

PRESENCIA DE CELADONITA EN BASALTO EN FOZ DO IGUAÇU, ESTADO DE PARANÁ, BRASIL

KITARO HAYASE* e TERESA MANERA*

ABSTRACT A deep bluish green mineral, filling the numerous vesicles of a basalt, was found near Foz do Iguaçu (Paraná State). This mineral was studied by means of petrographic microscopy, X-ray diffraction analysis, infrared absorption spectroscopy, electronic microscopy, differential thermal analysis and chemical analysis. The results of the investigations reveal that this mineral is celadonite.

The studies of alteration of the Foz do Iguaçu basalt permit to suppose that the celadonite was a product of the activity of a hydrothermal solution or of a hot spring water.

RESUMO Perto da Foz do Iguaçu (Estado do Paraná) encontrou-se um mineral verde-azulado escuro enchendo numerosas vesículas de um basalto. Estudou-se esse mineral por meio de microscópio petrográfico, difração de raios X, espectroscopia de raios infravermelhos, microscópio eletrônico, análise termo-diferencial e análise química. Os resultados das investigações mostram que esse mineral é celadonita.

Os estudos da alteração do basalto de Foz do Iguaçu permitem supor que a celadonita foi produzida por solução hidrotermal ou por um manancial quente.

INTRODUCCION La celadonita corresponde estructuralmente a una mica dioctahédrica cercana a $(R^{+3}, R^{+2}) Si_4O_{10} (OH)_2 K$ (Foster, 1960).

Una diferencia importante entre las celadonitas y las otras micas dioctahédricas es que estas últimas presentan 1/4 del Si de los tetraedros reemplazado por iones trivalentes, en cambio en la celadonita no está reemplazado o solamente en muy poca cantidad.

Estructural y químicamente la glauconita y la celadonita son bastante semejantes y como lo indican Yoder y Eugster (1955), la cantidad de iones trivalentes en coordinación tetrahédrica en la glauconita generalmente es mayor que en la celadonita.

Por otra parte Hendricks y Ross (1941) señalan que el término "glauconita" se usa para el mineral formado singenéticamente en sedimentos marinos, mientras que el término "celadonita" se usa para el mineral cristalizado epigenéticamente.

Según Hendricks y Ross (1941), Wise y Eugster (1964) y Minato y Aoyagi (1968), la celadonita se puede presentar de las siguientes formas:

- 1 — rellenando cavidades de lavas básicas. En este caso se considera como producto de descomposición de la roca por acción de materiales volátiles;
- 2 — la celadonita se forma como producto de alteración de lavas marinas al contacto con el agua de mar. El mineral se presenta en las grietas de las lavas en almohadilla o en los espacios entre las almohadillas;
- 3 — formada como producto de alteración de tobas vítreas ácidas por acción de la diagénesis o del metamorfismo de bajo grado.

Uno de los autores del presente trabajo encontró un mineral verde azulado oscuro rellenando numerosas vesículas de un basalto aflorante en Foz do Iguaçu (Estado de Paraná).

Este mineral se estudió por medio del microscopio, difracción de rayos X, análisis térmico diferencial, análisis químico, espectroscopia de rayos infrarrojos y microscopio electrónico. Los resultados de estos estudios revelan que este mineral es celadonita.

*Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.

Forma de presentarse la celadonita La muestra estudiada se encontró en un basalto que aflora en Foz do Iguaçu, en la orilla izquierda del río Paraná, cerca del límite de Brasil con Paraguay y Argentina (Fig. 1).

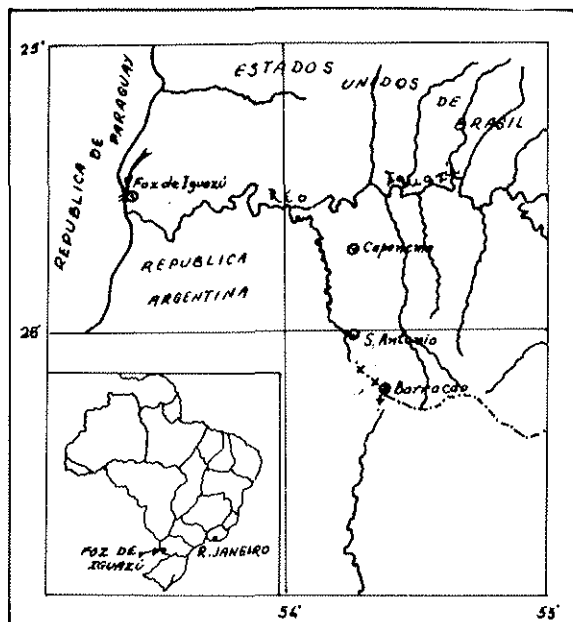


Figura 1 — Foz do Iguaçu, ubicación. La flecha indica el lugar de donde se sacó la muestra

La geología de esta zona es bastante uniforme; se presentan espesos mantos basálticos, con intercalaciones irregulares de lentes de arenisca, cubiertos en grandes extensiones por lateritas.

Rocas basálticas semejantes han sido estudiadas por Guidicini y de Oliveira Campos (1968) en Jupia e Ilha Solteira en las barrancas del río Paraná y en Barra Bonita, Bariri, Ibiúnga y Promissão en el río Tietê, todos estos lugares situados aproximadamente a más de 300 km al norte de Foz do Iguaçu. En territorio argentino estudiaron rocas semejantes Teruggi (1955) y Riggi (1964) en la provincia de Misiones y Cortelezzi y Gomes (1965) muestras de una perforación realizada en Nogoyá (provincia de Entre Ríos). La edad radiométrica de los basaltos de Nogoyá fue determinada por Stipanovic y Linares (1969) y oscila entre 117 y 142 millones de años, que correspondería del Jurásico superior al Cretácico inferior.

Las muestras estudiadas por el presente trabajo, se coleccionaron del lado derecho de un corte efectuado en la ruta que va de Foz do Iguaçu al Puente de la Amistad; donde se puede ver la transición de la roca fresca a la completamente alterada. El mineral verde azulado oscuro, la celadonita, se presenta en la parte media del perfil, donde la roca está más alterada. (Fig. 2).

Roca portadora de la celadonita Las muestras de roca se extrajeron a distintas alturas del perfil (Fig. 2), siendo sus características las siguientes:

Muestra 1 — Coleccionada del nivel inferior, es un basalto gris oscuro, fanerítico de grano fino y compacto.

Muestra 2 — Tomada 7 m por encima de la anterior, es una roca porosa, parda, que posee numerosas cavidades rellenas con un mineral verde, terroso, suave, que a veces se presenta de verde amarillento a azulado y que se determinó como celadonita por el

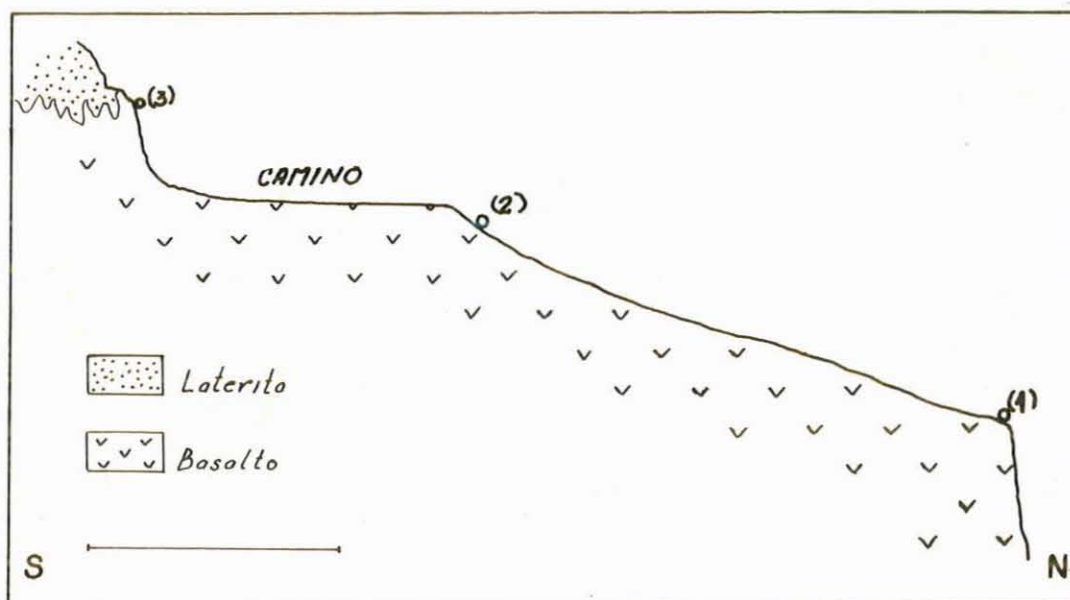


Figura 2 — Ubicación de las muestras en el perfil. Escala: 10m. (1), (2) y (3): muestras

presente trabajo. El basalto de este nivel está bastante alterado presentando óxidos de hierro que le dan el color pardo.

Muestra 3 — Coleccionada en la parte superior del perfil, es parda oscura, compacta y presenta menor alteración que la muestra 2.

Estas rocas son todos basaltos piroxénicos y poseen unos pocos fenocristales de plagioclasa en una pasta intergranular bastante gruesa. Los cristales de plagioclasas y piroxenos de la muestra 1 son de mayor tamaño que los de las muestras 2 y 3, como se puede ver a continuación:

	Plagioclasas		Piroxenos
	Fenocristales	Tablillas	
Muestra 1	hasta 1,2 mm	0,1-1 mm	0,07-0,5mm
Muestras 2 y 3	0,5-1 mm	0,03-0,7 mm	0,04-0,4mm

La pasta está compuesta por tablillas de plagioclasas, granos de piroxeno monoclínico, cristales asculares de apatito, granos irregulares de minerales opacos y productos de alteración de varias clases. Algunos cristales de piroxenos presentan una textura poiquilitica incluyendo tablas de plagioclasas. Algunas veces se pueden reconocer relictos de olivino dentro de serpentina pseudomórfica.

Las características ópticas de los piroxenos y las plagioclasas son las siguientes:

Plagioclasas: Maclas de Albita y Albita-Carlsbad. En muy pocos casos zonación. El tipo de plagioclasa determinado por el ángulo máximo de extinción simétrica es labradorita de composición $Ab_{48}An_{52}$. Los índices de refracción son:

$$\alpha \cong 1,555$$

$$\gamma \cong 1,563$$

$$\gamma - \alpha \cong 0,007$$

que coinciden con los valores de labradorita dados por Winchell (1956).

Piroxenos: Se observaron solamente clinopiroxenos. Se determinó el valor del ángulo 2V por medio de platina universal; los valores obtenidos oscilaron entre 45 y 48°. Los índices de refracción son:

$$\begin{aligned}\alpha &\cong 1,694 \\ \gamma &\cong 1,723 \\ \gamma - \alpha &\cong 0,029\end{aligned}$$

Con estos valores se determinó, por medio del diagrama de Hess y Muir publicado por Tröger (1959), una composición molecular de 44 % de $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, 40 % de $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ y 16 % de $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Estas rocas están intensamente alteradas.

En el basalto del nivel superior (muestra 3) hay agregados de clorita fibrosa fina. A veces es pseudomorfa de olivino y otras veces rellena los espacios entre los cristales de plagioclasa y los piroxenos. También se reconocieron en este basalto agregados de ceolitas con características de chabacita; pero los cristales de plagioclasa están frescos en su mayoría. En algunas partes hay manchas de óxidos de hierro de color amarillo parduzco.

La alteración del basalto de la parte intermedia (muestra 2) es bastante característica. Las tablillas de plagioclasas y granos de piroxenos están en una matrix rica en óxidos de hierro. Un mineral micáceo verde azulado oscuro, la celadonita, rellena las vesículas del basalto, o lo recubre con una fina película, en muchos casos asociada a calcedonia. También hay en esta roca agregados de finas escamas de sericita de color amarillo limón.

El basalto del nivel inferior (muestra 1) tiene agregados de dos clases de clorita y uno de serpentina. Una de las cloritas, fibrosa, de color rojo naranja, es semejante a penantita, mangano-clorita, y rellena los espacios entre otros minerales. También hay una pseudomorfo de olivino constituida parcialmente por otra clorita, a veces verde oscura y otras veces parda amarillenta, fibrosa fina, y una serpentina verde oscura. Las propiedades ópticas de la primera coinciden con las de la penantita positiva y las de la segunda coinciden con las de la lizardita*. Algunas plagioclasas se presentan claramente albitizadas. También algunas plagioclasas parecen estar saussuritizadas, pero esto no se puede decir con seguridad debido al tamaño reducido de los cristales.

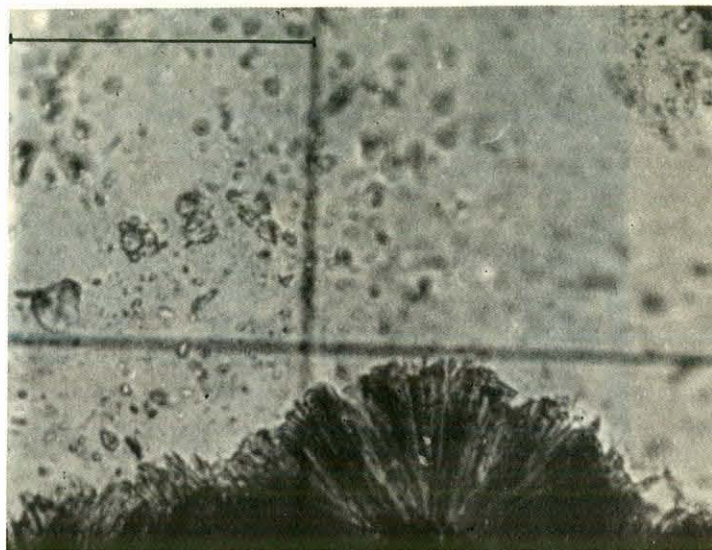
La celadonita cubre las paredes de las vesículas del basalto de la muestra 2, presentándose en agregados compactos verde oscuros a verde amarillentos. Algunos agregados botroidales de calcedonia se encuentran en las vesículas rodeando a la celadonita o dentro de ella. Cierta cantidad de calcita se asocia frecuentemente con la celadonita, esto no se puede distinguir al microscopio pero se determinó mediante análisis de rayos X.

Propiedades ópticas de la celadonita Microscópicamente los alvéolos del basalto están rellenos por celadonita solamente, pero en algunos casos se presenta asociada con calcedonia que a veces ocupa los bordes y otras veces el centro de las cavidades. La celadonita se presenta en finos cristales escamosos verde azulado oscuro de un tamaño que oscila entre los 5 y los 10 micrones, observándose claramente los clivajes basales (Fig. 3).

El pleocroísmo de este mineral es característico, verde amarillento perpendicular a la escama y verde azulado paralelo a la elongación, posee extinción paralela al clivaje y elongación óptica positiva.

**Características ópticas:* Pleocroico de verde oscuro paralelo a z' a verde amarillento claro paralelo a x' , birrefringencia bastante alta: el color de interferencia es un poco más alto que el rojo de primer orden. Índice de refracción levemente inferior al del bálamo paralelo a x' y muy semejante al del bálamo o mayor según z' .

Figura 3 — Microfotografía de la celadonita de Foz do Iguaçu. Escala: 50 micrones. El mineral fibroso es la celadonita



Los siguientes son los índices de refracción de la celadonita de Foz do Iguaçu:

$$\alpha \cong 1,610$$

$$\gamma \cong 1,640$$

$$\gamma - \alpha \cong 0,03$$

Estos valores están en el rango de los índices de refracción dados por Wise y Eugster (1964) para la celadonita, y que oscilan entre 1,58 y 1,64 y $\gamma - \alpha$ entre 0,023 y 0,031.

Las propiedades ópticas para la glauconita de acuerdo con Grim (1968) son las siguientes:

$$\alpha = 1,543 - 1,63$$

$$\gamma = 1,57 - 1,66$$

$$\gamma - \alpha = 0,022 - 0,030$$

Los índices de refracción de la celadonita de Foz do Iguaçu caen dentro del rango de los índices de refracción de la glauconita, pero son valores cercanos a los máximos de la glauconita. Por otra parte el pleocóismo de la glauconita es amarillo limón paralelo a X , a verde oscuro paralelo a Z , que es bien distinguible del de la celadonita.

Microscopia electronica La Fig. 4 muestra la microfotografía electrónica de la celadonita de Foz do Iguaçu, que es muy semejante a las de illita publicadas por Weaver (1953) y Grim (1968).

Difracción de rayos X de la celadonita* La Tab. I muestra los resultados de los análisis de difracción de rayos X de la celadonita de Foz do Iguaçu, que coincide con el de la celadonita típica según Wise y Eugster (1964).

De acuerdo con Yoder y Eugster (1955) los diagramas de difracción de rayos X de celadonita son semejantes a los de muscovita de tipo 1M, lo que ha sido confirmado por Wise y Eugster (1964). Ellos concluyeron que los picos de difracción de rayos X que se

*Se trató a la muestra de celadonita con una solución de HCl diluído (0,5%) para eliminar la calcita que está íntimamente asociada con la celadonita. Luego de este tratamiento la celadonita no presentó ningún cambio en sus propiedades ópticas ni en su diagrama de rayos X. A este tratamiento también fueron sometidas algunas muestras de montmorillonita, obteniéndose resultados satisfactorios, ya que no se reconoció ninguna variación en sus diagramas de rayos X.

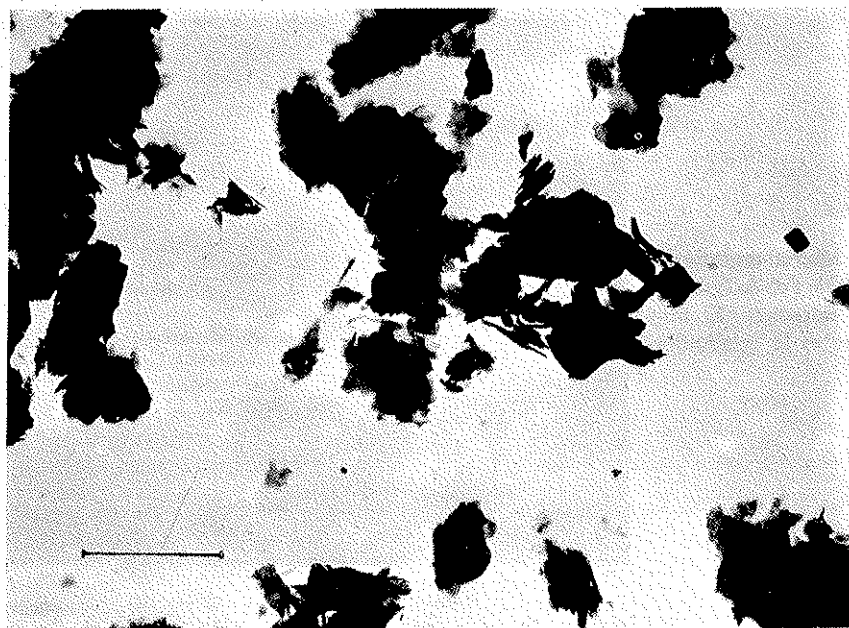


Figura 4 — Microfotografía electrónica de la celadonita de Foz do Iguaçu. Escala: 4 micrones

Tabla I: Datos de difracción de rayos X de celadonita

Celadonita de Wind River Area (Wise y Eugster, 1964)			Celadonita de Foz do Iguaçu	
hkl	d(Å)	I/I°	d(Å)	I/I°
001	9.94	47	10.04	100
			5.03	10?
020	4.53	85	4.53	28
11 $\bar{1}$	4.36	42	4.349	23
021	4.123	37	4.129	21
			3.84	12?
11 $\bar{2}$ *	3.638	80	3.630	52
002	3.349	56		
003	3.314	70	3.335	95
112*	3.081	80	3.099	72
11 $\bar{3}$	2.901	10	2.909	14
023	2.675	75	2.68	48
130	2.605	70	2.604	14
13 $\bar{1}$	2.581	100	2.583	45
13 $\bar{2}$	2.404	75	2.396	36
040	2.265	18	2.260	11
041	2.208	25	2.213	18
13 $\bar{3}$	2.140	31	2.149	23
202				
005	1.988	10	1.991	25
			1.958	14?
			1.690	12?
151	1.665	15	1.659	14
060	1.510	60	1.513	24

*Difracción característica de los polimorfos 1M. Condiciones de difracción: Anticathode Cu; Filter Ni 30 KV; 15 mA; Slits 1°-1°-0.2 mm; Scanning speed 2°/min; Chart speed 20 mm/min; Multiplex 1; Scale factor 16; Time constant 2 sec.

presentan a 3,64 y 3,09 Å corresponden a la reflexión de los planos atómicos $11\bar{2}$ y 112 . Como se puede ver en la Tab. I, la celadonita de Foz do Iguaçu pertenece al tipo 1M.

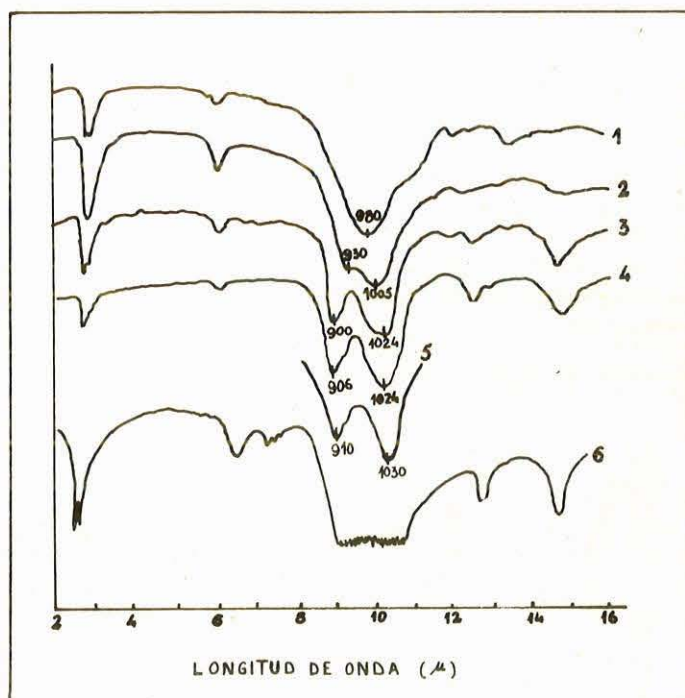
Espectroscopia de rayos infrarrojos En la Fig. 5 se puede ver el espectro de absorción de rayos infrarrojos de la celadonita de Foz do Iguaçu.

De acuerdo con Okuda e Inoue (1962) los picos de absorción que se presentan a 2,7-3,2 micrones dependen de la vibración del enlace H-O y los picos de absorción que se presentan alrededor de 6,1 micrones se deben al agua adsorbida.

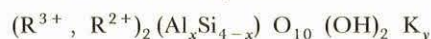
Normalmente la mayor parte de las micas tienen un pico de absorción alrededor de los 9,5-10 micrones, que se atribuye a la vibración del enlace Si-O; Wise y Eugster (1964) publicaron los modelos de espectros de infrarrojo de muscovita, glauconita y celadonita (Fig. 5). La muscovita presenta solamente un pico de absorción alrededor de 9,8 micrones, el espectro de glauconita tiene un pico alrededor de 9,8 micrones o dos picos a 9,3 y 10,05 micrones, mientras que la celadonita presenta dos picos definidos a 9,0 y 10,2 micrones.

De acuerdo con Wise y Eugster (1964), si la cantidad de aluminio en la capa tetrahédrica es menor de 0,3* aparecen dos picos de absorción entre 9 y 10,5 micrones como en el caso de la celadonita. Por el contrario cuando la cantidad de aluminio en la capa tetrahédrica es más que 0,3 como en el caso de la muscovita, biotita, flogopita, etc., solamente se reconoce un pico alrededor de 9,8 micrones. En el caso de la glauconita el aluminio de la capa tetrahédrica puede estar en una cantidad semejante a la de muscovita, dando en este caso un espectro con un solo pico, muy parecido al de la muscovita; o la cantidad de aluminio de la capa tetrahédrica se acerca a la de celadonita, dando lugar a dos picos y el espectro es intermedio entre el de celadonita y muscovita, como se muestra en el segundo espectro de la Fig. 5.

Figura 5 — Espectro de absorción de rayos infrarrojos. 1) muscovita (Wise y Eugster, 1964); 2) Glauconita (Wise y Eugster, 1964); 3) Celadonita (Wise y Eugster, 1964); 4) Celadonita sintética (Wise y Eugster, 1964); 5) Celadonita de Foz do Iguaçu, 0,2 mg de muestra en 340 mg de KBr; 6) Celadonita de Foz do Iguaçu, 1,7 mg de muestra en 280 mg de KBr



*Este número significa x en la fórmula siguiente:



Como se ve en la Fig. 5, el espectro de infrarrojo de la celadonita de Foz do Iguaçu tiene dos picos definidos a 9,1 y 10,3 micrones, que es muy semejante al de la celadonita descrita por Wise y Eugster (1964) lo que significa que la cantidad del ion trivalente, ion Al, en la capa tetrahédrica es menor que 0,3.

Análisis químico La celadonita de Foz do Iguaçu fue analizada químicamente obteniéndose los valores que se muestran en la Tab. II.

La fórmula estructural de la celadonita se calculó por el método propuesto por Hendricks y Ross (1941), y se distribuyó el hierro ferroso y férrico llevando la valencia de los cationes totales a 22.

Los resultados se pueden ver en la Tab. III y en la siguiente fórmula:

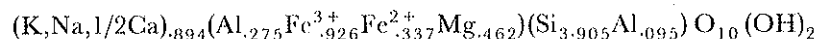


Tabla II: Análisis químico de la celadonita de Foz do Iguaçu

Componentes	%
SiO ₂	53.88
Al ₂ O ₃	4.34
Fe ₂ O ₃ *	23.17
MgO	4.25
CaO	0.72
K ₂ O	8.11
Na ₂ O	0.22
H ₂ O (+)	4.95
H ₂ O (-)	0.16

H₂O (+) más de 105°C

H₂O (-) menos de 105°C

*Como la cantidad de muestra fue insuficiente no se analizó el Fe²⁺.

El análisis fue realizado por el profesor Tadaharu Nakamura (Universidad de Waseda, Tokio, Japón).

Tabla III: Distribución de los cationes en una molécula de la celadonita de Foz do Iguaçu

Cationes	Fórmula estructural de la celadonita, presuponiendo que los aniones son O ₁₀ (OH) ₂
Si ⁴⁺	3.905
Al ³⁺ tetrahédrico	0.095
Al ³⁺ octahédrico	0.275
Fe ³⁺ "	0.926
Fe ²⁺ "	0.337
Mg ²⁺ "	0.462
Ca ²⁺	0.057
K ⁺	0.749
Na ⁺	0.031

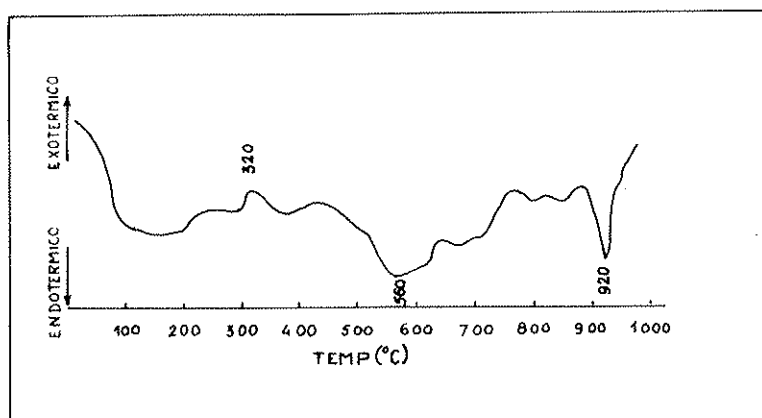


Figura 6 — Análisis térmico diferencial de la celadonita de Foz do Iguaçu

Según Wise y Eugster (1964) el catión trivalente en el tetrahédro de la celadonita se presenta en una cantidad menor que 0,30 y la cantidad de los cationes bivalentes en el octahedro cae aproximadamente entre 30 y 60%. Los resultados citados anteriormente indican que la celadonita de Foz do Iguaçu satisface estas condiciones.

Análisis termo diferencial En la Fig. 6 se puede ver el diagrama obtenido por medio de análisis termo-diferencial de la celadonita de Foz do Iguaçu. De acuerdo con Mackenzie (1957) los diagramas termo-diferenciales de celadonita son bastante distintos entre si, pero el de la celadonita de Verona (Italia), publicado por ese autor, el bastante similar al de la Fig. 6.

Consideraciones 1) Los resultados de este estudio indican claramente que este mineral verde azulado oscuro de Foz do Iguaçu es celadonita.

2) De acuerdo con los experimentos de Wise y Eugster (1964) el límite superior de estabilidad de la celadonita de $MgFe^{3+}$ cae cerca de los 410°C, variando ligeramente con los cambios de la fugacidad de oxígeno o de la presión total, lo que sugiere que la celadonita puede cristalizar por una actividad hidrotermal aún a presión bastante baja y en condiciones variables de oxidación-reducción.

3) Sudo (1958) expresa que la celadonita es más bien considerada como producto de una actividad hidrotermal o de un manantial caliente, especialmente relacionado con vulcanismo marino, antes que a sedimentos de meteorización marina tales como en el caso de la glauconita.

4) Como se dijo antes, la celadonita y sericita se encuentran como productos de alteración solamente en el nivel intermedio del basalto de Foz do Iguaçu, el que está mucho más alterado que el basalto de otros niveles. En el basalto del nivel superior se presenta una ceolita, que parece chabacita, pero las plagioclasas están prácticamente inalteradas. Por el contrario en el nivel inferior no se puede reconocer ninguna ceolita pero la albitización de la plagioclase es común. También en este nivel la plagioclase parece estar saussuritizada, aunque no se puede decir con seguridad.

5) Los distintos fenómenos de alteración de cada nivel no se pueden explicar como producto de meteorización.

6) Guidicini y de Oliveira Campos (1968) señalan que algunos productos de alteración de los basaltos de Jupia, Barra Bonita, Bariri, Ibitinga y Promissão son considerados como resultado de la actividad de una solución hidrotermal.

Teruggi (1955) señala que sobre los basaltos de la provincia de Misiones (Argentina) por él estudiados ha habido una actividad de soluciones magmáticas tardías que originaron ceolitas, clorofeíta, diversas cloritas, carbonatos y calcedonia.

7) Las consideraciones mencionadas anteriormente introducen la idea que la celadonita de Foz do Iguaçu cristalizó bajo condiciones de una solución hidrotermal o de un manantial caliente.

8) Se puede esbozar la hipótesis que la alteración del basalto de Foz do Iguaçu, incluyendo la cristalización de la celadonita, se debió a la actividad de una solución caliente la cual se pudo haber originado a partir del agua metórica penetrada en el basalto antes de que este se hubiera enfriado completamente.

CONCLUSIONES 1) Los resultados del estudio microscópico, difracción de rayos X, análisis químico, espectro de absorción de rayos infrarrojos, etc., indican que el mineral verde azulado oscuro encontrado en numerosas vesículas del basalto de Foz do Iguaçu es celadonita.

2) Las diferentes alteraciones del basalto en los distintos niveles sugiere que esta celadonita es el producto de la actividad de una solución hidrotermal o de un manantial caliente.

Agradecimientos Los autores agradecen al doctor Sadao Tsutsumi y al profesor Tadaharu Nakamura de la Universidad de Waseda, Tokio (Japón) por la obtención de la fotografía de microscopio electrónico y la realización del análisis químico respectivamente. También expresan su agradecimiento al doctor H. Gatica y al profesor ingeniero Carlos A. Mazza de la Universidad Nacional del Sur (Argentina) por la realización del espectro de infrarrojos y diagrama de D. T. A.

BIBLIOGRAFIA

- CORTELEZZI, C. y GOMEZ, V. — 1955 — Los basaltos tholeíticos de la perforación de Nogoyá (Prov. de Entre Ríos). Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Argentinas, Tomo II pp. 87-98.
- FOSTER MARGARET, D. — 1970 — Layer charge relations in the dioctahedral and trioctahedral micas. *Amer. Miner.* **45**: 383-398.
- GRIM, R. — 1968 — Clay Mineralogy, 2.^a edición, McGraw-Hill Book Company New York, pp. 180 y 421.
- GUIDICINI, G. y DE OLIVEIRA CAMPOS, J. — 1968 — Notas sobre a morfogenese dos derames basálticos., *Bol. Soc. Bras. de Geol.*, **17** (1): 15-28.
- HENDRICKS, S. y ROSS, C. — 1941 — The chemical composition and genesis of glauconite and celadonite., *Amer. Miner.* **26**: 683-708.
- MACKENZIE ROBERT, C. — 1957 — The differential thermal investigations of clays, *Mineralogical Society (Clays Minerals Group)*, London, pp. 166-189.
- MINATO, H. y AOYAGI — 1969 — Green clays minerals including celadonite and glauconite, "The clays minerals of Japan", Organizing committee 1969 International Clay Conference, pp. 195-201.
- OKUDA y INOUE — 1962 — Estudio del espectro infrarrojo de minerales arcillosos, *Clay Science*, **12**: 61-75 (en japonés).
- RIGGI, J. C. y FELIU DE RIGGI, A. — 1964 — Meteorización en basaltos en Misiones, *Rev. de la Asoc. Geol. Arg.*, **XIX** (1): 57-70.
- STIPANICIC y LINARES, E. — 1969 — Edades radiométricas determinadas para la República Argentina y su significado geológico. *Bol. Acad. Nac. de Ciencias de Córdoba*, **XLVII** (1): 51-96.
- SUDO, T. — 1958 — Minerales arcillosos, Iwanami Book Co., Tokio, p. 184 (en japonés).
- TERUGGI, M. E. — 1955 — Los basaltos tholeíticos de Misiones, *Notas de la Fac. de Cien. Nat. y Museo, La Plata*, **XVIII** (70): 259-270.
- TRÖGER, W. E. — 1959 — Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 1, Bestimmungstabellen, Stuttgart, p. 62.
- Weaver, C. E. — 1963 — A lath shaped non-expanded dioctahedral 2:1 clay minerals., *Amer. Miner.*, **38** (3 and 4): 279-289.
- WINCHELL, A. y WINCHELL, H. — 1956 — Elements of Optical Mineralogy, Part II, John Wiley and Sons Inc. New York, pp. 377-378.
- WISE, W. S. y EUGSTER H. P. — 1964 — Celadonite: synthesis, thermal stability and occurrence, *Amer. Miner.* **49**: 1031-1083.
- YODER, H. S. y EUGSTER, H. P. — 1955 — Synthetic and natural muscovites, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **8**(8): 225-280.