

**SOBRE LA PRESENCIA DE ANALCIMA SEDIMENTARIA
EN EL CHUBUTIANO DEL CODO DEL RIO SENGUERR
(CHUBUT)**

POR MARIO E. TERUGGI

INTRODUCCION

Durante un estudio sistemático de las rocas que constituyen el flanco oriental del anticlinal del codo del río Senguerr (Chubut), pertenecientes al grupo Chubutiano (Senoniano), encontré en muchos niveles una sustancia isótropa de baja refringencia, que inicialmente identifiqué como ópalo. Sin embargo, algunas características morfológicas que observara después me hicieron suponer que podría tratarse de analcima, suposición que fue corroborada posteriormente mediante la determinación de índice de refracción y diagrama de rayos X.

La presencia de analcima en buena parte de las rocas del Chubutiano constituye un fenómeno que, como veremos al detallar la bibliografía sobre la distribución de esta zeolita en sedimentitas, tiene carácter de excepcional, pues nunca se la ha mencionado como componente común en series potentes, que en este caso supera los 2.000 m. Este hecho abre un gran interrogante sobre la abundancia de analcima en rocas piroclásticas, ya que es posible que tenga una distribución mayor que la que se le ha asignado hasta el presente; en efecto, por sus características ópticas (bajo índice de refracción combinado con isotropía o muy débil birrefringencia), se la puede confundir fácilmente en estudios petrográficos rutinarios. Además, si se comprobara que la analcima tiene también repartición regional y si, por otra parte, se hallara restringida al Chubutiano, se contaría con un valioso criterio para dife-

renciar a este grupo de otros que son litológicamente similares. Por último, esta zeolita sedimentaria parece ser muy buena indicadora de las condiciones ambientales que condujeron a su formación.

Las muestras que se utilizaron para el presente trabajo fueron recogidas por los geólogos R. Scoeco y R. Ferello y me fueron facilitadas por Yacimientos Petrolíferos Fiscales para el estudio de su petrografía y posibilidad de correlaciones. Los resultados de esta parte de la investigación se publicarán independientemente a la brevedad.

El diagrama de difracción con rayos X fue realizado en el laboratorio de mineralogía de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

ANTECEDENTES SOBRE ANALCIMA SEDIMENTARIA

Son pocas las menciones que he hallado en la literatura sobre analcima de origen sedimentario. Esto es aparentemente natural, puesto que, como es bien sabido, esta zeolita se encuentra típicamente en rocas volcánicas y plutónicas, ya sea como relleno de cavidades y grietas o como producto intersticial, originado siempre por acción deutérica o hidrotermal.

Al parecer, el primer caso de analcima sedimentaria fue citado por Von Seebach (1862), quien la encontró como incrustación, conjuntamente con dolomita, en concreciones arcillo-ferruginosas del Cretácico medio de Duingen, Alemania. Otro ejemplo es el citado por Kloos en 1899 bajo la forma de núcleos pétreos de amonites de la región de Lehre, Alemania. Además, Tyrell y Peacock (1926) mencionan su presencia, asociada con faujasita, en una toba palagonítica de una pequeña isla cercana a Reykjavik, Islandia.

Estos tres casos representan fenómenos muy limitados y de poca importancia geológica. Pero, en 1928, Bradley por un lado y Ross por el otro, describen delgadas capas sedimentarias, con aspecto de areniscas, constituídas por cristales trapezoédricos de analcima, que hallaron, respectivamente, en la formación Green River (Eoceno) de Utah, Colorado y Arizona, y en depósitos de barreales (*playas*) cuaternarios de Yavapai County, Arizona. En 1929, Bradley publica un artículo más detallado sobre su hallazgo: se trata de capas o lentes delgadas y pequeños — el mayor tiene 12 m de largo y unos 90 cm de potencia — formados esencialmente por un agregado de cristales cuedrales de la zeolita. Otra muestra de Grand Valley, Colorado, es

una toba muy alterada que contiene abundante analcima. Bradley encontró también apofilita asociada a la analcima.

Por último, en 1952, Keller describe la presencia de analcima en el miembro Popo Agie de la formación Chugwater (Triásico) de Wyoming, formado por rocas ocráceas macizas, nodulares y oolíticas. La zeolita aparece a veces asociada con dolomita, bajo la forma de venillas, oolitas y agregados arracimados (*clusters*) que Keller denomina cuasi-oolitas. El espesor del miembro Popo Agie es de unos 20 m y su extensión regional es considerable, pues alcanza a unos 16.000 km². El autor no especifica la abundancia de zeolita en los distintos niveles del miembro, pero, a juzgar por las fotomicrografías insertas en su trabajo, algunos de ellos están casi totalmente compuestos de este mineral.

Ninguno de estos casos coincide con el nuestro en litología, potencia de la formación o manera de presentarse la analcima, si bien en este último aspecto hay a veces cierta similitud. Por otro lado, faltan en el Chubutiano las rocas formadas esencialmente por analcima, aunque puede constituir hasta la mitad de los minerales de algunos de los niveles.

En nuestro país, sólo Stelzner (1885) ha mencionado la presencia de analcima sedimentaria, en una toba pardo-amarillenta de las márgenes del río Chubut, donde aparece como cristales de hasta 3 mm de tamaño, revistiendo las paredes de una grieta. Además, Casanova (1931) registra en las muestras del pozo A 3 (cercano a nuestra región) la presencia de natrolita "...en individuos muy diminutos, en agregados desordenados muchas veces estrellados y bacilares, muy a menudo maclados en cruz" (pág. 34). Esta zeolita, que es también sódica ($\text{Na}_2 \text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, en tanto que la fórmula de analcima es $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), fue hallada entre los 400 y los 514 m de profundidad; pero la misma autora (pág. 36) señala, a los 1118 m de profundidad en el pozo, la presencia de "una zeolita rosada o rojiza que al microscopio resulta ser la variedad heulandita". La fórmula de esta última es $(\text{Ca},\text{Na})_6\text{Al}_{10}(\text{Al},\text{Si})\text{Si}_{29}\text{O}_{80} \cdot 25 \text{H}_2\text{O}$.

Es evidente, pues, que corresponde a Casanova el mérito de haber hallado zeolitas en el Chubutiano, aunque especies distintas a la nuestra. Empero, al describir una arenisca-conglomerado del mismo pozo A 1, inserta un párrafo (pág. 36) que conviene transcribir: "Donde los cristales no están en contacto se observa una sustancia intersticial isótropa o en parte débilmente anisótropa que pienso sea constituida por par-

tículas de vidrio volcánico”. Pero más adelante manifiesta: “... la sustancia intersticial... es notable que en general tal vidrio de edad cretácea es tan límpido y fresco como el vidrio terciario de las Tobas con Mamíferos y del Patagónico”. Tengo para mí que tal sustancia intersticial isotropa puede haberse tratado de analcima.

A continuación se describe la petrografía esencial del Chubutiano, y luego se pasa a considerar la forma de presentarse la analcima y su distribución estratigráfica y litológica.

LITOLOGIA DEL CHUBUTIANO

El perfil estudiado del flanco oriental del anticlinal del codo del Senguerr (Cañadón Grande) tiene una potencia total de 2.050 m, a los que debe agregarse 120 m no aflorantes para llegar al piso o substrato prechubutiano. La sucesión estratigráfica, de arriba abajo, es la siguiente, según perfil de Ferello y Scocco (Y.P.F., 1952):

Formación	}	305 m Sección superior o Abigarrada Rojiza
Bajo Barreal		(posible equivalente lateral de las
(950)		« Tobas amarillas »)
	}	260 m Sección Media o Gris amarillenta
		385 m Sección Inferior o Blanquecina
Formación	}	340 m Sección III
Castillo		395 m Sección II
(1.100)		365 m Sección I

Megascópicamente, Scocco y Ferello han clasificado las rocas componentes como tufitas, tufitas arenosas, tufitas arcillosas, areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, las que se alternan en todo el perfil de manera irregular, que no es ni cíclica ni rítmica. Los colores más frecuentes son los grises, grises verdosos, amarillo-castaños, morados y blancos. En la Formación Castillo hay cierto predominio de los tonos verdosos, en tanto que en Bajo Barreal abundan los que dan los nombres a las tres secciones reconocidas.

Todo el espesor del Chubutiano, según resulta del estudio petrográfico detallado que se publicará próximamente, es de naturaleza piroclástica, entendido este término en su acepción amplia. Con él no se significa que todas estas sedimentitas sean tobas, sino que el vidrio volcánico triturado — o sus correspondientes productos de alteración — se halla siempre presente, en cantidades que varían desde muy abun-

dantes a más o menos escasas. Esta característica es la que permite asignar las rocas al grupo piroclástico.

Otro hecho que debe señalarse es que la mayoría de las rocas son tufitas, o sea mezclas de material piroclástico y sedimentario. Pero, en el Chubutiano, el material sedimentario es a su vez de naturaleza piroclástica o volcánica, pues está constituido por fragmentos de tobas anteriores y de vulcanitas que han sido transportadas hasta la cuenca de depositación de las cenizas. No se han hallado ni minerales ni trozos líticos que no sean de origen volcánico.

Dejando para una próxima oportunidad el problema sistemático de estas rocas de origen mixto, se han podido reconocer los siguientes tipos líticos, basados en la abundancia de matriz vitroclástica:

1. *Tobas*: he denominado así las rocas que tienen más de 80 % de base vitroclástica. Representan la acumulación directa de cenizas volcánicas, y dentro de ellas he reconocido dos subgrupos —tobas finas y tobas normales— según el tamaño de las trizas vítreas componentes.
2. *Tobas arenosas*: son las que contienen entre 80 y 60 % de base vitroclástica.
3. *Areniscas tobáceas*: son aquellas con menos de 60 % y más de 20 % de matriz piroclástica.
4. *Areniscas volcánicas*: que son las que se caracterizan por escasez de base piroclástica, que va desde 20 % a prácticamente 0 %.

En general, esta disminución del material vitroclástico va acompañada de un aumento del tamaño medio del grano y, por consiguiente, muchas muestras del último grupo pasan a areniscas conglomerádicas y, en pocos casos, a verdaderos conglomerados.

Los tipos 2, 3 y 4 corresponderían, en particular los dos últimos, a lo que en los textos se suele denominar con los nombres de tobas cristalinas, líticas y cristalolíticas. Fuera del hecho de que, en mi opinión, la mayor parte de las tobas líticas han de ser en realidad tufitas, he preferido no emplear esta terminología porque, según he podido comprobar, la presencia de cristales y clastos líticos en cantidades superiores al 20 % confiere a las muestras un aspecto de verdaderas areniscas y como tales son correctamente descritas por el geólogo. Estas cuestiones serán desarrolladas ampliamente en el próximo trabajo sobre la petrografía del Chubutiano.

La composición de estas tobas y areniscas se mantiene sensiblemente uniforme a través de todo el espesor estudiado. La base piroclástica, que, como ya se mencionara, va de abundante a muy escasa, está formada por trizas de vidrio volcánico. Estas trizas (*shards*) tienen a veces (tobas normales) dimensiones que permiten el fácil reconocimiento por sus contornos curvos, a menudo cóncavos, y su fluidalidad; pero otras veces (tobas finas) son tan diminutas que sólo se identifican con métodos de inmersión. De cualquier modo que sea, lo importante —especialmente en relación con la génesis de la analcima— es que están siempre alteradas en pequeñas escamillas y partículas de un mineral amarillento o castaño claro, de mediana birrefringencia e índices de refracción cercanos a 1.55-1.56, que se ha considerado una montmorillonita. En corte delgado, esta alteración del vidrio parece total y la matriz de estas rocas presenta una polarización de agregado fino de escamillas o partículas que, sin embargo, no oblitera por completo la forma de las trizas vítreas originarias. Con todo, si se desagregan las muestras y se observa el material suelto en un líquido de inmersión, puede comprobarse que la alteración no es total y que quedan partículas muy pequeñas de vidrio fresco, las que pasan inadvertidas en las secciones delgadas.

Fuera de la base vitroclástica alterada, los clastos más abundantes son casi siempre de plagioclasas y cuarzo, con neto predominio de las primeras. Estas se presentan en fragmentos muy angulosos, angulosos o subredondeados y están siempre frescas; tienen maclas múltiples de albita y Carlsbad-albita. En su mayoría corresponden a andesina, que puede ser básica, media o ácida; en menor cantidad se encuentra oligoclasa básica a media, en tanto que la labradorita y la albita son muy escasas. Muchos clastos de plagioclasa tienen inclusiones vítreas, que a menudo aparecen como “cristales negativos”.

El cuarzo también forma clastos muy angulosos o angulosos, a veces subangulosos, con típico aspecto de esquirlas. Falta sistemáticamente la extinción ondulante y están libres de inclusiones o ellas son de tipo fluido sin orientación.

Los feldespatos potásicos están ausentes, y en todas las secciones estudiadas no se han visto más que algunos granos (se trata de microperita, seguida de algo de sanidina).

Fuera de estos componentes, sólo cabe mencionar los clastos líticos, cuya abundancia aumenta con la disminución de la matriz y el mayor tamaño del grano, llegando a predominar netamente en las variedades

des conglomerádicas. Por lo general, los que más abundan son los trozos de tobas, con igual grado de alteración que la base vitroclástica, lo que con frecuencia determina que sean difíciles de distinguir. Presentan una variedad de estructuras: eutaxítica, vitroclástica, esferulítica o, cuando están muy desvitrificados, felsítica (pasta de pórfido). Junto con estas rocas, en proporciones algo más reducidas, se hallan clastos de andesitas, con textura pilotáxica y hialopilitica. Un componente menor, pero común, son las pastas volcánicas traquíticas, que corresponden a veces a andesitas y a veces a verdaderas traquitas. Los fragmentos de basaltos son raros, al igual que los de cuarzo de vena y cuarcita.

Como componentes accidentales hay a veces escamillas de biotita verdosa, escamas de cloritas, granos euedrales fracturados de zircón y opacos del tipo magnetita y hematita. Salvo unos pocos casos, todos estos minerales son muy escasos.

En la base, además de la analcima que se describirá a continuación, se encuentra ocasionalmente calcita, ya sea en forma de granos diminutos diseminados y agregados terrosos, ya sea como placas grandes que han reemplazado totalmente la base piroclástica, por lo que sólo perduran los clastos mayores. En alguna que otra muestra se observó también la presencia de escasa calcedonia fibrosa como relleno de cavidades y de alunita microgranular que puede actuar como cemento.

CARACTERISTICAS DE LA ANALCIMA

En poco más de la mitad de las muestras estudiadas se encontró analcima en cantidades que van desde 1 % a 54 %. Es, por lo tanto, un componente común, aunque no aparezcan rocas constituidas totalmente por esta zeolita, como las que han descripto Bradley (1929) y Keller (1952).

Cuando es visible en la muestra megascópica, la analcima es blanca; bajo el microscopio es siempre incolora. El índice de refracción, determinado en varias muestras, varía entre 1.4866 y 1.4875, predominando el cercano a 1.487 (± 0.002). A causa del bajo índice de refracción, el relieve es bien marcado y la superficie se presenta rugosa o, a veces, lisa. Un caso especial, hallado en dos muestras, es aquel en que la superficie está surcada por especies de bastoncillos vermiformes. Las grietas son muy comunes, pero a pesar de que se encuentran bajo ángulos grandes, tienen trazado demasiado irregular

o sinuoso para considerarlas resultante del clivaje cúbico de la analcima.

Por lo general es isótropa, pero en algunas muestras se hace birrefringente, con colores de interferencia gris oscuro y gris (birrefringencia 0.002 a 0.003); no faltan rocas en que hay tanto analcima isótropa como birrefringente. Los colores de interferencia se distribuyen en zonas y franjas irregulares, a veces con límites rectos, con aspecto algo similar al del maclado de la leucita. Se probó obtener figuras de interferencia en gran número de individuos, pero sólo en dos casos se observó una figura muy borrosa, aparentemente biáxica, de ángulo chico y signo negativo (este dato aparece registrado por Tröger, 1956). Los muy bajos colores de interferencia impidieron obtener resultados con la platina universal. Iddings (1906) atribuye esta birrefringencia a tensión molecular producida por pérdida de agua, y señala que es más notable en las analcimas que han cristalizado libremente.

En las rocas del Chubutiano la analcima se presenta de las siguientes maneras:

- a) Como granos minúsculos (0.05 mm, poco más o menos), de forma irregular a algo redondeada, con contornos sinuosos, que aparecen distribuidos en la base vitroclástica. Esta manera de presentarse es la común en las rocas en que hay poca analcima, que es en estos casos límpida y sin inclusiones, por lo que se la puede confundir fácilmente con diminutas trizas vítreas (éstas son generalmente más angulosas).
- b) Como masas indefinidas que reemplazan la base vitroclástica alterada. Esta forma de presentarse, que es muy común, se caracteriza porque la analcima está llena de partículas y escamillas montmorilloníticas de la base, al punto que podría pasársela por alto si no se observa detenidamente el corte delgado, pues el reemplazo se ha efectuado con preservación de la estructura de la pasta vitroclástica. Bradley (1929) señala que la analcima de la formación Green River está llena de inclusiones diminutas, semejantes a motitas de polvo, lo que coincide con lo observado en las rocas chubutianas. La cantidad de inclusiones puede variar aun en el mismo corte, desde sumamente abundantes a poco abundantes.
- c) Como masas esferoidales o ovoidales, que semejan oolitas en las muestras megascópicas (fig. 1). Estos cuerpos miden entre 1 y

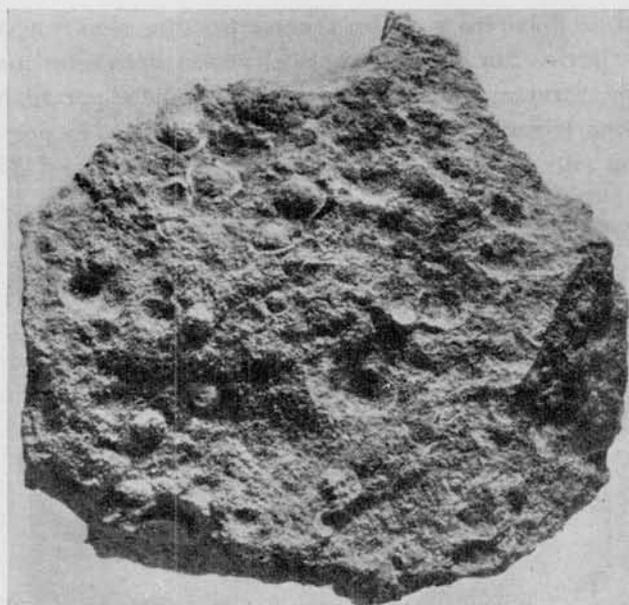


Fig. 1. — Toba fina con cuerpos esferoidales (cuasi-oolitas) de analcima que cementa trizas vítreas. Aproximadamente tamaño natural

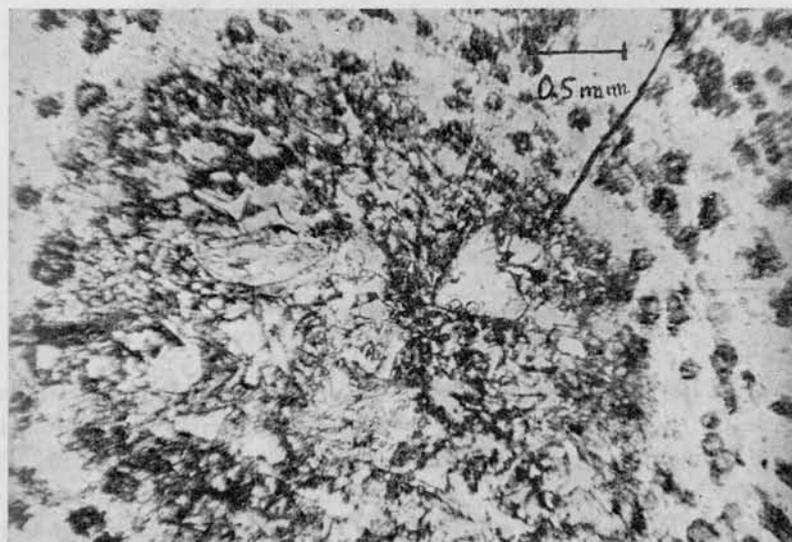


Fig. 2. — Una cuasi-oolita en la base tobácea. Se observan las trizas de vidrio y la presencia de cuerpos pequeños de analcima en la matriz (gris oscuro). Luz paralela

3 mm de diámetro y suelen tener estructura algo concéntrica en la periferia. Sin embargo, bajo el microscopio estas masas carecen de estructura interna y aparecen formadas por analcima que aglutina trizas de vidrio volcánico fresco (fig. 2); por su aspecto son muy similares a las cuasi-oolitas de Keller (1952).

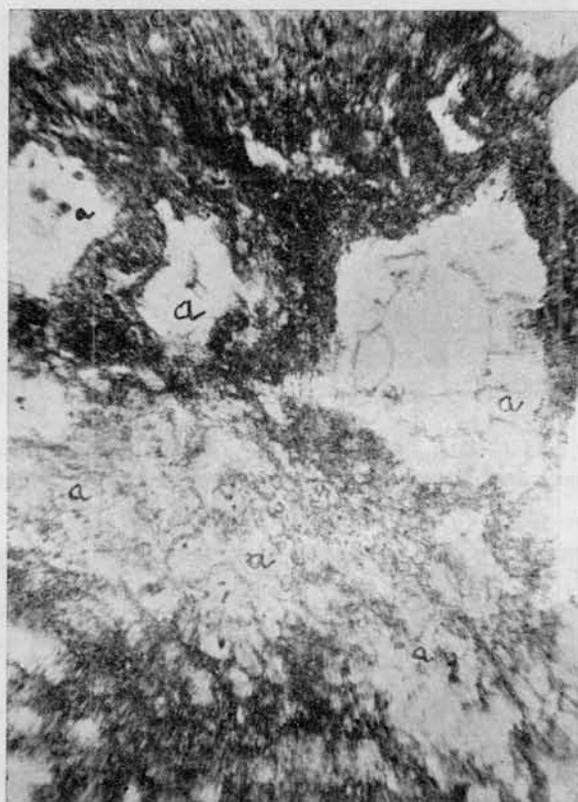


Fig. 3. — Analcima que rellena parcialmente cavidades y forma franjas de reemplazo en la base piroclástica. Luz paralela

El límite entre una cuasi-oolita y la matriz tobácea circundante no suele ser neto y hay pequeñas prolongaciones o saliencias de analcima que engloban partículas montmorilloníticas. Por otra parte, estas rocas cuasi-oolíticas (muy poco comunes en el perfil del Chubutiano) aparecen llenas de otras masas más pequeñas de analcima (entre 0.15 y 0.30 mm), de forma más irregular. En la figura 2 se ven, en gris oscuro, estos cuerpos diminutos que acompañan a la cuasi-oolita grande.

- d)* Como relleno de cavidades. Este caso, que contra lo que podría suponerse no es muy frecuente, se caracteriza por analcima límpida y a menudo con desarrollo de caras cristalinas hacia el espacio libre central (fig. 3).

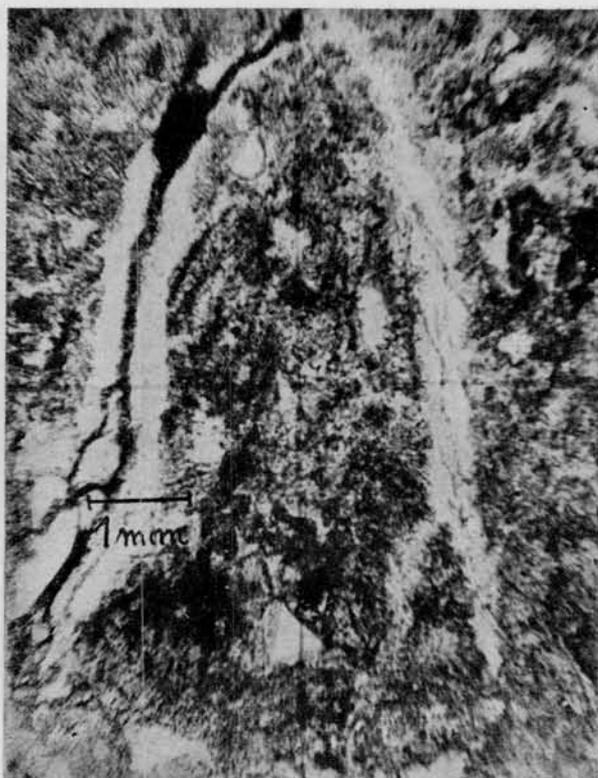


Fig. 4. — Dos venillas convergentes de analcima. La zeolita se encuentra también entre las venas, pero no se distingue en la fotografía. Luz paralela

- e)* Como venas delgadas. Esta forma de presentarse tampoco es común. Las venillas tienen poco espesor y corto recorrido; la analcima que las compone es límpida (fig. 4).
- f)* Como cristales. Es un caso relativamente frecuente. Son siempre icositetraedros deltoidales (en un único caso se vio un cubo combinado con esta forma), que pueden crecer tanto en la base vitroclástica como parcialmente implantados en oquedades (fig. 5).

En el primer caso suelen tener abundantes inclusiones de la matriz fina, e inclusive es dable observar cómo las masas analcímicas informes (que hemos descrito como caso *b*) suelen tener porciones o bordes con desarrollo de marcado cuedralismo. Los cristales que han crecido en la base tobácea logran a veces eliminar gran parte de las inclusiones y aparecen más o menos límpidos. Es posible que su formación esté vinculada a la porosidad de la roca en el sitio donde aparecen.

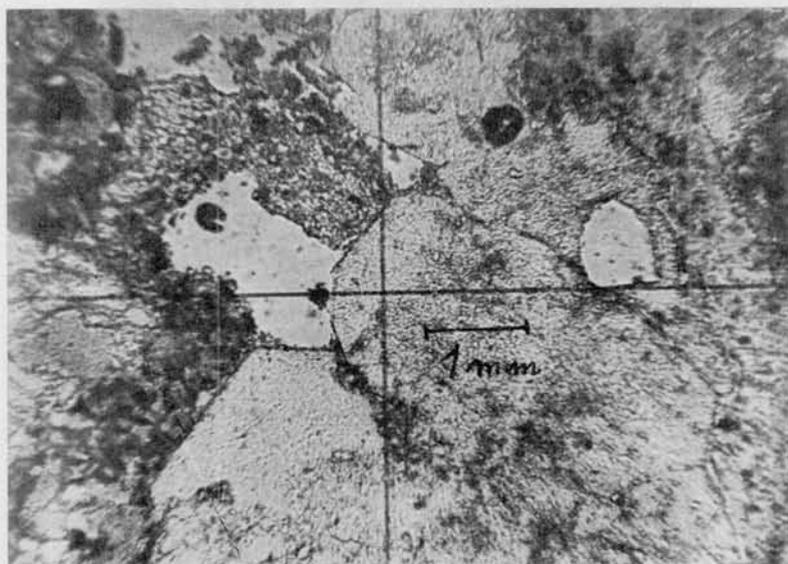


Fig. 5. — Cristales trapezoédricos de analcima, con inclusiones de montmorillonita, que han crecido en la base tobácea. Luz paralela

g) Como cemento. Es un caso común en las rocas pobres en matriz piroclástica. La analcima une a los elastos cuárcicos, plagioclásicos y líticos y reemplaza casi totalmente a la parte tobácea, de la que sólo queda un reborde delgado en torno a los granos (figura 6). En algunos pocos casos he observado además, en torno a los elastos de plagioclasa, un ribete delgado de albita, ya sea como crecimiento secundario o como diminutos cristales implantados.

Este último caso, y el que he descrito como *b*), son los más engañosos, ya que la analcima puede entonces ser confundida fácilmente con ópalo o vidrio volcánico sin estructura.

Como puede apreciarse de la descripción anterior, es evidente que la analcima no fue introducida en las rocas a lo largo de vías especiales, sino que se ha desarrollado *in situ* y en cantidades a veces considerables, reemplazando a la matriz tobácea.

En dos rocas de la parte alta de la formación Bajo Barreal aparece otra zeolita acompañando a la analcima. Es una especie fibrosa, de índice de refracción cercano a 1.505, birrefringencia muy baja (0.002)

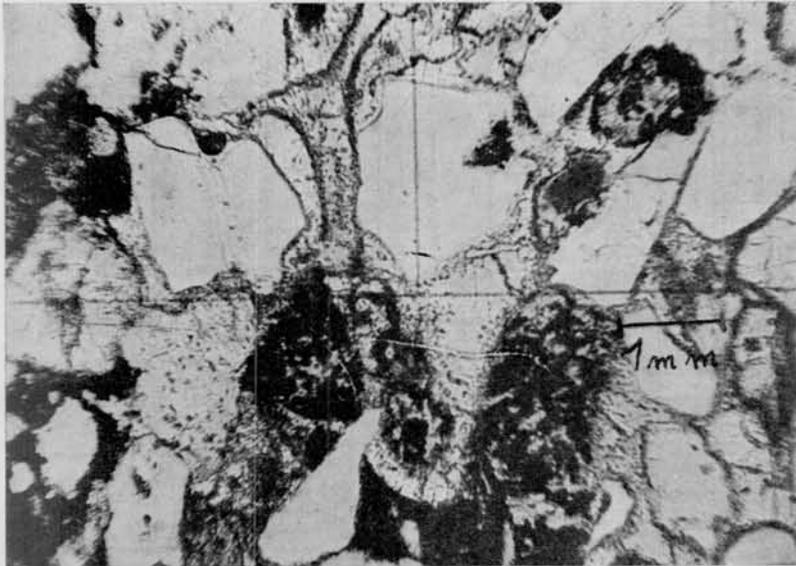


Fig. 6. — Cemento de analcima (zonas gris claras) que une elastos de plagioclasa, cuarzo y líticos. Contra los elastos se distingue un delgado reborde de la matriz tobácea que no ha sido reemplazada por la zeolita. Luz paralela.

y elongación positiva o negativa, que podría tratarse de mesolita. Igual que la analcima, ha crecido también en la matriz.

La presencia de la analcima no confiere a las rocas del Chubutiano características megascópicas especiales, salvo en el caso de que forme las cuasi-oolitas. Las muestras que tienen entre 20 y 40 % de esta zeolita son generalmente compactas y densas, pero también pueden serlo muchas tobas de la formación que no la contienen. Cuando aumenta esta cantidad, no hay un correlativo incremento en la compacidad, y aun en estos casos los elastos se desprenden cuando se frota la roca fuertemente con los dedos. Esta escasa acción "ligante" de la anal-

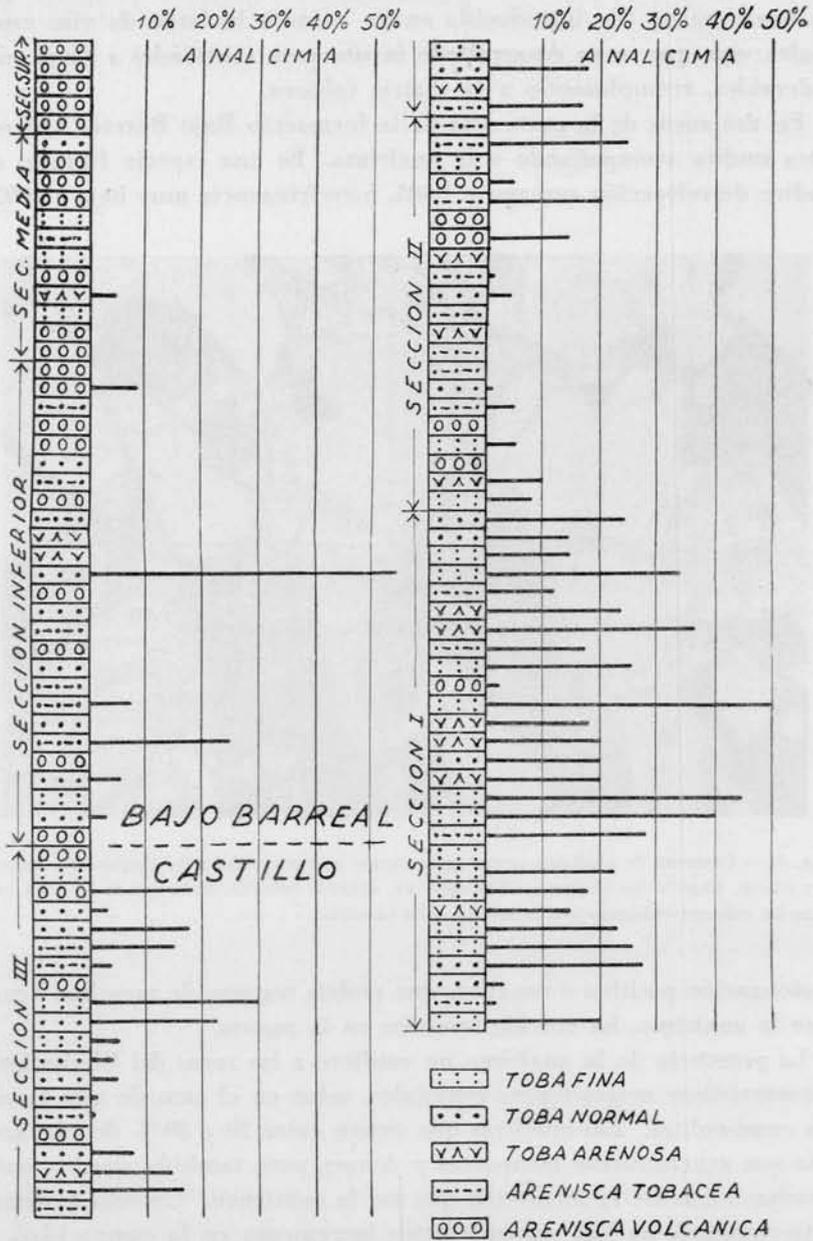


Fig. 7. — Distribución de la analcima en el Chubutiano

cima quizás sea resultado de su mediana dureza, por un lado (5.5), y de sus grietas por el otro. Sin embargo, es posible que ejerza cierta acción sobre la forma en que se erosionan las capas analcimíferas, pues las fotografías de afloramientos que presenta Keller (1952) muestran formas topográficas y de meteorización muy similares a las que se observan en el Chubutiano (confirmación verbal del doctor Tomás Suero).

Los datos de difracción de rayos X (polvo) son los siguientes (radiación Co/Fe):

Línea	d Å	I	Línea	d Å	I
1...	5.57	fff	13...	2.428	d
2...	4.83	d	14...	2.288	dd (C)
3...	4.26	d (C)	15...	2.219	d
4...	3.79	ddd	16...	2.13	dd
5...	3.65	ddd	17...	1.985	ddd (C)
6...	3.41	fff	18...	1.906	d
7...	3.33	ff (C)	19...	1.867	d
8...	2.92	f	20...	1.824	d (C)
9...	2.80	ddd	21...	1.743	m
10...	2.68	d	22...	1.715	d
11...	2.488	d	23...	1.689	d
12...	2.46	dd (C)			

Las líneas marcadas con (C) corresponden a cuarzo. Estas líneas extras de cuarzo también figuran en el diagrama de difracción con rayos X de Keller (1952), quien las atribuye a la presencia de pequeñas cantidades de limo silíceo. Por otra parte, debe señalarse que el análisis químico de las muestras de analcima sedimentaria de Ross (1928) reveló que contenía agua y sílice en exceso de lo requerido para la composición ideal de esta zeolita. Al parecer, estas diferencias afectan poco los espaciados de los diagramas de polvo (Saha, 1959).

DISTRIBUCION ESTRATIGRAFICA DE LA ANALCINA

La figura 7 ilustra la distribución de la analcima en el espesor estudiado de Chubutiano y la litología de las rocas. Además, en el cuadro I se muestran los valores porcentuales de la frecuencia de la zeolita en las distintas formaciones y secciones.

Sobre un total de 116 muestras analizadas, correspondientes a los niveles principales del Chubutiano, se ha hallado analcima en 63 de

CUADRO I

Frecuencia y abundancia de analcima en el Chubutiano

		Número de muestras	Número de muestras analcimíferas	Por ciento de muestras analcimíferas	Por ciento de analcima presente
Formación Bajo Barreal	Sección superior o abigarrada rojiza	5	0	0	0
	Sección media o gris amarillenta	12	1	8.3	5
	Sección inferior o blanquecina	26	6	23.0	16.8
Total de la formación		43	7	16.2	7.2
Formación Castillo	Sección III	24	17	70.8	11.7
	Sección II	21	12	57.1	10.7
	Sección I	28	27	96.4	21.1
Total de la formación		73	56	76.7	14.5

ellos, lo que equivale a su presencia en 54,3 % de las rocas. En cuanto a la abundancia de esta zeolita, varía desde un mínimo de 1 % a un máximo de 54 % del total de componentes; los valores más frecuentes son los que se encuentran entre 5 y 25 %. Por lo tanto, la ley media de contenido de analcima en todo el espesor del Chubutiano es de 10,8 %.

En la formación Castillo la analcima es particularmente frecuente y abundante, pues aparece en 56 de las 73 rocas estudiadas, o sea en 76,7 % de las muestras, con un contenido medio de esta zeolita de 14,5 %. (Los porcentos de analcima en las muestras son aproximados, ya que es muy difícil establecer con exactitud su real abundancia a causa de englobar numerosas partículas de la base tobácea).

En la formación Bajo Barreal se observa una disminución tanto en la frecuencia como en la abundancia de analcima. En efecto, sólo se la encontró en 7 de las 43 muestras estudiadas, lo que representa el 16,2 % del total de las rocas, en tanto que el contenido medio es de 7,2 %.

La mayor distribución de analcima se halló en la sección I, o inferior, de la Formación Castillo, donde aparece en todas las muestras, salvo una, y en ésta hay abundante cemento calcáreo que pudo haber

reemplazado totalmente a la zeolita. En consecuencia, el 96,4 % de las rocas son analcimíferas, con un contenido medio de 21,1 % de analcima, que es también el valor más alto registrado en todo el Chubutiano.

En la sección II de la Formación Castillo se observa una ligera disminución tanto en la abundancia de muestras analcimíferas como en el porcentaje de este mineral (57,1 % y 10,7 %, respectivamente), pero en la sección III o superior, vuelve a ascender, alcanzando los valores de 70,8 % y 11,7 % en cada caso.

Por último, como ya se mencionara, se encuentra calcita diseminada en las rocas del Chubutiano. Este carbonato aparece en 17 muestras y predomina en la Sección Inferior de la Formación Bajo Barreal. En unos pocos casos, en la Formación Castillo, se encontró calcita y analcima en la misma roca y se pudo comprobar que el carbonato es posterior a la zeolita. Más aún: a causa de su gran poder metasomático la calcita reemplaza tanto la base tobácea como la analcima. Es posible, entonces, que la distribución de la zeolita haya sido algo mayor que lo que revela la figura 7, ya que pudo haber sido reemplazada totalmente por el carbonato.

DISTRIBUCION LITOLOGICA DE LA ANALCIMA

Con el objeto de determinar si existía alguna relación entre los principales tipos líticos reconocidos en el presente trabajo y el contenido de analcima, se preparó el cuadro II en el que se ilustra porcentualmente esta cuestión.

Se observa, en primer lugar, que las tobas normales son las que más a menudo contienen analcima, seguidas de las tobas finas y las tobas arenosas, estas dos con frecuencias muy similares. Las areniscas tobáceas ocupan un tercer lugar y por fin las areniscas volcánicas muestran una notable disminución de variedades analcimíferas.

En lo que se refiere a la cantidad de analcima presente, ocupan el primer lugar las tobas finas, seguidas de las tobas arenosas y las tobas normales. El volumen de la analcimización sigue decreciendo en las areniscas tobáceas y alcanza el mínimo en las areniscas volcánicas.

En cuanto al máximo de analcima registrado en muestras individuales, ocupan el primer lugar las tobas normales y luego las tobas finas, para seguir disminuyendo en el mismo orden que en el caso anterior.

CUADRO II
Relación entre litología y analcima

	Número de muestras	Número de muestras con analcima	Por ciento de muestras con analcima	Contenido medio de analcima	Máximo de analcima registrado
Tobas finas.....	23	15	65.2	24.3	50 % ₉
Tobas normales.....	22	17	77.2	13.7	54 »
Tobas arenosas.....	14	9	64.2	18.1	36 »
Areniscas tobáceas....	27	17	62.9	12.7	28 »
Areniscas volcánicas...	30	5	16.6	9.6	18 »

Si efectivamente la analcima deriva de la alteración del vidrio volcánico — según veremos al tratar el origen de esta zeolita —, es evidente entonces que debe haber una relación estrecha entre la cantidad de base piroclástica y dicho mineral. Esto queda confirmado en el cuadro II, ya que se demuestra que las areniscas volcánicas, con menos de 20 % de matriz tobácea, son las que tienen pocas muestras analcimizadas y menor cantidad de analcima. Lo mismo sucede con las areniscas tobáceas, que según nuestra definición contienen entre 20 % y 60 % de base piroclástica, las que por ello están algo más analcimadas que las anteriores, en tanto que las tobas arenosas — con 60 % a 80 % de matriz tobácea — las superan ligeramente en frecuencia de analcima y netamente en abundancia de este mineral. En cuanto a las tobas — con más de 80 % de matriz piroclástica —, son efectivamente ellas las que ocupan el primer lugar, pero no existe una relación muy clara entre las tobas finas y las normales. En frecuencia y máximo de analcima predominan las segundas, pero en abundancia media de la zeolita lo hacen las primeras. Parecería, entonces, que las tobas normales se analciman con mayor frecuencia que las normales, pero con contenido menor de analcima, si bien entre ellas se registra el máximo absoluto de todo el Chubutiano. Las diferencias entre ambos grupos son, sin embargo, menores y quizás pueden deberse, más que a los procesos naturales, a las dificultades de la determinación de la moda de la analcima en estas rocas.

De cualquier modo que sea, es evidente que existe una clara relación entre la abundancia y frecuencia de analcima y la cantidad de matriz tobácea, por lo que sólo resta tratar de analizar la génesis de esta zeolita.

ORIGEN DE LA ANALCIMA

Los autores que han descrito previamente analcima sedimentaria se han ocupado del problema de su génesis. Sus conclusiones concuerdan con las que se pueden extraer del ejemplo del Chubutiano.

En primer lugar, debe comenzarse por descartar el origen deutérico, hidrotermal y por aguas de manantiales calientes que se asigna a la analcima de vulcanitas. En ninguna de las formaciones y ejemplos estudiados en los Estados Unidos, y mucho menos en nuestro caso, pueden invocarse estos mecanismos de formación, puesto que no hay las más mínimas señales de actividad magmática tardía o de fuentes termales.

Por otro lado, debe desecharse igualmente la posibilidad que la analcima sea de naturaleza clástica, es decir, transportada como granos y depositada junto con los otros minerales. A esto se opone su marcado eudralismo y, en el caso del Chubutiano, su reemplazo de la matriz tobácea, que demuestran que se ha originado *in situ* y es por lo tanto un mineral autóctono y no alóctono. El estudio microscópico de la analcima chubutiana no deja lugar a dudas en este sentido.

Reconocido esto, quedan dos importantes cuestiones a considerar: 1) el momento en que se produjo la analcimitización; y 2) la forma en que ésta se efectuó.

Con respecto al primer punto, podría considerarse que hubo un metasomatismo sódico, posterior a la diagénesis, que determinó el reemplazo de la matriz por la analcima. Bradley (1929) se manifiesta en contra de este origen epigenético y adhiero a este criterio, pues los detalles del perfil del Chubutiano y los datos de campo no justifican en nada esta hipótesis. Además, he encontrado en algunas muestras las "cuasi-oolitas" de Keller (1952) que contienen trizas de vidrio fresco y, a su vez, están inmersas en una base tobácea alterada. Según esto, suponiendo que el vidrio fresco representa un remanente que no se ha descompuesto en montmorillonita, podría asumirse que la analcimitización se produjo en el intervalo de tiempo que va desde la caída de la lluvia de cenizas volcánicas y la montmorillonitización del vidrio. Con todo, este es un caso poco frecuente y lo común es que la analcima contenga numerosas inclusiones de escamillas de montmorillonita derivadas del vidrio volcánico.

Por ello, en base a lo expuesto, puede considerarse que la analcimitización sería un proceso que tendría lugar a veces precediendo a la

montmorillonitización, y a veces — lo que parece más frecuente — poco después de ésta e inclusive simultáneamente con ella. En mi opinión, sería un proceso parasingenético que tuvo lugar poco después de la caída de los materiales piroclásticos en la cuenca de sedimentación, donde se produciría una reacción entre sales de sodio disueltas en aguas estancadas y las cenizas volcánicas. El hallazgo de Ross (1928) de analcima formada en un barreal cuaternario apoya fuertemente esta interpretación, que también es sostenida por Bradley (1929) y Keller (1952). De no ser así, resultaría muy difícil explicar la abundancia de analcima en las tobas finas y normales del Chubutiano que, por estar totalmente montmorillonitizadas, se comportan como material impermeable que impide la circulación de fluidos y la posterior acción de sales sódicas.

En lo que se refiere al segundo punto, la forma de originarse la analcima, todos los autores están de acuerdo en explicarla como resultado de una reacción entre aguas sódicas y materiales clásticos sedimentados en un cuerpo áqueo. En cuanto a la naturaleza de los materiales clásticos, Ross (1928) enumera las siguientes posibilidades:

- a) feldespato.
- b) arcilla coloidal.
- c) cenizas volcánicas.

En el caso del Chubutiano, debe descartarse de inmediato la primera posibilidad, pues las plagioclasas — únicos feldespatos presentes — están sistemáticamente frescos (cierto es que algunas muestras tienen clastos de plagioclasa que presentan un aspecto borroso o “lavado” muy especial que podría ser, tal vez, un comienzo de analcimitización, pero este fenómeno es raro y podría tratarse de un proceso epigenético posterior). Igualmente rechazan la posible intervención de feldespatos, en los ejemplos por ellos estudiados, Ross (1928), Bradley (1929) y Keller (1952).

La posibilidad *b*) ha sido formulada porque, en las rocas de las formaciones norteamericanas, no hay señales seguras de la presencia de abundantes cenizas volcánicas. En el ejemplo de Chubutiano, como lo demuestra su litología, nos encontramos indudablemente en el caso *c*), y por lo tanto debe concluirse que el material madre de la analcima es el vidrio volcánico o los productos de su alteración.

Bradley (1929) y Keller (1952) consideran que para la formación

de analcima es necesario que aguas alcalinas se pongan en contacto con el vidrio volcánico o la montmorillonita (minerales ambos de alta reactividad), los que, al descomponerse, liberarían Si y Al, que al recombinarse con el sodio de las aguas originarían la zeolita. Estas reacciones tendrían lugar a temperaturas inferiores a 30°C y, como consecuencia de ellas, la analcima crecería *in situ* en el fondo de los cuerpos de agua.

Creo que, en esencia, esta interpretación es correcta. Más aún: sospecho que puede haber una íntima conexión entre vidrio volcánico — montmorillonita — analcima. Sin embargo, es evidente que la montmorillonización por sí sola no es capaz de producir analcima; en el mismo Chubutiano, cuyo espesor está en buena parte montmorillonizado, existen numerosos niveles donde falta la analcima por completo. Pero sospecho que, en condiciones sedimentarias especiales, esta zeolita es el alúmino-silicato más estable y por eso hace su aparición en el depósito, reemplazando en gran parte al mineral de las arcillas. En cuanto a esas condiciones especiales, no hay duda que ellas estarían constituidas por la presencia de aguas cargadas de sales de sodio. En este sentido, son importantes las experiencias de Noll (1936), quien ha demostrado que, en el sistema $(CaMg)O - (K_2Na_2)O - Al_2O_3 - SiO_2$ a temperatura de 300°C y con distintas concentraciones de Na_2O , se forma montmorillonita a expensas de la caolinita original y, por último, analcima. Es posible que, en la naturaleza, bajo ciertas condiciones de salinidad, la analcima se forme a temperaturas bajas y sea, en esas circunstancias, tan estable o más estable que la montmorillonita, por lo que puede reemplazarla total o parcialmente. Si esta interpretación fuese correcta — y parece ser la más aceptable —, la formación de analcima estaría limitada, dadas las necesarias condiciones de salinidad, a la cantidad de sodio disponible.

Podría suponerse que las aguas formadoras de analcima hayan tenido salinidad de tipo marino, con el sodio combinado bajo la forma de cloruro. Pero tanto las dos formaciones norteamericanas (Green River y Chugwater) como el Grupo Chubutiano son de tipo continental y por ello Keller (1952), sobre la base de la litología y del contenido paleontológico, considera que el sodio se hallaba en solución al estado de carbonatos, bicarbonatos y sulfatos, tal cual se lo encuentra en la actualidad en las aguas de los barreales de las zonas semiáridas.

En el caso del Chubutiano, las evidencias paleontológicas apuntan en el mismo sentido: los restos de vertebrados que contiene son prin-

cialmente reptiles, con predominio de saurisquios, seguidos de que-
lonios y cocodrilos (Feruglio, 1949). Esta asociación, y especialmente
la abundancia de dinosaurios saurópodos gigantes que eran nada-
dores o habitaban cuerpos de agua (Colbert, 1952), demuestra que
efectivamente las lagunas y pantanos deben haber sido abundantes du-
rante el período que comprende buena parte de la sedimentación del
Chubutiano. En cuanto a la flora fósil, los datos disponibles son es-
casos o incompletos, pero no hay en ella nada que se oponga a esta
interpretación del ambiente chubutiano (comunicación personal del
doctor S. Archangelsky).

En consecuencia, sobre la base de los criterios paleontológicos y
litológicos (en particular, el hecho de que los sedimentos piroclásticos
del Chubutiano sean estratificados y "porfíricos", lo que, según Correns
y Leinz — 1933 — indicaría depositación lacustre), debe concluirse, en
concordancia con Keller (1952), que el ambiente de sedimentación
necesario para la formación de analcima debe haber consistido en
una extensa cuenca poco deprimida, o una llanura baja, donde había
abundantes pantanos, lagunas y lagos poco profundos, de tipo barreal,
posiblemente interconectados y con profundidades y salinidades varia-
bles de un lugar a otro. En este ambiente se producían intermitentes
caídas de cenizas volcánicas las que, al mezclarse con los materiales
clásticos del arrastre de las aguas superficiales a las zonas algo más
deprimidas, originaban las tufitas finas y medianas, con algunas congo-
lomerádicas, que constituyen el Chubutiano. Estos materiales tufíticos,
bajo la influencia de las aguas alcalinas que se acumulaban en las
depressiones y en ambiente parcialmente oxidante por las ocasionales
deseccaciones de los barreales, se descomponían para dar origen a la
analcima, ya sea directamente o como un paso especial en la transfor-
mación del vidrio volcánico en mentmorillonita. El hallazgo de Ross
(1928) de analcima formada en barreales actuales tiene un gran signi-
ficado para esta interpretación.

IMPORTANCIA DEL HALLAZGO DE ANALCIMA EN EL CHUBUTIANO

Varias son las consecuencias que se pueden deducir de la presencia
de analcima en las rocas del Grupo Chubutiano, algunas de las cuales
abren perspectivas y posibilidades que habrá que verificar en futuras
investigaciones. Las principales de ellas son:

1. Estamos en presencia de un proceso de analcimitización parcial de sedimentitas que supera ampliamente los dos casos citados en los Estados Unidos y que es, hasta el presente, el más importante citado en toda la bibliografía geológica.

2. La naturaleza de las rocas del Chubutiano confirma las suposiciones de los investigadores norteamericanos de que la analcima proviene de la alteración de material piroclástico.

3. Desde el punto de vista estratigráfico, la presencia de esta zeolita en el Chubutiano, especialmente en la Formación Castillo, puede resultar un elemento valiosísimo para su reconocimiento. Si se hallara que la analcima tiene distribución regional se contaría con un excelente criterio mineralógico para la identificación de este grupo y su separación de otras unidades sedimentarias de similar litología.

4. Si la génesis que se ha atribuído en este trabajo a la analcima es la correcta — y todos los datos parecen señalar que sí —, se tendría que este mineral es un excelente indicador de condiciones ambientales y climáticas. Las primeras serían de tipo palustre o lacustre playo de regiones llanas o ligeramente deprimidas, y las segundas corresponderían a climas semiáridos o áridos, con lluvias ocasionales. Estas condiciones habrían predominado netamente durante la depositación de la Formación Castillo, e intermitentemente durante la de Bajo Barreal.

5. La última consecuencia, y una de las más importantes, es que se abre un interrogante sobre la verdadera abundancia de la analcima en rocas sedimentarias, en especial las piroclásticas. Es posible que este mineral sea común en tobas y tufitas, y que por sus caracteres ópticos se le haya confundido con ópalo o con vidrio volcánico. Ross y Smith (1961) no lo mencionan entre los productos de la desvitrificación de las tobas de coladas de cenizas, pero éstas corresponden a un tipo especial de origen que no es comparable al del Chubutiano.

Por todas estas razones se hace ahora necesario efectuar un estudio sistemático y minucioso de nuestros depósitos piroclásticos y, en particular, proseguir la investigación de los sedimentos chubutianos con el objeto de determinar la repartición geográfica de esta zeolita. Felizmente, nuestro país se caracteriza, al menos en la región patagónica, por una abundancia extraordinaria de tobas y tufitas, que se inician en los comienzos del Mesozoico y continúan a través de toda esa era, el Terciario y el Cuaternario. El estudio de estas potentes series permitirá

ampliar, modificar, corroborar o precisar nuestras primeras conclusiones y aclarar el complejo e interesante panorama de la sedimentación continental de sedimentos piroclásticos.

Abstract. — The Chubutian Group (Senonian) of the anticline of the Senguerr River (Chubut, Argentina), which is made up of thick (2.050 m) continental rocks, has been found to contain considerable quantities of sedimentary analcime. After a review of the literature on analcime of sedimentary origin, the petrography of the Group is briefly described: it consists of pyroclastic rocks, mostly tuffites and tuffs varying in grain size from clays to conglomerates. Then follows a detailed description of the forms of occurrence of analcime in these rocks (as replacement of the tuffaceous matrix, as crystals, as a cement, as a filling of cavities, as veins, etc.), together with its optical properties and X-ray powder spacings.

In another chapter, the analcime distribution in the Chubutian Group is discussed (there is a clear concentration of this zeolite in the Castillo, or Lower, Formation), as well as the relationships between analcime and lithology. Finally, the origin of sedimentary analcime and its environmental and climatic significances are discussed, and the import of this new findings is considered.

22 de noviembre de 1961.

BIBLIOGRAFIA

- BRADLEY, W. H., 1928. *Zeolites beds in the Green River Formation.* — *Science*, vol. 67, pp. 73-74.
- 1929. *The occurrence and origin of analcime and meerschau beds in the Green River Formation of Utah, Colorado and Wyoming.* — *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* 158, pp. 1-9.
- CASANOVA, M., 1931. *Apuntes petrográficos sobre los terrenos atravesados por los pozos de Comodoro Rivadavia y alrededores.* — Y.P.F. Contr. a la Primera Reunión Nacional de Geografía, pp. 1-40.
- COLBERT, E. H., 1952. *The Mesozoic Tetrapods of South America.* — *Bull. Amer. Museum of Nat. Hist.*, vol. 99, Art. 3.
- CORRENS, C. W. und V. LEINZ, 1933. *Tuffige Sedimente des Tobasees (Nordsumatra) als Beispiele für die sediment-petrographische Bedeutung von Struktur und Textur.* — *Centr. Mineral. Geol.*, Ab. 4, pp. 332-390.
- FERUGLIO, E., 1949. *Descripción geológica de la Patagonia.* — Y.P.F.
- IDDINGS, J. P., 1906. *Rock Minerals.* New York.
- KLOOS, J. H., 1899. *Über Analcim auf Steinkernen von Ammoniten und auf Sphärosiderit von Lehre.* — *Ver. Naturwiss. Braunschweig* 11 Jahresb., pp. 167-168.

- NOLL, W., 1936. *Über die Bildungsbedingungen von Kaolinit, Montmorillonit, Sericit, Pyrophyllit und Analcim.* — *Mineralog. petrog. u. Mitt.*, vol. 48, pp. 210-246.
- ROSS, C. S., 1928. *Sedimentary analcime.* — *Amer. Min.*, vol. 13, n° 8, pp. 195-197.
- ROSS, C. S. and R. L. SMITH, 1961. *Ash-flow tuffs: their origin, geologic relations and identification.* — *U. S. Geol. Survey Prof. Paper 366*, 81 pp.
- SAHA, P., 1959. *Geochemical and X-ray investigation of natural and synthetic analcimes.* — *Amer. Min.*, vol. 44, n° 3-4, pp. 300-317.
- SEEBACH, K. VON, 1862. — *Notiz über ein neues Vorkommen des Analcim.* — *Georg August Univ. K. Gesell. Wess. Göttingen Nachr.*, pp. 334-335.
- STELZNER, A., 1885. *Beiträge zur Geologie und Paläontologie der Argentinischen Republik.* — Cassel.
- TRÖGER, W. E., 1956. *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale.* 147 pp. Teil I. Stuttgart.
- TYRRELL, G. W. and M. A. PEACOCK, 1926. *The petrology of Iceland.* — *Royal Soc. Edinburgh Trans.*, vol. 55, Part 1, n° 3, pp. 62-63.