

Depósitos de zeolitas naturales de Cuba

Natural zeolites deposits from Cuba

G. OROZCO (1) y R. RIZO (2)

(1) *Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
Las Coloradas, s/n, 83320, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: GOROZCO@ismm.uni.com.cu*

(2) *Empresa Geominera Oriente, alturas de San Juan, km 2 1/2, carretera de Siboney, Santiago de Cuba, Cuba.*

RESUMEN

En Cuba existen depósitos de zeolitas ubicados en casi todas las provincias y regiones geográficas. Los depósitos de zeolitas se vinculan a las secuencias de las cuencas de retroarco de edad Cretácico y Paleoceno-Eoceno y a las secuencias superiores de la zona axial del arco Cretácico, desarrollado principalmente en la parte central de Cuba. Por la transformación del vidrio volcánico contenido en las tobas, de composición intermedia a ácida, se forman clinoptilolita, mordenita y, en menor medida, montmorillonita. La clinoptilolita sustituye pseudomórficamente los fragmentos de vidrio volcánico, mientras que la mordenita se forma posteriormente a ésta.

Palabras clave: Zeolitas. Clinoptilolita. Mordenita. Vidrio volcánico. Arco de isla volcánico. Paleógeno. Cuba.

ABSTRACT

Zeolite deposits exist in almost every province and region in Cuba. They are related to back-arc sequences from Cretaceous and Paleocene-Eocene volcanic arcs, and to top sequences of the axial arc zone from a Cretaceous volcanic arc, of which the latter developed only in the central part of Cuba. Due to the transformation of volcanic shards of medium-acid composition clinoptilolite, mordenite and less widespread montmorillonite originated. Clinoptilolite substitutes volcanic shards, and mordenite is formed after it.

Keywords: Zeolite. Clinoptilolite. Mordenite. Volcanic shards. Volcanic arc. Paleogene. Cuba.

EXTENDED ABSTRACT

Deposits of natural zeolites exist in almost every Cuban province. They are related to rocks belonging to Cretaceous and Paleocene-Eocene volcanic island arcs.

DEPOSITS RELATED TO THE CRETACEOUS VOLCANIC ISLAND ARC

Zeolitized rocks in the western zone of Cuba are related to the epiclastic-sedimentary sequences (back-arc basin) outcropping as a narrow zone from Bahía Honda to Matanzas (Fig. 1). In the Pinar del Río province zeolitic rocks are to be found in the Bahía Honda-Mariel region, and the most significant areas are within the Orozco Formation of Late Cretaceous Age (Cenomanian-Campanian). This formation consists of acid tuffs, tuffites and basaltic tuffs, with a minimum thickness of 300 m. In the Habana province zeolites are located in the Campo Florido and Canasí regions, related to the Chirino and La Trampa geological formations. X-ray diffraction analyses of the Habana zeolitized rocks show a high degree of purity where clinoptilolite predominates, although subordinate with mordenite (Coutin and Brito, 1985).

In the central zone of Cuba zeolitized rocks appear in a 0.7-5 km wide and more than 20 km long zone south of the town of Santa Clara, where the deposits Piojillo and Tasajeras are located (Fig. 1). The Tasajeras deposit is the most important in the region and one of the biggest in Cuba. The Chucho Rojas, la Conductora and la Joaquina deposits are also to be found in this region, as well as zeolites near Cienfuegos.

In the Camaguey province the presence of heulandite has been described in the Late Cretaceous vulcanosedimentary formations south of the town of Camaguey, as well as analcrite near the town of Nuevitas north of the province, in altered vitroclastic tuffs containing fine-grained zeolite crystals, and quartz, oligoclase and clays (Coutin and Brito, 1975).

In the Holguín region Cretaceous zeolitized rocks are related to the Loma Blanca Formation. Zeolitized tuffs appear at the top of the cut. Rocks are grey-whitish, cream and white with variable andesitic to dacitic and rhyolitic composition.

DEPOSITS RELATED TO THE PALEOGENE VOLCANIC ISLAND ARC

The greater development of the Paleogene volcanic arc is to be found in Sierra Maestra (axial zone of the arc). In this zone, volcanic and sedimentary sequences are included in the Paleocene-middle Eocene El Cobre Group with a thickness of 6000 m (Fig. 3). Related to it we find the zeolite deposit of Bueycito in the Granma province, south of the town of Bayamo. Here massive vitroclastic tuffs of middle composition with different grades of zeolitization predominate (Bolívar, 1989). Predominant zeolite is mordenite. Other zeolitized rocks outcrop forming a discontinuous zone from Palmari de Cauto to the west to Palenque de Yateras to the east.

The zeolite deposit of Palenque is located in the Guantánamo province on the east, in the town site of Yateras, NE of the town of Palenque. Here tuffs from the Sabaneta Formation outcrop which are distributed in two members: a lower member, where alteration of volcanic shards to montmorillonite predominates, and an upper member where zeolitization predominates and clinoptilolite and mordenite appear, mainly associated to vitroclastic tuffs.

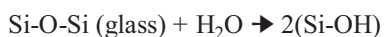
The most important zeolite deposit in eastern Cuba, and one the largest in the country, is the Caimanes deposit, located some 24 km southwest of the town of Moa, Holguín province. X-ray diffraction analyses show that clinoptilolite is the main zeolitic phase. Figure 6 shows clearly how montmorillonite, calcite and plagioclase contents increase with depth, whereas clinoptilolite contents decrease. It can be clearly stated in this zone that clinoptilolite substitutes for volcanic shards, and that, in turn, mordenite substitutes for it. Mordenite was reputed present in cracks as well as in cavities in tuffs (Fig. 8). In this latter case a hydrothermal origin was proposed (Orozco, 1996).

GENETIC CONSIDERATIONS

According to the tables included, zeolitized tuffs show the highest contents in SiO₂, whereas those altered to montmorillonite (well distributed in Palenque de Yateras, Guantánamo province and other places) are in average poorer in silica and richer in MgO and Fe₂O₃. Among these types of rocks there are significant differences for SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, FeO and TiO₂. Nevertheless, it can be concluded that the original chimism of these rocks was medium-acid, with a slight

difference between rocks deposited in the first stages, which are somewhat more basic, and those deposited in upper sequences, although, of course, the alteration process to zeolites tended to increase SiO₂ contents in rocks (Orozco, 1996).

Montmorillonite is the main ore in tuffs altered to montmorillonite. X-ray diffraction quantitative analyses show its contents are not higher than 50% (Orozco, 1987), that is, there is no complete transformation of volcanic shards to montmorillonite. This ore is also present in small quantities in zeolitized tuffs. The transformation of medium-acid volcanic shards to montmorillonite is apparently one of the first reactions in marine environment. During this process, Mg in the pore solution is fixed with a relative enrichment of Al₂O₃ due to selective dissolution of SiO₂ during glass hydrolysis. Formation of montmorillonite consumes all Mg ions available; both the alkali environment and the increasing saturation of the solution in silicic acid lead to the conditions of zeolite formation. Zeolites reported for Cuba as alteration products of volcanic shards in tuffs are mainly clinoptilolite and mordenite, both rich in SiO₂. Coombs et al. (1959) place these zeolites with those which can be stable in oversaturated solutions in silicic acid, that is, in paragenesis with opal, cristobalite or silica-rich glass. According to the results obtained in microscopic observations it can be inferred that the transformation process of glass to zeolites starts with hydroxidation as Collela et al. (1982) propose:



Clinoptilolite originates pseudomorphically after glass. Na, K and Ca are fixed from the pore solution, and silica enrichment occurs.

Hawkins et al. (1978) reported clinoptilolite formation is favored over mordenite at low temperatures, as the clinoptilolite is more hydrated. At higher temperatures, clinoptilolite is unstable compared to mordenite. Watanabe et al. (1986) inferred temperatures between 50-90°C for the zone of clinoptilolite-mordenite formation during burial diagenesis in the Itaya deposit, Japan.

Therefore, the substitution of mordenite for clinoptilolite observed in thin sections and with the electron microscope can be due both to the increase in temperature and to changes in the ratio between K and Na in pore solutions. In case of low alkali activity, cristobalite crystallizes from the solution saturated in silicic acid. The fact that tuffs altered to montmorillonite are to be found in the lower part of the sequences, of which Palenque de Yateras, Guantánamo province, is a clear case, bears witness of the migration process of several elements influenced by pore solutions. This also seems to prove the observation of Hay (1978): the transformation process of volcanic shards to montmorillonite conditions its further transformation to zeolites. Moreover, the depositional environment of these rocks is to be kept in mind, as zeolitization predominates as a regional phenomenon in back-arc basin sequences in Cuba, and there are no zeolite deposits associated to the axial zone of the Paleogene arc (Sierra Maestra region). On the other hand, deposits associated to the axial zone of the Cretaceous arc in the central region of Cuba seem to have originated at the end of the development of this volcanic arc, where calc-alkali sequences and sedimentation conditions predominate which are more favorable for the transformation of volcanic shards to montmorillonite or zeolites in deep water basins. Similar criteria have been used by Utada (1991) to account for zeolitization of the Green Tuff in the Japan island arc.

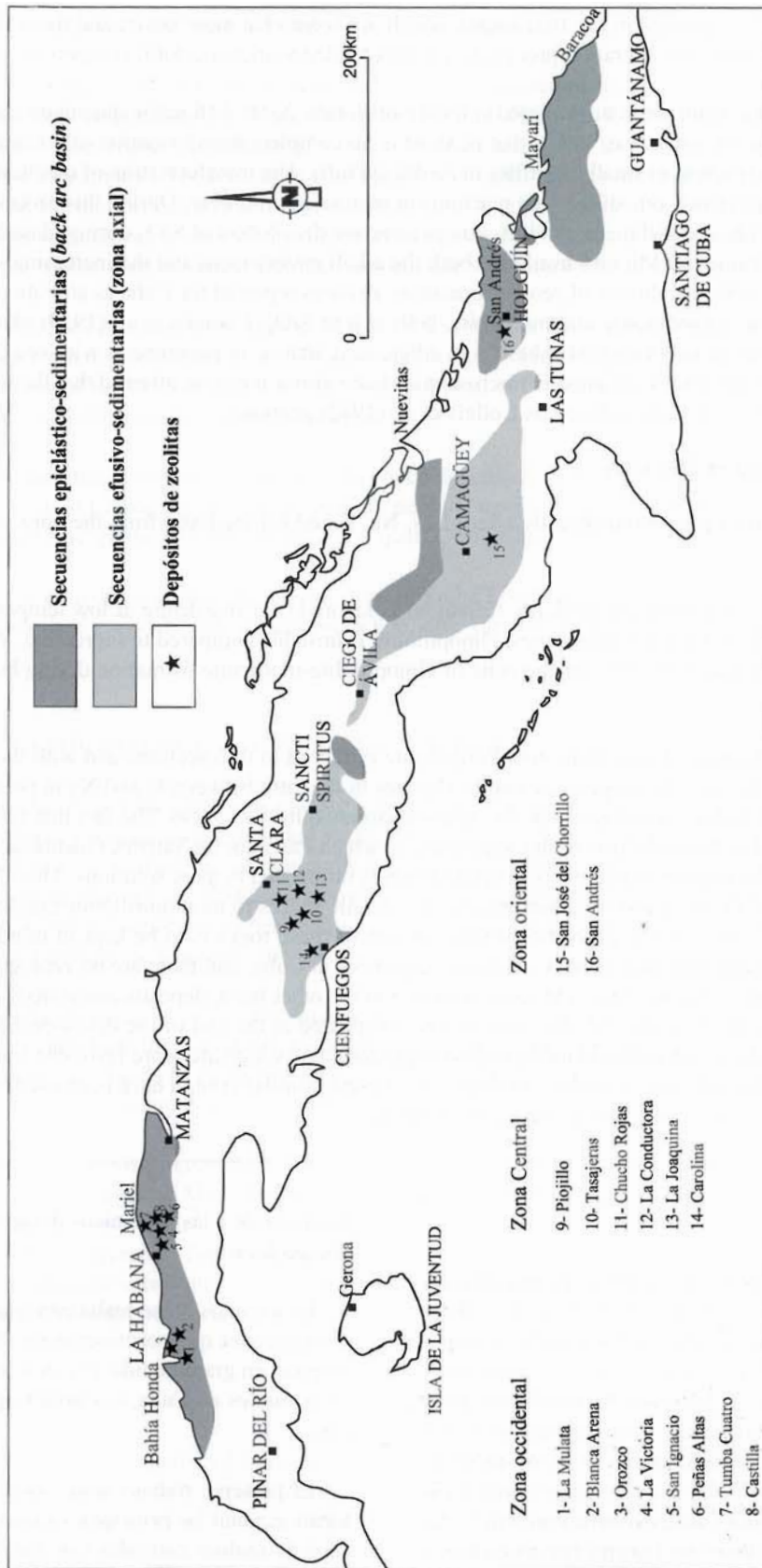
INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de rocas zeolíticas de importancia industrial en Cuba data del año 1971. Coutin y Brito (1975) publicaron los resultados de los estudios realizados durante varios años en Cuba oriental y central, mencionando cuatro zeolitas: clinoptilolita, mordenita, heulandita y analcima y tres más: estilbita, thomsonita y laumontita rellenando vetillas, grietas y poros en rocas efusivas y piroclásticas. Todas estas zeolitas fueron localizadas en las formaciones vulcanosedimentarias del Cretácico Superior y del Paleoceno-Eoceno pertenecientes a

los arcos de islas volcánicas desarrollados en esos períodos geológicos.

En los años 80 se realizaron una gran cantidad de investigaciones que permitieron revelar nuevos depósitos y ampliar, en gran medida, el conocimiento sobre las zeolitas naturales en Cuba, sus usos y aplicaciones tecnológicas.

El presente trabajo tiene como objetivo exponer de forma general las principales características de los depósitos de zeolitas naturales cubanas.



	Muestras (Composición en % en peso)				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	65,96	62,83	66,80	63,63	66,65
TiO ₂	0,33	0,34	0,62	0,41	0,48
Al ₂ O ₃	11,44	13,18	13,21	13,21	11,42
Fe ₂ O ₃	1,08	0,51	1,95	2,04	4,09
FeO	0,07	0,06	0,25	0,86	0,39
MgO	1,35	1,47	0,40	1,73	0,80
CaO	3,23	3,83	2,04	3,34	2,98
Na ₂ O	1,00	0,68	0,87	1,32	2,51
K ₂ O	0,30	0,57	7,01	1,37	1,55
H ₂ O-	6,35	6,35	---	---	---
H ₂ O+	9,44	10,73	---	---	---
PPI	---	---	7,60	11,58	8,46
Total	100,55	100,55	100,80	99,99	99,83

Tabla 1. Análisis químico de tobas zeolitizadas de la zona Occidental de Cuba, según Coutin y Brito (1985). 1) roca clinoptilolítica de Peñas Altas, 2) roca clinoptilolítica de La Victoria, 3) roca mordenítica con cuarzo de La Mulata, 4) roca clinoptilolítica con cuarzo de Blanca Arena, 5) roca clinoptilolítica de Orozco.

Table 1. Chemical analyses of zeolitized tuffs from Western Cuba, after Coutin and Brito (1985). 1) clinoptilolitic rock from Peñas Altas, 2) clinoptilolitic rock from La Victoria, 3) quartz-mordenitic rock from La Mulata, 4) quartz-mordenitic rock from Blanca Arena, 5) clinoptilolitic rock from Orozco.

MARCO GEOLÓGICO DE LOS DEPÓSITOS DE ZEOLITAS

En casi todas las provincias cubanas existen depósitos y manifestaciones de zeolitas naturales. Como quiera que los mismos se relacionan con las rocas pertenecientes a los arcos de islas del Cretácico y del Paleoceno-Eoceno, se analizarán las regiones por separado, tomando como esquema geológico el planteado por Iturralde-Vinent (1996a).

Depósitos relacionados con el arco de islas volcánicas del Cretácico

Zona occidental

En la figura 1 se pueden observar los afloramientos de las rocas vulcanógenas y sedimentarias del arco volcánico Cretácico en Cuba (Iturralde-Vinent et al., 1996, con ligeras modificaciones). Las rocas zeolitizadas de la zona

occidental cubana se relacionan con las secuencias vulcanosedimentarias de la cuenca de retroarco, que afloran como una estrecha franja desde Bahía Honda hasta Matanzas.

En la provincia de Pinar del Río las rocas zeolíticas se encuentran en la región de Bahía Honda-Mariel y las áreas más importantes se incluyen en la Formación Orozco del Cretácico Superior (Cenomaniense-Campaniense). Esta formación se compone de tobas ácidas, tuffitas y xenotobas basálticas, con un espesor mínimo de 300 m. Las tobas ácidas son dacíticas, con granos desde finos a gruesos, masivas o mal estratificadas, a menudo zeolitizadas, en paquetes de 100 a 110 m de espesor. Aquí se localizan las manifestaciones La Mulata, Blanca Arena y Orozco (Fig. 1), esta última la de mayor importancia, que se encuentra en una cantera donde afloran tobas cristalovitroclásticas y vitroclásticas de color blanco a crema, ligeras y porosas. Los análisis por difracción de rayos X muestran que estas tobas están constituidas por clinoptilolita. En la tabla 1 se muestran aná-

Figura 1. Principales afloramientos de rocas volcánicas y vulcanosedimentarias asociadas al arco de islas volcánico del Cretácico (modificado de Iturralde-Vinent et al., 1996), y localización de los principales depósitos de zeolitas.

Figure 1. Distribution of volcanic and sedimentary rocks associated with the Cretaceous volcanic arc of Cuba (modified of Iturralde-Vinent et al., 1996) and location of mainly zeolites deposits.

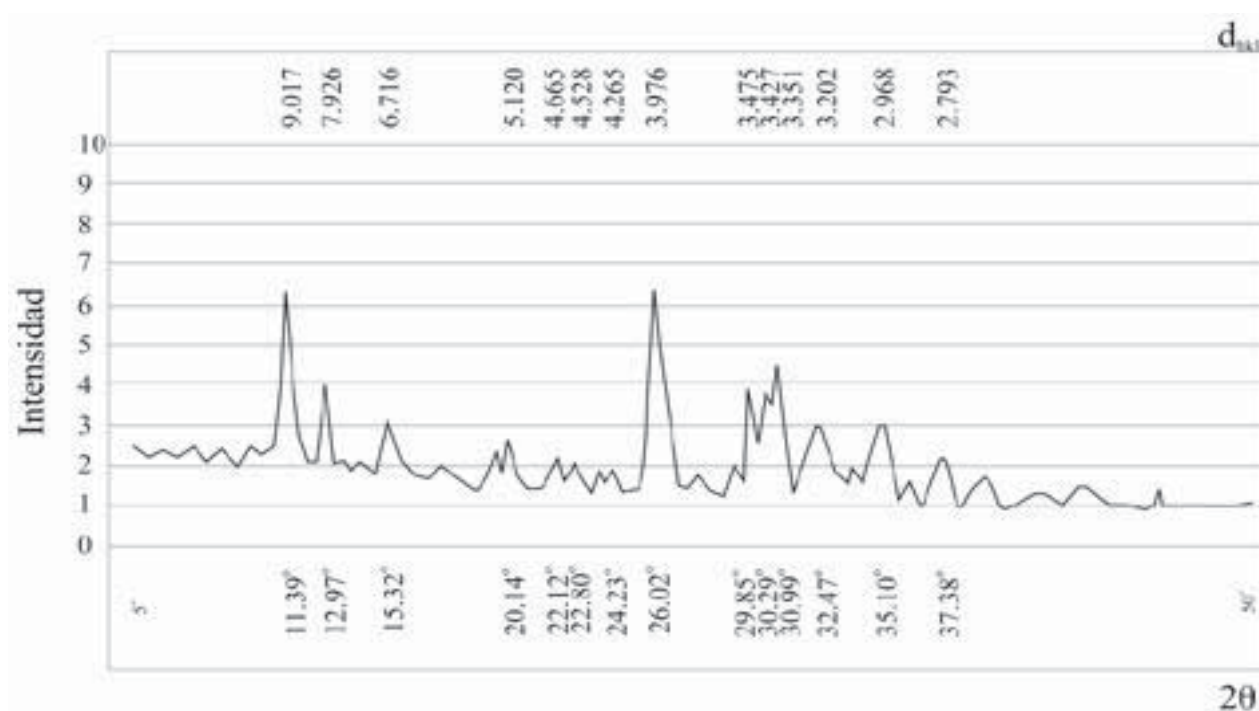


Figura 2. Difractograma de una toba rica en clinoptilolita. Yacimiento Tasajeras.

Figure 2. Diffraction pattern of a clinoptilolitic rich tuff. Tasajeras deposit.

lisis químicos de estas rocas, obtenidos por Coutin y Brito (1985).

En la provincia Habana están ubicadas las zeolitas en las regiones de Campo Florido y Canasí, vinculadas a las formaciones geológicas Chirino y La Trampa (Iturralde-Vinent et al., 1996). Sin embargo, las tobas ácidas zeolitizadas que afloran en los alrededores de Campo Florido fueron nombrados como Formación Orozco, por lo que se excluirían de la Fm. La Trampa, (Iturralde-Vinent et al., 1996).

La Fm. Chirino está constituida por tobas andesíticas vitrocrystaloclasticas finas y muy finas, así como por tobas litoclasticas y litocristaloclasticas de grano medio a lapilíticas. Estas rocas están alteradas, presentando zeolitización, silicificación, carbonatización y hematización (Iturralde-Vinent et al., 1996). Se asume una edad Cretácica que incluye el Cenomaniense.

Los difractogramas de las rocas zeolitizadas de la Habana muestran un alto grado de pureza, predominando la clinoptilolita, aunque subordinadamente aparece morde-nita (Coutin y Brito, 1985). Las manifestaciones más importantes en esta región son las de La Victoria, San Igna-

cio, Peñas Altas, Tumba Cuatro y Castilla. En esta última se encuentra ubicada una planta de procesamiento mecánico y envase.

Zona Central

En la zona central de Cuba aparecen rocas zeolitizadas en una extensa franja de más de 20 km de largo, con un ancho entre 0,7 y 5 km. Esta franja está situada al sur de la ciudad de Santa Clara (Fig. 1), donde se encuentran los yacimientos Piojillo y Tasajeras. Este último es el más importante de la región y es uno de los mayores de Cuba. También se encuentran las manifestaciones de Chucho Rojas, la Conductora y la Joaquina y, además, hay zeolitas en las cercanías de Cienfuegos.

Entre los primeros yacimientos cubanos estudiados se encuentran Tasajeras y Piojillo, ubicados a unos 3 km al noreste del poblado de San Juan de los Yeros y a unos 11 km al suroeste de la ciudad de Santa Clara (Fig. 1). En estos yacimientos las zeolitas se vinculan a la Fm. Hilario. Esta formación esta constituida fundamentalmente por tobas alteradas y zeolitizadas que van desde las variedades vitroclásticas hasta las cristalolito-clásticas, con interestra-

	Muestras (Composición en % en peso)		
	1	2	3
SiO ₂	65,11	65,83	64,82
TiO ₂	0,22	0,25	0,35
Al ₂ O ₃	10,73	11,00	11,50
Fe ₂ O ₃	1,87	1,16	1,19
CaO	3,58	4,14	3,40
MgO	0,94	0,79	1,02
K ₂ O	1,49	1,06	1,87
Na ₂ O	0,95	1,06	0,58
H ₂ O	14,61	14,34	14,93
Total	99,50	99,63	99,66

Tabla 2. Análisis químicos de rocas zeolitizadas de la zona central, según Coutin y Brito (1975). 1) Toba El Piojillo, 2) Toba Chucho Rojas, 3) Toba Conductora.

Table 2. Chemical analyses of zeolitized rocks from the central zone, after Coutin & Brito (1975). 1) El Piojillo tuff, 2) Chucho rojas tuff, 3) Conductora tuff.

tificaciones de aleurolitas tobáceas y tufitas (García, 1988). Esta formación está en sinonimia con la Formación Cotorro, de acuerdo al léxico estratigráfico de Cuba, en la que se incluyen areniscas vulcanomícticas, conglomerados vulcanomícticos, aleurolitas, tufitas, tobas de composición media y de diferentes granulometrías, calizas organodetríticas y margas. La edad es Cretácico Superior (Campaniense). Es característico en el yacimiento Tasajeras que las rocas zeolitizadas, que poseen color blanco verdoso y que son ligeras y compactas y presentan buena estratificación, aparezcan en estrecha vinculación con otras rocas, con las cuales constituyen ciclos definidos de sedimentación (Coutin y Brito, 1975). Estos ciclos lo forman, de abajo hacia arriba, areniscas y conglomerados vulcanoclásticos, tobas litoclásticas y cristalolitoclásticas, tobas zeolitizadas con contenidos entre 50 y 90 % de zeolitas y, cerrando el ciclo, tufitas calcáreo-arcillosas, margas y calizas, estas últimas en pequeños espesores con respecto al espesor total del ciclo. Los resultados de los análisis por difracción de rayos X indican que la clinoptilolita es el mineral principal de las rocas zeolitizadas (Fig. 2), apareciendo además en distintas cantidades la morde-nita. En la tabla 2 se dan algunos resultados de análisis químicos reportados por Coutin y Brito (1975).

El yacimiento Carolina se encuentra a unos 6-7 km de la ciudad de Cienfuegos (Fig. 1). Las rocas que aquí aparecen pertenecen al miembro Carolina (Maastrichtiense) y son tobas vitrocrystal y cristalovitroclásticas de composición media, con predominio de las primeras. La proporción de zeolitas en la roca oscila entre 40 y 60 % en

peso. Las zeolitas identificadas son clinoptilolita y morde-nita (Pérez, 1991).

Zona oriental

En la provincia de Camagüey (Fig. 1) los primeros hallazgos de rocas zeolitizadas se deben a Coutin y Brito (1985), quienes citaron la presencia de heulandita en las formaciones vulcanosedimentarias del Cretácico Superior al sur de la ciudad de Camagüey, así como de analcima en las cercanías de la ciudad de Nuevitás al norte de la provincia. En esta última localidad de trata de tobas vitroclásticas alteradas, que contienen cristales de zeolitas de 0,01-0,05 mm de diámetro y, además, cuarzo, oligoclasa y arcillas (Coutin y Brito, 1975).

En el territorio Ciego de Ávila-Camagüey-Las Tunas hay varias unidades estratigráficas que pertenecen a la secuencia del arco volcánico Cretácico, cuya edad se restringe al Aptiense (?)-Campaniense Medio. El quimismo del conjunto es calcoalcalino, con tendencia alcalina, que varía desde potásica en la base hasta sódica en el techo (Iturralde-Vinent et al., 1996).

El depósito de zeolitas cretácicas más importante de la provincia Camagüey lo constituye el yacimiento San José del Chorrillo ubicado al sur de la provincia (Fig. 1). Estas rocas zeolitizadas se incluyen en el miembro Vialla de la Formación Contraestre, de edad Cretácico Superior (Santoniense-Campaniense) según el mapa geológico

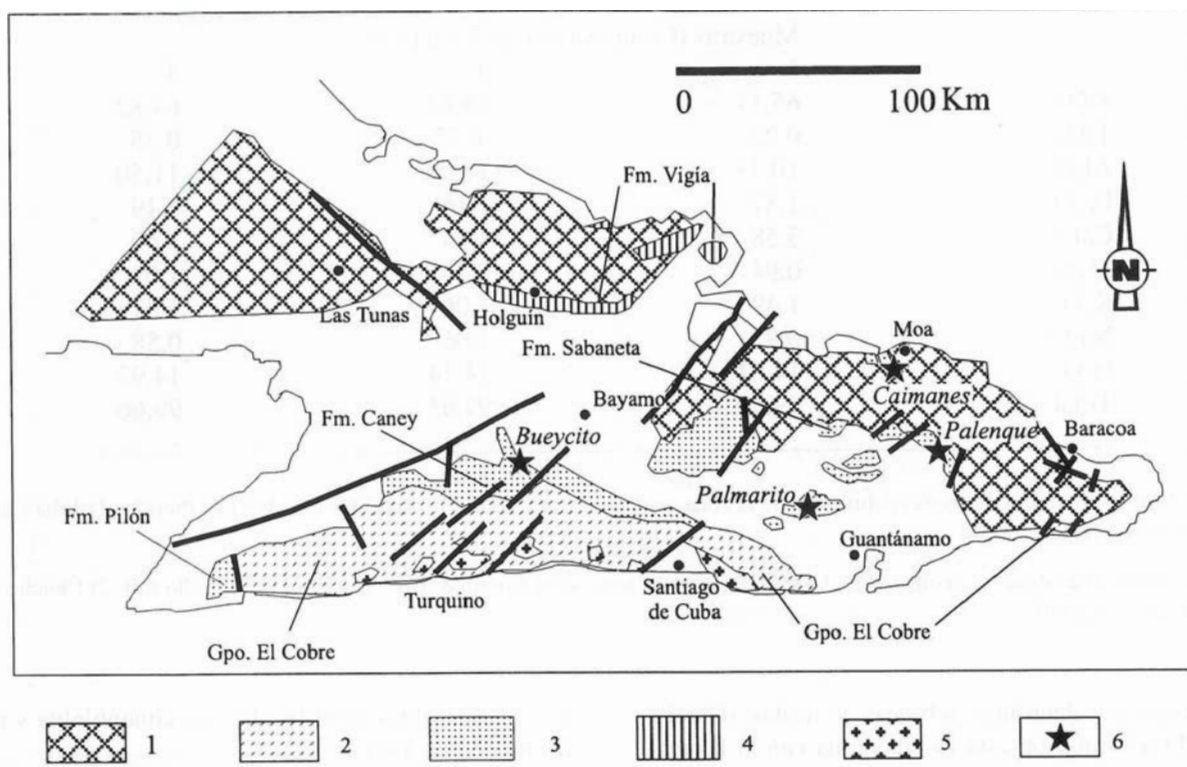


Figura 3. Desarrollo de las rocas volcánicas del Paleógeno en Cuba según Iturralde-Vinent (1996), ligeramente modificado por los autores. 1- Basamento del arco. Rocas del arco volcánico Daniense-Eoceno Inferior: 2- Flujos de basaltos a dacitas, con tobas, grauwacas y calizas; 3- tobas y tufitas con calizas, margas, y grauwacas intercaladas; 4- Calizas, margas, tufitas y algunas intercalaciones de grauwacas; 5- Rocas plutónicas eocenas; 6- depósitos de zeolitas.

Figure 3. Development of Paleogene volcanic rocks in Cuba (Iturralde-Vinent, 1996, modified by the authors). 1- Arc basement. Rocks of the Danian-Lower Eocene volcanic arc: 2- Basalt to dacite flows, tuffs, greywackes, limestones; 3- Tuffs, limestones, marls, with interbedded greywackes; 4- Limestones, marls, tuffs and some interbedded greywackes; 5- Eocene plutonic rocks; 6- Zeolite deposits.

de Cuba a escala 1: 250 000. El miembro Vialla está en sinonimia parcial con la Formación Aguilar, nueva unidad propuesta, que se compone de una sección monótona de rocas bien estratificadas, donde dominan tobas cineríticas, silicitas, tufitas de grano fino y calizas biomicríticas depositadas en aguas marinas profundas, lejos de los focos volcánicos, como lo atestiguan las silicitas con radiolarios y la ausencia de rocas efusivas (Iturralde-Vinent et al., 1996). La zeolita predominante en el yacimiento San José del Chorrillo es la clinoptilolita, apareciendo la mordenita de forma subordinada. Las rocas tienen un contenido total de zeolitas entre 70 y 80 %, habiendo además calcita, cuarzo y montmorillonita en las tobas cineríticas (Torres, 1987).

En la región de Holguín las rocas zeolitizadas cretácicas están vinculadas a la Formación Loma Blanca, cuya sección tipo se encuentra en los alrededores de Loma

Blanca, a 1,5 km al SW de San Andrés, pequeño poblado a unos 17 km al NW de la ciudad de Holguín (Fig. 1). En Loma Blanca afloran tobas zeolitizadas, que representan la parte superior del corte. Son rocas de tamaño de grano fino, de color gris blancuzco, crema y blanco, con variabilidad en su composición desde andesítica hasta dacítica y riolítica (Iturralde-Vinent et al., 1996).

Finalmente, en la región Mayarí-Baracoa aflora en una gran extensión la Formación Santo Domingo, constituida por una secuencia bien estratificada de tobas vitro y vitrocrystaloclasticas de composición andesítica, así como tufitas con radiolarios. Las rocas son de color verde, verde violáceo, gris verdoso y carmelita. Se asume para esta Formación una edad Cretácico Superior Turoniense o incluso, más reciente. Esta secuencia se depositó en una cuenca yuxtapuesta al eje del arco volcánico Cretácico, probablemente de aguas profundas (Iturralde-

Vinent et al., 1996). A pesar de su extensión y potencia de más de 2000 m, no se han reportado depósitos de zeolitas vinculados con estas rocas. Sin embargo, Freyre (1984) determinó en un área al sur del municipio de Sagua de Tánamo la presencia de clinoptilolita y mordenita en las rocas de la Formación Santo Domingo, vinculadas a tobas de composición andesítica y a tufitas. Por consiguiente, no se pueden descartar procesos de zeolitización, sobre todo en la parte alta del corte de la Formación Santo Domingo.

Depósitos relacionados con el arco de islas Paleoceno-Eoceno

Las rocas que constituyen el arco de islas del Paleoceno tardío al Eoceno Medio temprano están ampliamente difundidas en la región oriental de Cuba (Iturralde-Vinent, 1996b). Sin embargo, algunos autores plantean la presencia de rocas terciarias y depósitos de zeolitas vinculados a ellas en Camagüey y Sancti Spiritus. Por esta razón, en primer lugar se analizarán con más detalle los depósitos de la región oriental de Cuba y, a continuación, los de las otras regiones.

Zona más oriental de Cuba

En la parte más oriental de Cuba (provincias: Santiago de Cuba, Guantánamo, Holguín y Gramma) se pueden reconocer materiales asociados a la cuenca de tras arco y a la zona axial del arco paleogénico en su disposición original (Iturralde-Vinent, 1996b) (Fig 3). Por su relación genética con las zeolitas el complejo efusivo sedimentario es el de mayor importancia. Las rocas de este complejo se encuentran presentes en casi toda Cuba, pero su volumen e importancia se atenúan en dirección al norte y al noroeste.

El mayor desarrollo del arco volcánico paleógeno se encuentra en la Sierra Maestra (zona axial del arco). La Sierra Maestra forma una cadena montañosa con dirección Este-Oeste, y tiene una extensión aproximada de 250 km, desde la bahía de Guantánamo al Este hasta Cabo Cruz al Oeste. En ella las secuencias volcánicas y sedimentarias se incluyen en el Grupo El Cobre, de edad Paleoceno-Eoceno medio, con una potencia de 6000 m o superior. El Grupo El Cobre se compone de las formaciones Pílon y Caney y una secuencia no diferenciada, que es la más extensa. La Formación Caney se extiende como una estrecha faja al norte de la Sierra Maestra y se compone de

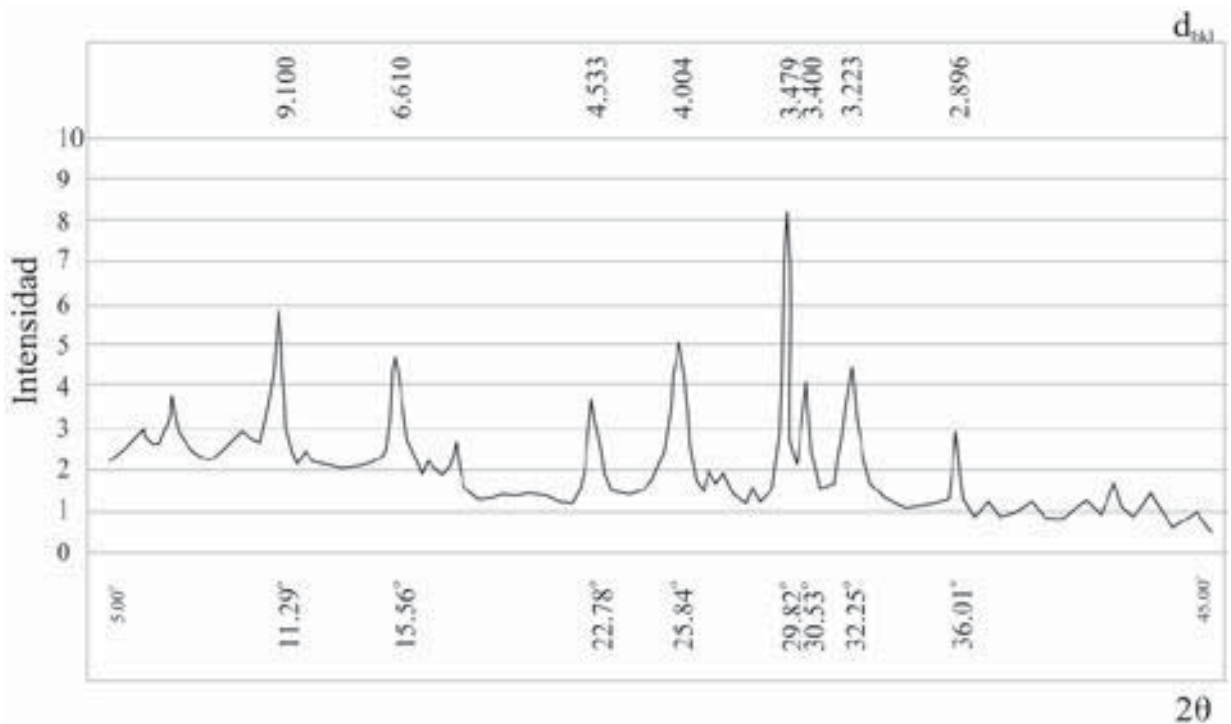


Figura 4. Difractograma de una toba mordenítica. Yacimiento Palmarito de Cauto.

Figure 4. Diffraction pattern of a mordenitic tuff. Palmarito de Cauto deposit.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	NO ₃	PFI
61,93	13,42	2,53	1,22	2,33	1,92	4,93	1,14	0,5	8,8

Tabla 3. Valor promedio de la composición química en % en peso de tobas zeolitizadas de Palmarito de Cauto con contenidos de zeolitas mayores al 70 %.

Table 3. Average values of chemical compositions (% wt) of zeolitized tuffs with zeolite contents > 70%. Palmarito de Cauto.

tobas cineríticas, tufitas, tobas calcáreas y calizas tobáceas bien estratificadas. Vinculada a ella se encuentra el depósito de zeolitas de Bueycito al sur de la ciudad de Bayamo (Fig. 3). Aquí predominan las tobas vitroclásticas masivas de composición media con diferentes grados de zeolitización (Bolívar, 1989). El contenido de zeolitas en las rocas no sobrepasa el 50 % y abunda mucho la montmorillonita, la cual a veces predomina como producto de alteración. La zeolita predominante es la mordenita. Otras rocas zeolitizadas afloran más hacia el Norte, formando una franja discontinua desde Palmarito de Cauto al Oeste hasta Palenque de Yateras al Este (Fig. 3). Estas rocas se incluyen en la Formación Sabaneta, pero fueron cartografiadas indistintamente como pertenecientes a las Formaciones El Cobre y Miranda, las que están en sinonimia con Sabaneta. Las rocas de la Formación Sabaneta propuesta por Iturralde-Vinent (1976) se distribuyen en forma de faja en las provincias Guantánamo y Holguín y se componen de to-

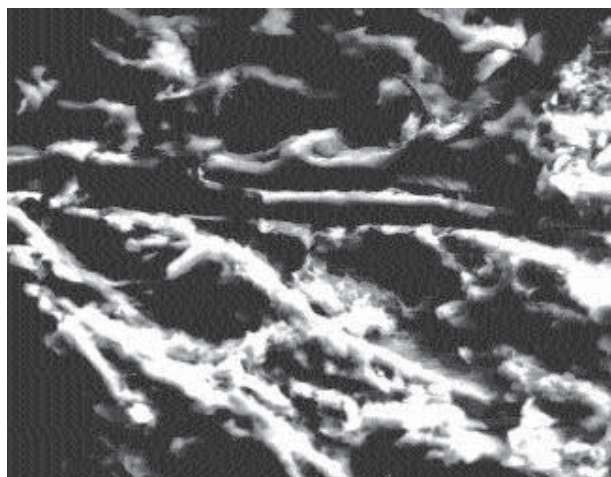


Figura 5. Toba zeolitizada de Palenque de Yateras. La clinoptilolita sustituye los fragmentos de vidrio volcánico, la mordenita rellena poros. 1 cm = 90 micras.

Figure 5. Zeolitic tuff from Palenque of Yateras. Clinoptilolite substitutes volcanic shards fragments, mordenite fills porosity. 1 cm = 90 microns.

bas vitroclásticas, litovitroclásticas y cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, conglomerados vulcanomícticos y, ocasionalmente, pequeños cuerpos de basaltos. Las rocas tienen una composición predominantemente andesítica y en las tobas es muy característica la presencia de minerales del grupo de la montmorillonita y de zeolitas, debido a la alteración. La edad de la Formación es Paleoceno Inferior (Daniense parte alta)-Eoceno Medio.

En Palmarito de Cauto (ubicado a unos 2 km al SE del poblado del mismo nombre y a unos 50 km al N de Santiago de Cuba) Coutin y Brito (1975) describen en la parte superior del corte una secuencia rocosa que incluye potentes capas de zeolitas (Fig. 3 y Tabla 3). El horizonte está constituido por varios ciclos de sedimentación bien definidos, en cuya base predominan las variedades conglomeráticas, mientras que en la parte alta aparecen tobas cristalovitroclásticas zeolitizadas. Son rocas de color verde, bien estratificadas en capas de 10-15 cm. Cerrando el ciclo aparecen tufitas calcáreas, calizas tobáceas y calizas. Algunas tobas están compuestas casi exclusivamente por mordenita (Fig. 4), aunque en estas rocas aparece

	1(n=7)	2(n=8)
SiO ₂	66,91	58,93
Al ₂ O ₃	11,61	14,91
TiO ₂	0,27	0,49
CaO	3,81	4,40
MgO	0,98	3,54
Fe ₂ O ₃	1,51	4,21
Na ₂ O	1,76	1,39
K ₂ O	1,41	1,43
FeO	1,24	2,16
PFI	9,62	7,93

Tabla 4. Composición química en % en peso de tobas alteradas a zeolitas (1) y a montmorillonita (2) en Palenque, Yateras.

Table 4. Chemical composition (% wt) of tuffs altered to zeolites (1) and to montmorillonite (2). Palenque, Yateras.

también la clinoptilolita. Cuando ambos minerales se encuentran juntos, se observa que la mordenita se desarrolla en la periferia de los vitroclastos y la clinoptilolita en el centro de los mismos. Los contenidos de mordenita pueden alcanzar como promedio 72 %, mientras que la clinoptilolita no sobrepasa el 10 %.

Hacia el este, en la provincia Guantánamo, se ubica el depósito de zeolitas de Palenque, al NE del poblado de Palenque (Fig. 3). Aquí afloran tobas de la Formación Sabaneta distribuidas en dos miembros: inferior y superior. En el inferior predomina la alteración del vidrio volcánico a montmorillonita; en el superior, la zeolitización es mayoritaria y aparecen clinoptilolita y mordenita (Orozco, 1987), vinculadas principalmente a tobas vitroclásticas. El estudio de las secciones delgadas y de las fotos tomadas con el mi-

croscopio electrónico de barrido muestran que la clinoptilolita sustituye pseudomórficamente a los fragmentos de vidrio volcánico, mientras que la montmorillonita se forma en los bordes de los mismos y la mordenita rellena poros (Fig. 5). Parece como si la mordenita se formara posterior a la clinoptilolita. Los contenidos de zeolitas de las tobas alteradas oscilan entre 30 y 80 %, y en muchas muestras se estableció la presencia de cristobalita. En las muestras alteradas principalmente a montmorillonita el contenido máximo de este mineral en las rocas no sobrepasa el 50 %. En la tabla 4 se dan los contenidos promedios de la composición química de tobas alteradas a montmorillonita y zeolitas, de la zona Palenque.

El depósito de zeolitas más importante de la región oriental de Cuba, y uno de los mayores del país, es el de-

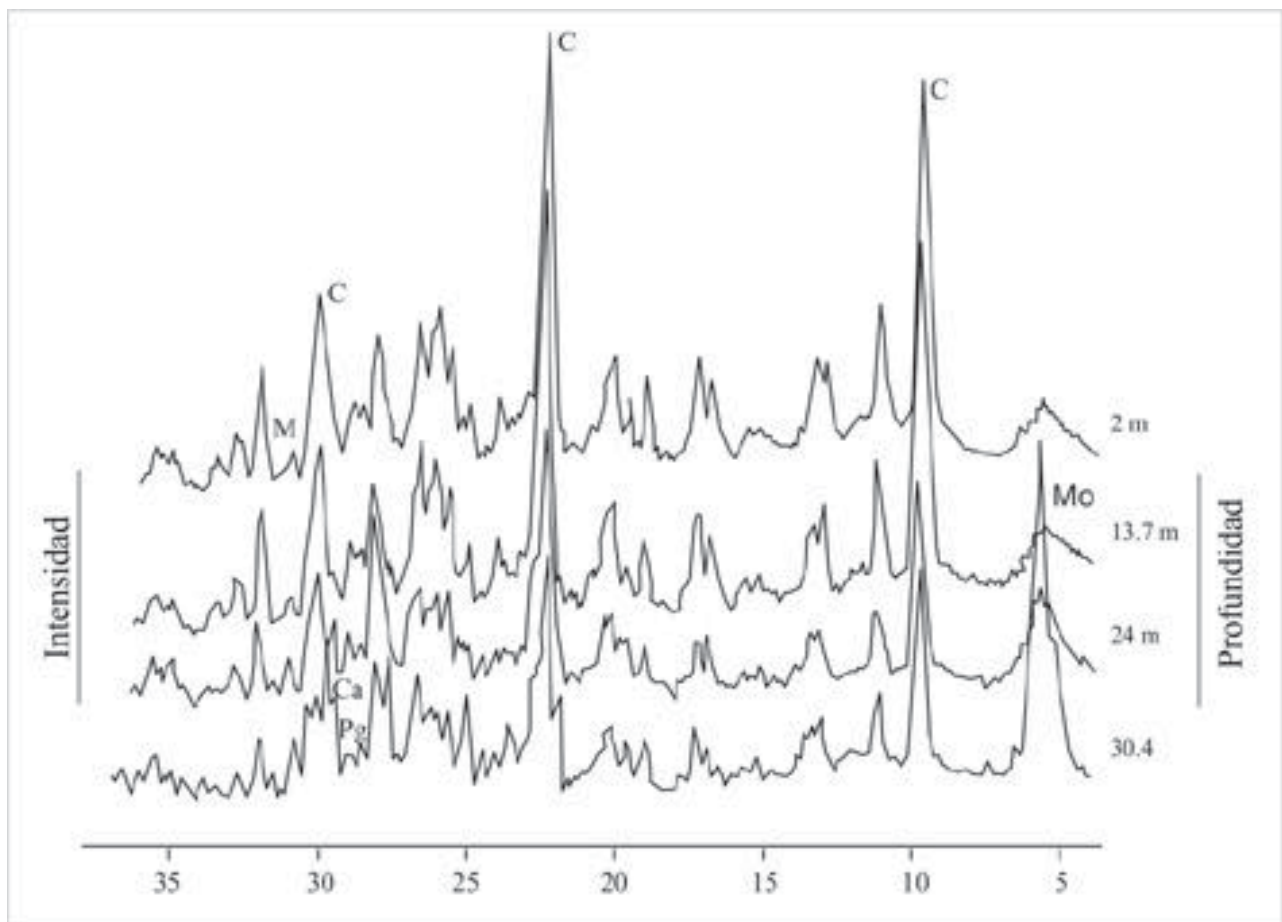


Figura 6. Variación de la composición mineralógica de las tobas con la profundidad en el yacimiento Caimanes. Leyenda: C, clinoptilolita; Mo, montmorillonita; Ca, calcita; Pg, plagioclasa; M, mordenita.

Figure 6. Variation of the mineralogical composition of tuffs with depth in the Caimanes deposit. C, clinoptilolite; Mo, montmorillonite; Ca, calcite; Pg, plagioclase; M, mordenite.

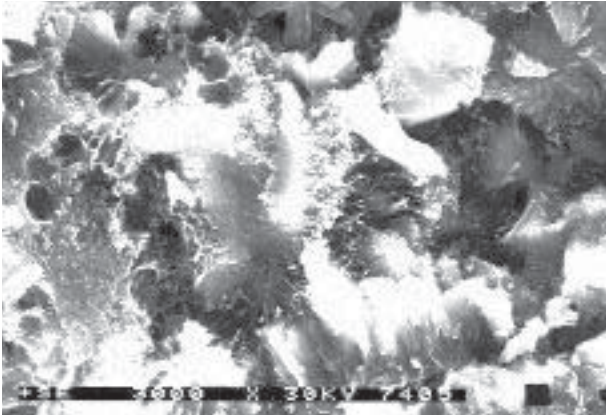


Figura 7. Toba zeolitizada de Caimanes. Finas agujas de mordenita crecen a partir de la clinoptilolita, la cual ha sustituido al vidrio volcánico. A la izquierda se observa también montmorillonita. 1 cm = 40 micras.

Figure 7. Zeolitic tuff from the Caimanes Deposit. Fine needles of mordenite grows from clinoptilolite, which substitutes the volcanic shards. Montmorillonite occurs at left. 1 cm = 40 microns.

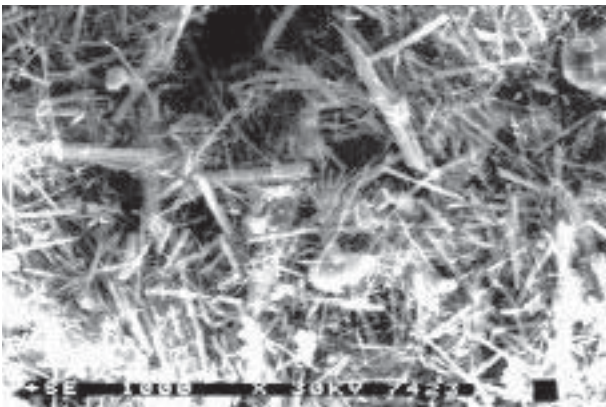


Figura 8. Típicos cristales fibrosos de mordenita obtenidos en grietas de tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes. 1 cm = 120 micras.

Figure 8. Typical fibrous mordenite crystals are obtained from cracks in zeolite tuffs from Caimanes Deposit. 1 cm = 120 microns.

pósito Caimanes, el cual se encuentra ubicado a unos 24 km al suroeste de la ciudad de Moa (provincia de Holguín) (Fig. 3). En el área afloran rocas de la Formación Mícara y de la Formación Sabaneta (Orozco, 1996). Esta última se encuentra compuesta principalmente en la zona por tobas, que forman una serie de ritmos que hacia la parte alta aumentan en espesor. Dichas tobas transicionan

	1	Andesita*
SiO ₂	59,87	56,86
Al ₂ O ₃	13,41	17,22
Fe ₂ O ₃	2,91	3,29
FeO	0,97	4,26
MgO	1,48	3,40
CaO	6,32	6,87
Na ₂ O	1,42	3,54
K ₂ O	1,45	1,67
PPI	11,07	---

Tabla 5. Valor medio de los oxidos en % en peso de tobas zeolitizadas del Yacimiento Caimanes, según Orozco (1996). 1) promedio de 75 análisis de rocas de Caimanes, 2) composición química promedio de andesita según Le Maitre, 1976.

Table 5. Average value (oxide wt %) of the zeolitized tuffs from the Caimanes deposit (Orozco, 1996), 2) average of chemical composition of andesites (Le Maitre, 1976).

desde grano grueso en la parte baja hasta cinerítico en la parte alta, muestran estratificación gradacional.

Los análisis de difracción de rayos X indican que la clinoptilolita es la zeolita más común en estas rocas. En la figura 6 se observa cómo con la profundidad aumentan los contenidos de montmorillonita, calcita y plagioclasas, en detrimento del contenido de clinoptilolita. En esta zona se comprueba que la clinoptilolita sustituye al vidrio volcánico y, a la vez, es sustituida por la mordenita (Fig. 7). Además, se estableció la presencia de mordenita en grietas y oquedades de las tobas (Fig. 8) asumiéndose un origen hidrotermal en este último caso (Orozco, 1996). Las tobas zeolitizadas tienen una composición química promedio semejante a las andesitas, pero presentan mayores contenidos de SiO₂ (Tabla 5) y, además, son cálcicas, como ocurre para la mayoría de las rocas zeolitizadas cubanas. Se estableció que durante el proceso de alteración de las tobas desde su estadio inicial, con mayores contenidos de vidrio volcánico y álcalis, hasta rocas zeolitizadas, ocurre una disminución de los álcalis y un aumento de la sílice (Orozco, 1996). El contenido de clinoptilolita oscila entre 50 y 70 %, mientras que el promedio para la mordenita está alrededor del 15 %.

Zonas de Camagüey y Sancti Spiritus

Las rocas zeolitizadas de edad Paleógeno en la provincia Camagüey están vinculadas al yacimiento San Cayetano, el cual se localiza a unos 30 km al sur de la ciu-

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	PPI
65,30	11,42	2,90	4,71	1,51	1,81	0,80	0,024	9,89

Tabla 6. Composición química promedio de tobas zeolitizadas de un pozo del yacimiento Siguaney (% en peso), n=5.

Table 6. Average of chemical composition (%wt, n=5) of zeolitized tuffs from a drill. Siguaney deposit.

dad de Camagüey (Alvarez, 1990) (Fig. 9). Aquí afloran rocas de la Formación Vertientes, de edad Eoceno Inferior-Eoceno Medio parte baja, que está compuesta por paquetes de tobas, areniscas calcáreas vulcanomícticas de grano medio a grueso, areniscas calcáreas de grano medio a fino con cemento arcilloso-calcáreo, margas blancas, calizas arenosas, gravelitas y conglomerados polimícticos. Las tobas zeolitizadas son principalmente vitroclásticas, de color verde claro, predominando en ellas la mordenita y apareciendo, en menor proporción, clinoptilolita. El contenido de zeolitas en las rocas oscila entre 50 y 80 %.

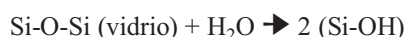
El yacimiento Tobas Siguaney se encuentra en la provincia de Sancti Spiritus (Fig. 9) y se localiza a 2,5 km al norte-noroeste del poblado de Siguaney (González, 1987). Las tobas zeolitizadas pertenecen a la Formación Bijabo de edad Eoceno Inferior a Medio, y que está en parte en sinonimia con la Formación Zaza. La Formación Bijabo se compone por una secuencia de areniscas, gravelitas, calcarenitas, margas, conglomerados, calizas fragmentarias y arcillas con carácter flyschoides. En la parte inferior de la secuencia se encuentran las tobas zeolitizadas, que son de color verde claro a blanco verdoso y de grano fino. Generalmente son tobas vitroclásticas, y en ellas se han detectado clinoptilolita, mordenita y analcima. En las observaciones microscópicas se estableció que la montmorillonita rodea los fragmentos de vidrio volcánico alterado. Las tobas del yacimiento Siguaney se han empleado con éxito por sus propiedades puzolánicas para la producción de cemento portland y puzolánico en la fábrica de cemento Siguaney. En la tabla 6 se dan datos del quimismo de esas rocas.

CONSIDERACIONES GENÉTICAS

De acuerdo a las tablas expuestas, las tobas zeolitizadas muestran los mayores contenidos de SiO₂, mientras que las alteradas a montmorillonita (muy distribuidas en Palenque de Yateras, Provincia Guantánamo y otras localidades) son como promedio más pobres en sílice y más ricas en MgO y Fe₂O₃. Entre estos tipos de ro-

cas hay diferencias significativas para SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, FeO y TiO₂. No obstante, se puede concluir que el quimismo original de las rocas era de tipo medio-ácido, con una pequeña diferencia entre las rocas depositadas en los estadios iniciales, algo más básicas, que las depositadas en las secuencias superiores, aunque evidentemente el proceso de alteración a zeolitas tiende a aumentar el contenido de SiO₂ en las rocas (Orozco, 1996).

La montmorillonita es el mineral principal de las tobas alteradas a montmorillonita, si bien los análisis cuantitativos por difracción de rayos X indican que los contenidos no sobrepasan el 50 % (Orozco, 1987). Por tanto, no se produce una transformación completa del vidrio volcánico a montmorillonita. Este mineral está presente también en pocas cantidades en las tobas zeolitizadas. Al parecer, la transformación del vidrio volcánico medio-ácido en montmorillonita es una de las primeras reacciones en el medio marino. Durante este proceso se fija el Mg de la solución de poro, con un relativo enriquecimiento del Al₂O₃ por la disolución selectiva del SiO₂ durante la hidrólisis del vidrio. La formación de la montmorillonita consume los iones Mg que están disponibles; el medio alcalino y la saturación creciente de la solución en ácido silícico llevan a las condiciones de formación de zeolitas. Las zeolitas reportadas para Cuba como productos de alteración del vidrio volcánico de las tobas son principalmente clinoptilolita y mordenita, las cuales son ricas en SiO₂. Coombs et al. (1959) ubican esas zeolitas en el grupo de las que pueden ser estables en soluciones sobresaturadas en ácido silícico, es decir, en paragénesis con ópalo o vidrio rico en sílice. De acuerdo con los resultados obtenidos de las observaciones microscópicas, se puede inferir que el proceso de transformación del vidrio en zeolitas se inicia con la hidroxilación según el esquema propuesto por Colella et al. (1982):



En lugar del vidrio se origina pseudomórficamente clinoptilolita. De la solución de poro se fijan Na, K y Ca,

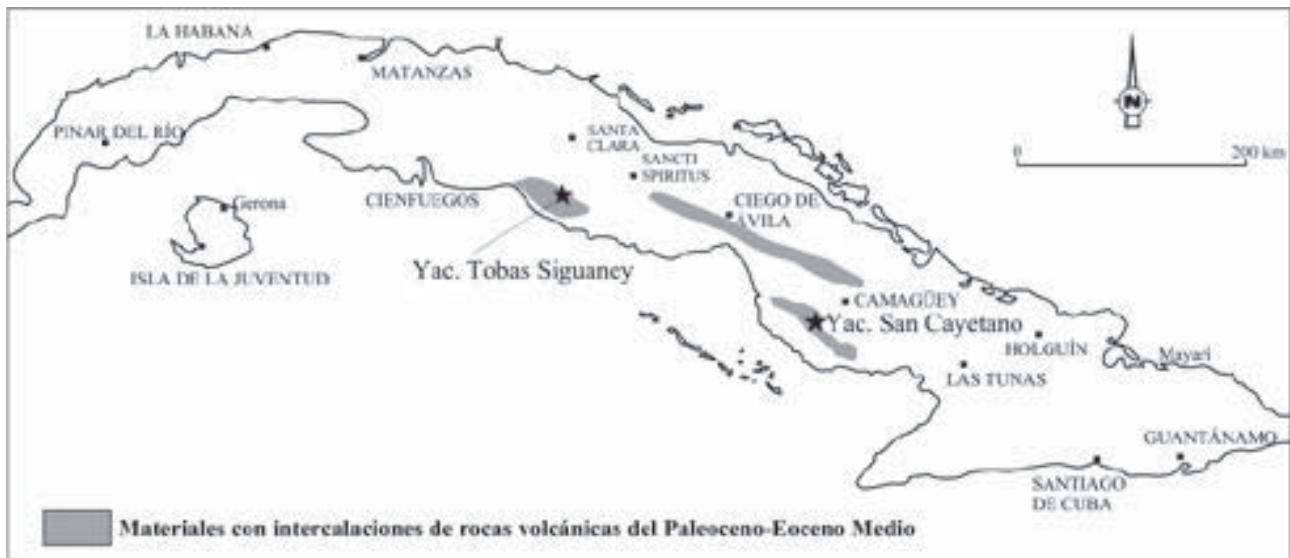


Figura 9. Localización de los principales depósitos de zeolitas del Paleógeno en las provincias de Camagüey y Sancti Spiritus.

Figure 9. Location of Paleogene zeolite deposits from Camagüey and Sancti Spiritus provinces.

ocurriendo un enriquecimiento de la sílice. Hawkins et al. (1978) han expuesto que a bajas temperaturas se favorece la formación de la clinoptilolita sobre la de mordenita, pues el primero es un mineral más hidratado. A temperaturas más elevadas la clinoptilolita, en comparación con la mordenita, es más inestable. Watanabe et al. (1986) han deducido temperaturas entre 50 y 90°C para la zona de formación clinoptilolita-mordenita durante la diagénesis por enterramiento en el depósito de zeolitas de Itaya, Japón.

De este modo, la sustitución de la clinoptilolita por la mordenita, observada en secciones delgadas y en el microscopio electrónico, puede ser provocada tanto por el aumento de la temperatura como por la relación K/Na en las soluciones de poro. En caso de poca actividad de los álcalis se precipita cristobalita a partir de la solución saturada en ácido silícico. El hecho de que las tobas alteradas a montmorillonita se encuentran en la parte baja de las secuencias, lo que es muy evidente en Palenque de Yateras (Provincia Guantánamo), es una evidencia del proceso de migración de determinados elementos bajo el influjo de las soluciones de poro, y parece comprobar la consideración de Hay (1978) de que el proceso de transformación del vidrio volcánico a montmorillonita condiciona la posterior transformación de éste a zeolitas. Por otra parte, no se debe olvidar el ambiente deposicional de las rocas, ya que se manifiesta en Cuba un predominio de la zeolitización como fenómeno regional

en las secuencias de las cuencas de retroarco, estando ausentes depósitos de zeolitas vinculados a la zona axial del arco Paleógeno (área de la Sierra Maestra). En cambio, los depósitos vinculados a la zona axial del arco Cretácico en la región central de Cuba, al parecer, se originaron en las postrimerías del desarrollo de este arco volcánico, donde predominan las secuencias calcoalcalinas y condiciones de sedimentación más propicias para la transformación del vidrio volcánico a montmorillonita o zeolitas en cuencas de aguas profundas. Criterios semejantes para explicar la zeolitización del Green Tuff en el arco de islas de Japón han sido utilizados por Utada (1991).

CONCLUSIONES

En las secuencias asociadas a las cuencas de retroarco en los arcos de islas del Cretácico y del Paleógeno de Cuba, así como en las secuencias vinculadas a la fase final del arco de islas del Cretácico en Cuba central (zona axial), se dieron las condiciones geológicas y geoquímicas para la transformación del vidrio volcánico contenido en las tobas a minerales del grupo de las zeolitas. Estos depósitos se caracterizan por: 1) el predominio de clinoptilolita y mordenita; 2) que los mayores contenidos de zeolitas se encuentran en las partes superiores de los ciclos de sedimentación asociados a las tobas vitroclásticas

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud a los colegas de la Facultad de Geología y Minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa por el apoyo y las sugerencias dadas, que nos han ayudado en la culminación de este artículo.

Este trabajo ha sido mejorado gracias a los comentarios y sugerencias realizadas por los doctores I. Queralt (Instituto de Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" CSIC, Barcelona), S. Martínez, J.C. Melgarejo y J.A. Proenza (Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona).

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, T., 1990. Informe final sobre la búsqueda, exploración orientativa y detallada del yacimiento San Cayetano, Municipio Jimaguayú, provincia Camagüey. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, 52 pp.
- Bolívar, G., 1989. Informe preliminar sobre los trabajos de exploración orientativa y detallada en el yacimiento de zeolitas Bueycito, provincia Granma. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 34 pp.
- Colella, M., Gennaro, M., Franco, E., Aiello, R., 1982. Estimation of content in napolitan yellow tuff. *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 38(3), 1423-1427.
- Coombs, D.S., Allis, A.J., Fyfe, W.S., Taylor, A.M., 1959. The zeolites facies, with comments on the interpretation of hydrothermal synthesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 17, 53-107.
- Coutin, D., Brito, A., 1975. Características de la zeolitización en rocas sedimentarias de origen volcánico en Cuba oriental. *La Habana, Serie Geológica*, No. 20, Instituto de Geología y Paleontología, 26 pp.
- Coutin, D., Brito, A., 1985. Las rocas zeolíticas en Cuba occidental. *Revista Tecnológica*, 15, 61-68.
- Freyre, F., 1984. Estudio de las vulcanitas pre-Maastrichtiano de las montañas del este de Holguín. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 65 pp.
- García, M., 1988. Nuevos datos sobre los trabajos de prospección geológica en el yacimiento Zeolitas Tasajeras. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa. 38 pp.
- González, I., 1987. Exploración orientativa y detallada del sector I, yacimiento Tobas Siguaney. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa. 52 pp.
- Hay, R.L., 1978. Geologic occurrences of zeolites. In L.B. Sand, F.A. Mumpton (eds.). *Natural zeolites*, London, 135-144.
- Hawkins, D.B., Sheppard, R.A., Gude, A.J., 1978. Hydrothermal synthesis of clinoptilolite and comments on the assemblage phillipsite-clinoptilolitemordenite. In L.B. Sand, F.A. Mumpton (eds.). *Natural zeolites*, London, 337-344.
- Iturralde-Vinent, M., 1976. Estratigrafía de la zona Calabazas-Achotal, Mayarí Arriba, Oriente. *La Minería en Cuba*, 5, 9-23.
- Iturralde-Vinent, M., 1996a. Introduction to Cuban Geology and tectonics. In M. Iturralde-Vinent (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, Miami, 3-35.
- Iturralde-Vinent, M., 1996b. Cuba: El archipiélago volcánico Paleoceno-Eoceno Medio. In M. Iturralde-Vinent (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, Miami, 231-246.
- Iturralde-Vinent, M., Millán, G., Kozák, M., 1996. Estratigrafía del arco volcánico Cretácico en Cuba. In M. Iturralde-Vinent (ed.). *Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba*, Miami, 190-230.
- Orozco, G., 1987. Mineralogisch-geochemische Charakterisierung, Umbildungsprozesse und Anwendungsmöglichkeiten der umgewandelten Pyroklastite im Süden der Sierra Cristal, Cuba. Tesis Doctoral. Academia de Minas de Freiberg. 126 pp.
- Orozco, G., 1996. Caracterización geólogo-mineralógica del yacimiento de tobas zeolitizadas Caimanes, Moa, Holguín. *Minería y Geología*, 13(3), 27-35.
- Pérez, O., 1991. Características generales de los yacimientos de zeolitas Carolina I y II. Libro de resúmenes. 3ra Conferencia Internacional sobre la presencia, propiedades y utilización de zeolitas naturales, Habana, Cuba.
- Torres, J., 1987. Evaluación geológica y algunos resultados tecnológicos de las zeolitas en Camagüey. Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 76 pp.
- Watanabe, Y. et al., 1986. Geology of the Itaya zeolite deposit, Yamagata, North Honshu. In *New developments in zeolite science and technology*. Tokyo, Kodansha LTD.