-320. Universidad Nacional de Cuyo – Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, CONICET. Mendoza.
- CRUZ, I., M. S. CARACOTCHE, A. S. MUÑOZ, J. A. SUBY, P. A. LOBBIA, B. ERCOLANO y D. CAÑETE MAS-TRÁNGELO. 2011. Obsidias y otros indicadores de circulación y uso del espacio en Punta Entrada y P. N. Monte León (Santa Cruz, Argentina). Trabajo presentado en las VIII Jornadas de Arqueología de Patagonia, Malargüe, Argentina.
- D'ORAZIO, M., S. AGOSTINI, F. MAZZARINI, F. INNOCENTI, P. MANETTI, M. J. HALLER y A. LAHSEN. 2000. The Pali Aike volcanic Field, Patagonia: Slab-Window Magmatism near the Tip of South America. *Tectonophysics* 321: 407-427.
- MEGLIOLI, A. 1992. Glacial geology and chronology of southernmost Patagonia and Tierra del Fuego, Argentina and Chile. Tesis doctoral. Universidad de Lehigh.
- MÉNDEZ MELGAR C., C. R. STERN y O. REYES BÁEZ. 2010. Transporte de obsidias a lo largo de los Andes de Patagonia central Aisén, Chile). *Casadores Terrestres* 3: 53-71.
- REYES, O., C. MENDEZ MELAGAR, M. SAN ROMÁN, P. CÁRDENAS, H. VELÁQUEZ, V. TREJO, F. MORELLO y C. R. STERN. 2007. Seno Gala I: Nuevos resultados en la arqueología de los canales septentrionales (44°S, Región de Aisen, Chile). *Magallania* 35(2): 105-119.
- SKEWES, M. A. 1978. Geología, petrología, quimismo y origen de los volcanes del área de Pali-Aike, Magallanes, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia* 9: 95-106.
- STERN, C. R. 2000. Fuentes de artefactos de obsidiana en los sitios arqueológicos de Pali Aike y Cueva de Fell, Patagonia Austral. *Anales del Instituto de la Patagonia* 28: 251-263.
- 2004a. Obsidian source and distribution in southernmost Patagonia: review of the current information. En: *Contra Viento y Marea: Arqueología de Patagonia*, (M.T. Civalero, A. Guraieb y R. Fernández, Eds), Miramar Publishing, Buenos Aires, p. 167-178.
- 2004b. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile* 31 (2):161-206.
2008. Holocene tephrochronology record of large explosive eruptions in the southernmost Patagonia Andes. *Bulletin of Volcanology* 70:435-454.
- STERN, C. R. y R. KILIAN. 1996. Role of subducted slab, mantle wedge and co continental crust in the generation of adakitic andesites from the Austral Volcanic Zone, southernmost Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123: 263-281.
- STERN, C. R., X. NAVARRO y J. MUÑOZ. 2002. Obsidiana gris translúcida del volcán Chaitén en los sitios arqueológicos de Quilo (Isla Grande de Chiloe) y Chachan (X región), Chile, y obsidiana de Mioceno en Chiloe. *Anales del Instituto de la Patagonia* 30: 167-174.
- STERN, C. R., H. MORENO, L LÓPEZ-ESCOBAR, J. E. CLAVERO, L. E. LARA, J. A. NARANJO, M. A. PARADA, y M. A. SKEWES. 2007. Chilean Volcanoes. En: *The Geology of Chile*, (T Moreno & W. Gibbons, Eds), Geologic Society of London, Chapter 5, pp. 149-180.