

GEOQUIMICA DE LA ZONA CAOLINIZADA DE MINA ESTRELLA GAUCHA, PROVINCIA DE CHUBUT

Pedro J. MAIZA^{1,2}, Silvina A. MARFIL^{1,3}, Esteve CARDELLACH⁴ y Juan ZUNINO¹

¹ Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur. San Juan 670. 8000 Bahía Blanca. Email: smarfil@uns.edu.ar.

² CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

³ CIC (Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires)

⁴ Universidad Autónoma de Barcelona

RESUMEN

Mina Estrella Gaucha es un yacimiento de caolín ubicado a 70 km de la localidad de Alto Río Senguerr, provincia de Chubut, emplazado en areniscas tobáceas y conglomerádicas de la Formación Apeleg de edad cretácica inferior. La mineralogía de la zona estudiada es muy homogénea y está constituida por dickita prácticamente pura con muy escasa cantidad de alunite y un contenido variable de cuarzo. A escala del yacimiento se desarrolla una zonación en la que se distinguen cuatro zonas de alteración, distribuidas de techo a piso de la forma siguiente: 1) nivel superior silicificado; 2) zona alunitezada; 3) zona caolinizada y 4) zona de sericita-clorita. Con el fin de determinar el origen del depósito se ha llevado a cabo un estudio mineralógico, de geoquímica de elementos mayores, menores y traza y de los isótopos estables de O y H de la zona caolinizada. Los análisis químicos de elementos mayoritarios confirman que se trata de caolín prácticamente puro. El contenido de elementos traza y las relaciones (P vs. S, Zr vs. Ti, Cr + Nb vs. Ti + Fe, y Ce + Y + La vs. Ba + Sr) sugieren que el caolín se ha formado por alteración hidrotermal de las tobas volcánicas encajantes. La composición isotópica de los caolines muestran valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre +5,1 y +8,8 ‰ y de D entre -82 y -89‰, compatibles con un origen hidrotermal de los mismos.

Palabras clave: *Caolín, Isótopos, Geoquímica, Alteración hidrotermal.*

ABSTRACT: *Geochemistry of the kaolinized zone of Estrella Gaucha mine, Province of Chubut.* Estrella Gaucha mine is situated 70 km of Alto Río Senguerr (Province of Chubut). It is a kaolin deposit hosted by sandy and conglomeratic tuffs of the Apeleg Formation (Lower Cretaceous). The mineralogy of the zone is very homogeneous and it is characterized by dickite almost pure, traces of alunite and quartz. There are four alteration zones. 1) silicification; 2) zone with alunite; 3) kaolinized zone and 4) zone with sericite - chlorite. In order to know the origin of the deposit a mineralogical, geochemical (major and trace elements) and stable isotope study (O and H) of the kaolinized zone was carried out. Trace element content and ratios of kaolin samples (P vs. S, Zr vs. Ti, Cr + Nb vs. Ti + Fe, and Ce + Y + La vs. Ba + Sr) suggest they are formed from hydrothermal alteration of the enclosing rocks. $\delta^{18}\text{O}$ values of kaolin range from +5.1 to +8.8 ‰ and D varies from -82 to -89‰. These values are compatible with fluids of hydrothermal origin.

Keywords: *Kaolin, Isotopes, Geochemistry, Hydrothermal alteration.*

INTRODUCCIÓN

En las provincias de Chubut y Santa Cruz existen numerosos yacimientos de caolín, algunos de gran extensión areal como los del valle del río Chubut; lotes 8, 18, 19 y Cerro Rubio. Dichos depósitos son de origen residual y sedimentario, formados a partir de la alteración de materiales volcánicos, especialmente tobas, de composición riolítica de edad jurásica media-superior.

En esta misma provincia existe otro grupo de depósitos de caolín cuya génesis se

relaciona con fenómenos de alteración hidrotermal. Un ejemplo de ellos es Mina Estrella Gaucha, depósito estudiado por Hayase *et al.* (1971), Maiza (1972, 1981) y Maiza y Hayase (1975), quienes determinaron la existencia de cuatro zonas de alteración: zona silicificada; zona alunitezada; zona caolinizada y zona de sericita-clorita. Dichos autores concluyeron que el origen del yacimiento es de tipo epigenético-hidrotermal y desarrollaron un modelo conceptual para explicar la zonación del mismo.

Existen diversos métodos para poder

distinguir entre procesos supergénicos e hidrotermales generadores de mineralizaciones de caolín. Entre ellos, han demostrado ser especialmente eficaces, las relaciones P/S, Zr/Ti, Cr+Nb/Ti+Fe y Cr+Y+La/Ba+Sr (Dill *et al.* 1997) y la composición isotópica del O y del H del caolín (Savin y Lee 1988, Sheppard y Gilg 1996). A partir de nuevos datos mineralógicos y geoquímicos tales como elementos traza y composición isotópica de los caolines, el presente trabajo pretende definir con mayor precisión el origen de la mineralización de caolín de Es-

trella Gaucha así como poner de manifiesto la influencia de los procesos hidrotermales en la génesis de los depósitos de caolín a nivel regional.

SITUACIÓN GEOLÓGICA

El yacimiento de caolín de Estrella Gaucha se encuentra ubicado a 70 km de la localidad de Alto Río Senguerr en la provincia de Chubut, a unos 20 km al sudoeste de la Aldea Apeleg (Fig. 1). Está situado en el flanco sudeste del denominado Cerro Bayo, a una altura de 1.620 metros sobre el nivel del mar.

El basamento del área está constituido por areniscas, conglomerados y tobas de la Formación Apeleg del Cretácico inferior. Por encima de él se dispone una potente secuencia volcánica, constituida por riolitas, tobas riolíticas y aglomerados de la Formación Payaniyeu. Si bien en el área no fueron halladas, Ploszkiewicz y Ramos (1977), mencionan el afloramiento de facies lávicas andesíticas y dacíticas de la Formación Ñirehuao que en transición pasan a un conjunto de lavas e ignimbritas dacíticas de la Formación Gato cuya máxima expresión se encuentra en la sierra homónima al sur de Estrella Gaucha. Este conjunto de volcanitas y piroclastitas se desarrolló también durante el Cretácico inferior.

Las rocas aflorantes en la zona de estudio están constituidas por areniscas conglomerádicas y conglomerados polimícticos. Presentan una diagénesis moderada y están groseramente estratificadas. Los componentes líticos predominantes son volcanitas riolíticas-andesíticas, pelitas y areniscas con cemento silíceo. Estas rocas constituyen la base del yacimiento, presentándose fuertemente cloritizadas y con importantes concentraciones de óxidos de hierro (Fig. 2). Cabe destacar la alteración selectiva de los componentes líticos, aparentemente relacionada con texturas y mineralogías distintas. En ellos es posible observar clastos reemplazados pseudomórficamente por clorita, caolinita, alunita y cuarzo. Algunos clastos conservan sus texturas originales y en otros el

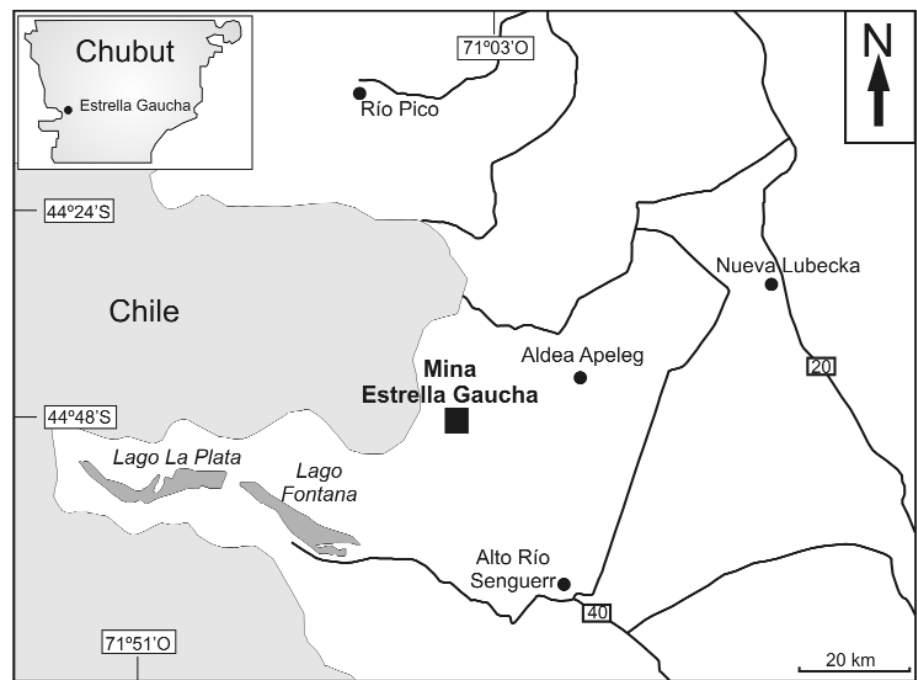


Figura 1: Mapa de ubicación

reemplazo es masivo, constituyendo masas monominerales.

La mineralización de caolín de Estrella Gaucha se desarrolla en riolitas, dacitas y sus tobas consanguíneas de la Formación Payaniyeu del Cretácico inferior, en el contacto con las areniscas tobáceas y conglomeráticas de la Formación Apeleg. La relación entre ambas formaciones no es clara debido a los procesos de alteración que se desarrollaron en la zona de transición, pero se asume una cierta concordancia, criterio que es sustentado por varios autores para zonas vecinas (Ploszkiewicz y Ramos 1977). Estas formaciones volcánicas están intruidas por diques riolíticos de la Formación Gato y andesíticos de la Formación Ñirehuao.

En la zona mineralizada, se ha reconocido un dique de orientación OSO-ENE, de unos 15 metros de potencia, de composición andesítico-dacítica, muy alterado, cuyos contactos son de difícil visualización. Este cuerpo fue correlacionado con la fase filoniana de la Formación Gato (Ploszkiewicz y Ramos 1977), del Cretácico Superior, aunque no se descarta que pueda ser parte de la Formación Ñirehuao, atribuyéndole influencia sobre la

génesis del proceso hidrotermal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio mineralógico y geoquímico se desarrolló a partir de nueve muestras seleccionadas de un perfil de aproximadamente 10 metros de espesor de la zona caolinizada de Mina Estrella Gaucha (Fig. 3). El estudio petrográfico-mineralógico se realizó mediante microscopía de polarización y difracción de rayos X (DRX). El análisis difractométrico se realizó mediante un difractómetro Rigaku D-Max III - C con radiación de $\text{Cu K}\alpha$ y monocromador de grafito, en condiciones de 35 kV y 15 mA. Los análisis químicos de los elementos mayoritarios y traza se realizaron mediante ICP. El análisis de los isótopos estables de O y H se llevó a cabo en muestras de caolín previamente tratadas con el fin de asegurar la máxima pureza, utilizando los métodos habituales en este tipo de análisis. Las muestras fueron calentadas a 1400 °C durante 20 minutos y los gases colectados en una trampa a -196 °C. El agua se hizo reaccionar con U a 900 °C para producir H_2 . El oxígeno fue extraído por reacción



Figura 2: Conglomerado cloritizado

con BrF_5 a $650\text{ }^\circ\text{C}$ según el método de Clayton y Mayeda (1963). Los resultados se expresan en % respecto al patrón SMOW.

RESULTADOS

Mineralogía

La mineralogía de la zona caolinizada del depósito es simple; el mineral más abundante es dickita, acompañado de escasa alunita y cuarzo, con pequeñas cantidades de pirofilita y diásporo. La presencia de dickita fue citada ya en los yacimientos de caolín de Mina Tres Picos (provincia de Neuquén; Hayase y Maiza 1971, Losada *et al.* 1975), en Mina Loma Blanca (Los Menucos, provincia de Río Negro; Hayase y Maiza 1972a), en Mina Adelita y otras de la provincia de Río Negro (Hayase y Maiza 1972b, Marfil *et al.* 2005) aunque en ninguno de ellos es el mineral de mena predominante.

En el sector estudiado de Mina Estrella Gaucha la dickita se halla acompañada de

una pequeña cantidad de cuarzo de grano fino. Hacia el techo, la mineralización pasa a una zona de 25 a 30 metros de potencia, donde el mineral más abundante es la alunita, la cual contiene inclusiones relícticas de dickita. El depósito culmina, en la parte superior del cerro, con una zona fuertemente silicificada donde el mineral predominante es cuarzo con textura sacaroides.

La dickita masiva, que constituye la zona caolinizada, se dispone en cristales tabulares de hasta 200 micrones (Fig. 4), reemplazando masivamente a minerales originales o clastos líticos, aunque en algunos sectores la textura de la roca original desaparece. Presenta una extinción recta (hasta 4°) y una birrefringencia muy baja (0,006 a 0,008).

Por difracción de rayos X se determinó que las muestras están constituida por dickita con cantidades variables de cuarzo que oscila entre dickita 100 % hasta dickita 75 % - cuarzo 25 %. En algunas muestras se identificó alunita en muy pe-

queña cantidad.

Análisis Químicos

En el cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis químicos de elementos mayoritarios sobre roca total expresados en %. El azufre fue adjudicado a alunita. La alúmina permitió determinar una pureza del caolín entre el 75 y 100 %. El contenido de MnO es inferior al 0,01 %. En el cuadro 2 se muestran los resultados de los análisis químicos de los elementos menores y traza, expresados en ppm. El contenido de As, Rb, Ag, In, Sn, Cs y Bi, es despreciable.

De acuerdo con Dill *et al.* (1997), el caolín formado por alteración hidrotermal presenta enriquecimiento en S, Ba y Sr, mientras que Cr, Nb, Ti y los lantánidos tienden a concentrarse en caolines formados a partir de procesos meteóricos. En las figuras 5 a, b, c, d y e se muestran estas relaciones respectivamente para el material de Estrella Gaucha.

Los contenidos en $\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ son in-

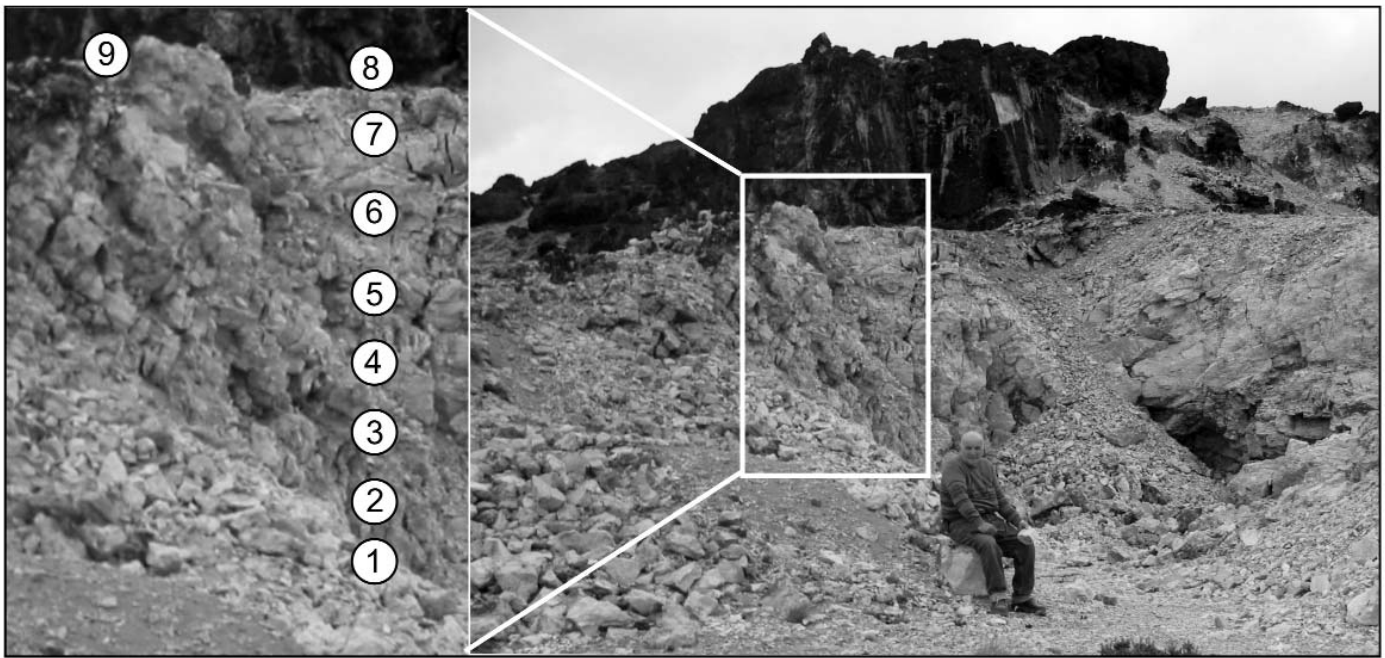


Figura 3: Zona caolinizada. El detalle indica la ubicación de las nueve muestras estudiadas.

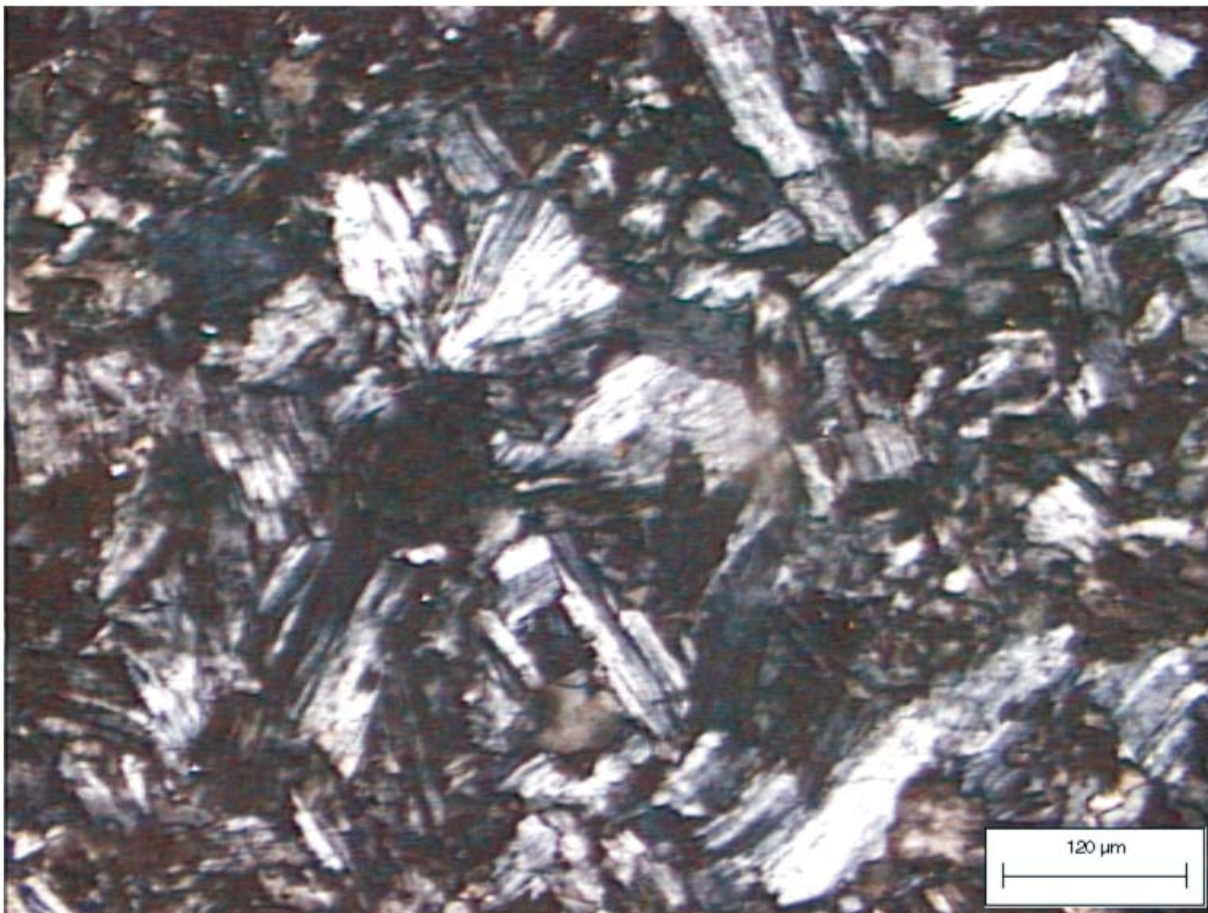


Figura 4: Cristales de dickita.

feriores al 1% en peso en tanto que los de Cr+Nb varían entre 1 y 214 ppm. Las

concentraciones de Sr+Ba se hallan en general en el rango entre 1.000 y 10.000

ppm mientras que el contenido en Ce+Y+La es bajo (varía entre 15 y 160

ppm). Estos resultados son muy parecidos a los obtenidos en los caolines de origen hidrotermal de las minas Blanquita y Equivocada, en la provincia de Río Negro por Marfil *et al.* (2005). En dichos depósitos

los contenidos en Ti+Fe de los caolines son inferiores al 1% en peso, en tanto que los de Cr+Nb varían entre 0 y 174 ppm. Algo semejante sucede con las concentraciones de Sr+Ba (entre 1.000 y 10.000 ppm) y de Ce+Y+La (entre 3 y 323 ppm).

Sin embargo, si comparamos estos resultados con los obtenidos por Cravero *et al.* (2001) en caolines de origen supergénico de Cerro Rubio (provincia de Santa Cruz) se observa que éstos tienen contenidos de Ti+Fe más elevados que los caolines de Blanquita, Equivocada y Estrella Gaucha, aunque la concentración de Cr+Nb es parecida.

En la figura 6 se muestra el diagrama de las tierras raras normalizado a condritos, donde es posible observar un empobrecimiento de las tierras raras pesadas respecto de las livianas.

Existe un paralelismo en la distribución de los elementos de todas las muestras estudiadas. No se observa anomalía de Ce y se destaca la anomalía negativa de

CUADRO 1: Análisis químicos de elementos mayoritarios en %.

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
01	46,09	38,59	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,154	0,07	0,075	14,18
02	44,79	37,76	0,07	0,06	0,12	0,09	0,00	1,078	0,21	0,175	17,92
03	44,74	38,12	0,04	0,06	0,14	0,10	0,04	0,521	0,28	0,250	15,13
04	44,50	38,34	0,01	0,05	0,13	0,09	0,03	0,176	0,48	0,525	15,00
05	44,78	38,05	0,01	0,04	0,05	0,07	0,00	0,795	0,21	0,250	14,64
06	69,06	20,94	0,07	0,05	0,04	0,07	0,00	0,338	0,12	0,175	8,49
07	50,37	34,60	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,127	0,20	0,250	13,60
08	68,10	21,70	0,02	0,05	0,06	0,06	0,02	0,769	0,12	0,150	8,86
09	44,93	37,51	0,24	0,05	0,19	0,07	0,00	0,316	0,56	0,925	14,88

CUADRO 2: Análisis químicos de elementos menores y traza en ppm.

Muestra	Ba	Sr	Zr	V	Cr	Ga	Ge	Sb	Nb	Mo	Y	Ce	La	Pb	W	Th	U
01	72	447	27	454	0	87	4	7,6	0	0	0	9,8	5,5	0	3	1,7	0,8
02	174	694	83	323	210	90	4	2,5	4	6	4	76,4	43,5	38	8	5,9	2,8
03	303	1087	46	302	80	63	7	1,6	2	6	2	66,2	36,3	14	5	5,8	1,8
04	563	3334	28	272	80	55	4	1,7	0	0	0	108	58,3	17	3	9,3	1,7
05	517	1565	166	484	80	65	6	2,9	6	2	5	51,2	28,2	19	14	7,0	4,0
06	174	1007	35	272	0	17	2	4,1	2	0	0	31,4	15,8	7	9	3,7	1,2
07	307	1525	110	129	170	42	4	1,5	5	2	4	59,2	27,4	21	1	11,8	1,7
08	121	760	133	102	20	26	3	5,7	6	0	4	21,1	11,8	12	10	5,0	2,2
09	308	3845	100	228	20	32	7	1,5	5	0	3	61,0	37,3	22	10	14,4	2,3

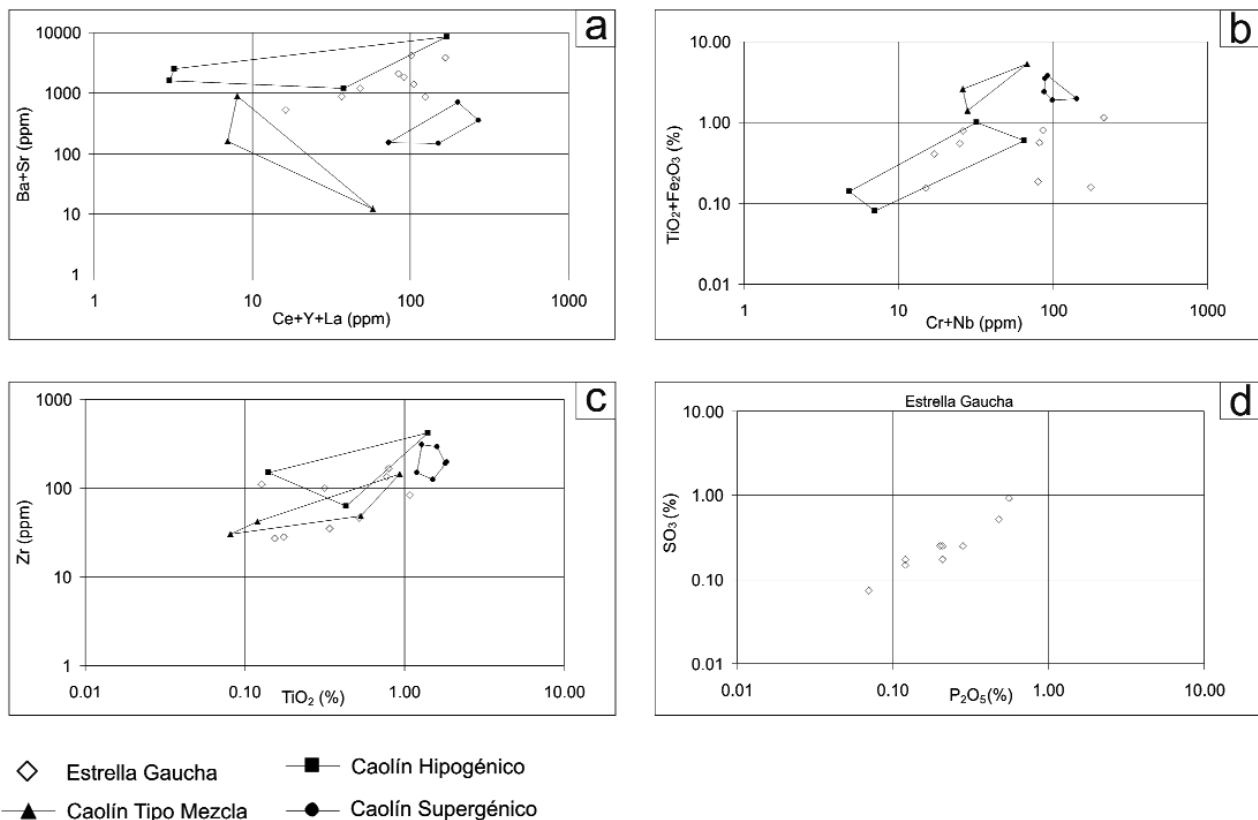


Figura 5: a) Ba + Sr vs. Ce + Y + La; b) TiO₂ + Fe₂O₃ vs. Cr + Nb; c) Zr vs. TiO₂; d) SO₃ vs. P₂O₅

Eu. Un comportamiento similar se observó en las muestras de minas Blanquita y Equivocada (Marfil *et al.* 2005). Cravero *et al.* (2001) observaron una anomalía positiva de Ce en muestras de yacimientos de caolín de origen residual de las provincias de Chubut y Santa Cruz.

Isótopos de O y H de los caolines

Los valores de $\delta^{18}O$ de cuatro muestras de caolín analizadas varían entre +5,1 y +8,8 ‰ y los de D entre -82 y -89 ‰, similares a los hallados para los yacimientos de caolín de origen hidrotermal de Mina Blanquita y Equivocada (Marfil *et al.* 2005), como se muestra en la figura 7. El empobrecimiento en $\delta^{18}O$ del caolín apoyaría la hipótesis de un ambiente de formación asociado a la circulación de fluidos hidrotermales (Murray y Janssen 1984, Savin y Lee 1988).

La ausencia de minerales primarios con inclusiones fluidas susceptibles de ser estudiadas no ha permitido determinar la temperatura de formación del depósito. Sin embargo, la presencia de diásporo y pirofilita como minerales de alteración permiten acotar las condiciones entre los 250° y 350°C, límites de estabilidad de dichos minerales. Asumiendo una temperatura aproximada de formación de 300°C, la del fluido en equilibrio isotópico con la caolinita variaría entre $\delta^{18}O$ +3,4 y +7,1 ‰ y el D entre -67,6 y -74,6‰. Los valores de $\delta^{18}O$ son parecidos a los obtenidos por Marfil *et al.* (2005), en los caolines de minas Blanquita y Equivocada, mientras que los de δD son más elevados. En cualquier caso, ambas composiciones se sitúan lejos de las obtenidas por Cravero *et al.* (2001) para caolines sedimentarios y son compatibles con un origen hidrotermal de los fluidos.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los análisis de elementos mayoritarios, minoritarios y traza contribuyeron relativamente a postular una hipótesis genética, pero las relaciones de los contenidos de algunos de ellos, sus valores específi-

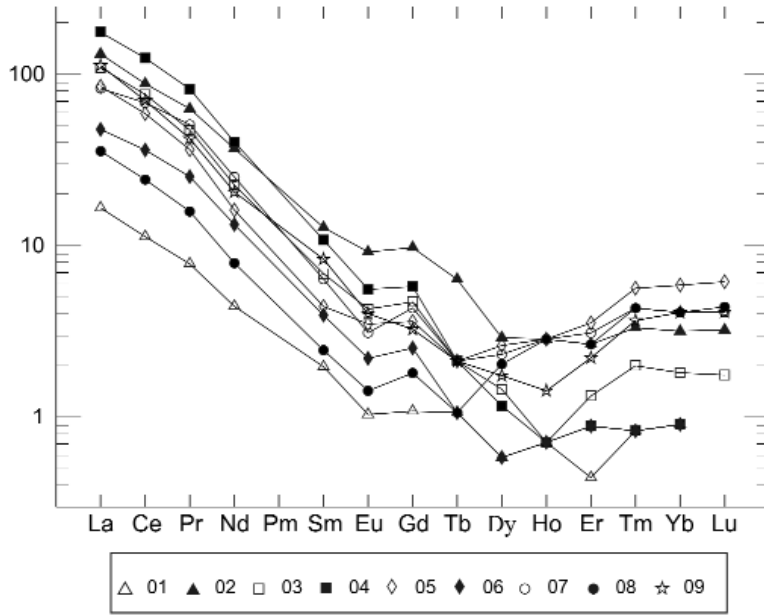


Figura 6: Diagrama REE normalizado a condritos.

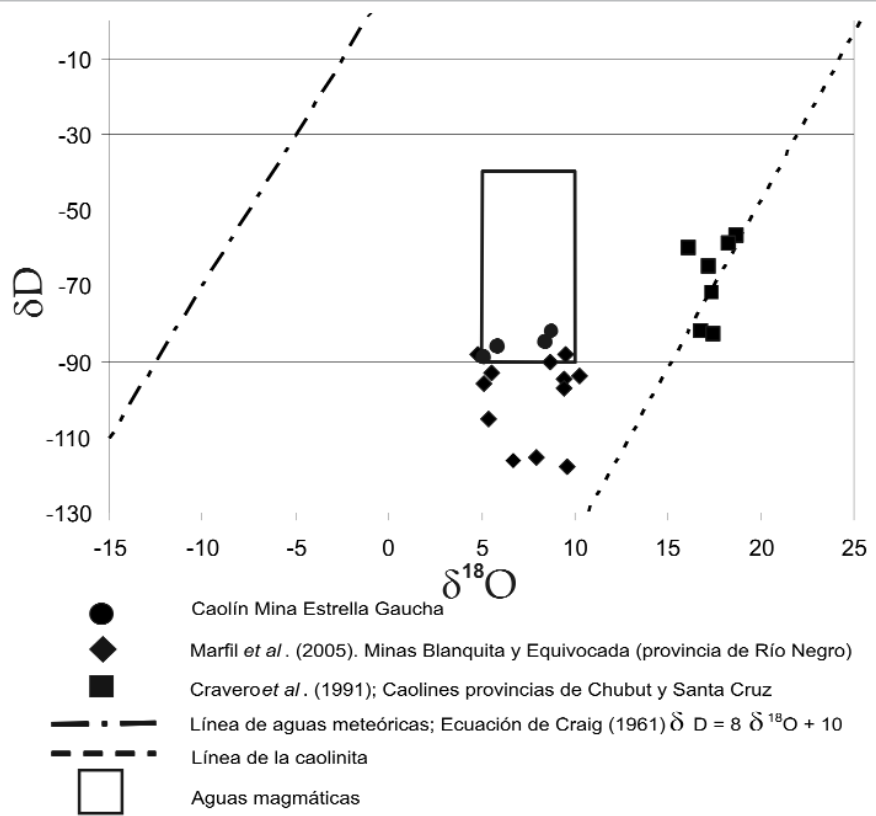


Figura 7: Diagrama $\delta^{18}O$ vs. δD . Comparación de los resultados obtenidos con los publicados para otros yacimientos.

cos y la correlación con los valores determinados para otros depósitos, permite su calificación como yacimientos de origen hidrotermal.

Los valores de $\delta^{18}O$ y δD determinados sobre muestras del caolín de Estrella Gaucha, confirman que la mineralización de este yacimiento es epigenética.

La mineralogía de la zona estudiada está constituida por dickita, con cantidades subordinadas de cuarzo, alunita, diasporo y pirofilita. Esta asociación mineralógica, junto a la excelente cristalinidad de los minerales citados y a su desarrollo, condicionan su formación a un medio de pH, relativamente alta temperatura y presión.

El desarrollo de una zonación de alteración progresiva, desde la roca de caja propilitizada a una zona silicificada (cúspide del Cerro Bayo), conteniendo en su parte media la zona caolinizada, objeto de este trabajo, es coincidente con el modelo hidrotermal propuesto.

Los contenidos de elementos traza; P, S, Ti y Fe así como las relaciones isotópicas $\delta^{18}\text{O}$ y δD , demuestran que la génesis del yacimiento es comparable con la de los depósitos de caolín de origen hidrotermal que se hallan en las provincias de Chubut y Río Negro, con un potencial económico importante.

CONCLUSIONES

El contenido de elementos traza y las relaciones P vs. S , Zr vs. Ti , $\text{Cr} + \text{Nb vs. Ti} + \text{Fe}$ y $\text{Ce} + \text{Y} + \text{La vs. Ba} + \text{Sr}$ sugieren que el caolín de la mina Estrella Gaucha se ha formado por alteración hidrotermal de las tobas volcánicas encajantes. La composición isotópica de los caolines tiene valores de $\delta^{18}\text{O}$ y D entre +5,1 y +8,8 ‰ y entre -82 y -89 ‰ respectivamente. La presencia de diásporo y pirofilita asociados a la caolinita sugiere una temperatura de formación elevada, entre 250° y 350°C. Asumiendo una temperatura de formación alrededor de 300°C, el $\delta^{18}\text{O}$ del fluido en equilibrio con la caolinita varía +3,4 y +7,1 ‰ y el δD entre -67,6 y -74,6 ‰, valores compatibles con un origen hidrotermal de dichos fluidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Geología de la Universidad Nacional

del Sur, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires y al CONICET por el apoyo brindado y al Sr. Rodolfo Salomón por la compaginación de las fotografías y figuras.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cravero, F., Domínguez, E. e Iglesias, C. 2001. Genesis and applications of the Cerro Rubio kaolin deposit, Patagonia (Argentina). *Applied Clay Science* 18: 157-172.
- Clayton, R.N y Mayeda, T. 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 27: 47-52.
- Dill, H., Bosse, R., Henning, H. y Fricke, A. 1997. Mineralogical and chemical variations in hypogene and supergene kaolin deposits in a mobil fold belt, the Central Andes of northwestern Peru. *Mineralum Deposita* 32: 149-163.
- Hayase, K. y Maiza, P.J. 1971. Génesis del yacimiento de caolín Tres Picos, Dpto. Huiliches, Prov. de Neuquén, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26: 75-87.
- Hayase, K. y Maiza, P.J. 1972a. Génesis del yacimiento de caolín Mina Loma Blanca, Los Menucos, Prov. de Río Negro, Argentina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 139-151.
- Hayase, K. y Maiza, P.J. 1972b. Presencia de dickita en yacimientos de caolín de la Patagonia, Argentina. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 153-170.
- Hayase, K., Schincariol, O. y Maiza, P.J. 1971. Ocurrencia de alunita en cinco yacimientos de la Patagonia, Mina Equivocada, Mina Loma Blanca, Mina Estrella Gaucha, Mina Gato y Camarones, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 2: 49-72.
- Losada, O., Gelós, E., Maiza, P. y Bengochea, A. 1975. Geología de los afloramientos de caolín de la zona del arroyo Chilquirihuín, Prov. de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30: 5-16.
- Maiza, P. 1972. Los yacimientos de caolín originados por la actividad hidrotermal en los princi-

pales distritos caoliníferos de la Patagonia, República Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, (inédita), 136 p., Bahía Blanca.

- Maiza, P.J. 1981. Estudio de los yacimientos de caolín del oeste de la Provincia del Chubut, República Argentina, Minas Susana, Gato y Estrella Gaucha. 8° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 471-484.
- Maiza, P.J. y Hayase, K. 1975. Los yacimientos de caolín de la Patagonia. República Argentina. 2° Congreso Ibero Americano de Geología Económica, Actas 2: 365-383, Buenos Aires.
- Marfil, S.A., Maiza, P.J., Cardellach, E. y Corbella, M. 2005. Origin of kaolin deposits in the "Los Menucos" area (Río Negro Province, Argentina). *Clay Minerals* 40: 283-293.
- Murray, H. y Janssen J. 1984. Oxygen Isotopes - Indicators of kaolin genesis?. 27th International Geological Congress, Proceedings 15: 287-303.
- Ploszkiewicz, J.V. y Ramos, V.A. 1977. Estratigrafía y tectónica de la Sierra de Payaniyeu (Provincia del Chubut). *Revista Asociación Geológica Argentina* 32: 209-226.
- Savin, S.M. y Lee, S. 1988. Isotopic studies of phyllosilicates. *Reviews in Mineralogy* 19: 189-223.
- Sheppard, S.M.F. y Gilg, H.A. 1996. Stable isotope geochemistry of clay minerals. *Clay Minerals* 31: 1-24.

Recibido: 22 de agosto, 2008

Aceptado: 01 de marzo, 2009