



# MODELO DESCRIPTIVO DE YACIMIENTOS DE ZEOLITAS NATURALES, UNA PROPUESTA EN EL EJEMPLO DE CUBA ORIENTAL.

**Gerardo Orozco Melgar**

Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
Las Coloradas s/n, Moa. Holguín. C.P. 83329  
E-mail: [gorozco@ismm.edu.cu](mailto:gorozco@ismm.edu.cu)

## RESUMEN

La modelación de yacimientos minerales está poco desarrollada en Cuba, trabajo pionero en este sentido lo ha presentado *Ariosa, J.D. (2002)* en su tesis doctoral con ejemplos específicos sobre modelos descriptivos de yacimientos lateríticos de Fe, Ni y Co.

En el presente trabajo se aborda la propuesta de un modelo descriptivo para los yacimientos de zeolitas naturales en la región oriental de Cuba, donde existen yacimientos explorados y evaluados vinculados con los arcos de islas del Cretácico y del Paleógeno.

Se emplea para la modelación de yacimientos de zeolitas naturales de la región oriental de Cuba la metodología descrita por *Ariosa, J.D. (2002)*. De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada existen propuestas de modelos descriptivos para yacimientos de zeolitas naturales a nivel mundial en los casos de yacimientos de zeolitas naturales vinculados a los sistemas hidrológicos abiertos y cerrados *Sheppard, R.A. y Simandl, G.J. (1999)*.

Como resultado de este trabajo se logra una generalización de la información geológica existente sobre los yacimientos de zeolitas naturales de la región oriental de Cuba para la confección del modelo descriptivo lo que debe ser de utilidad para su aplicación a otras regiones cubanas y del mundo cuyas características geológicas sean semejantes.

## ABSTRACT

The modeling of mineral deposits is little developed in Cuba. *Ariosa, J.D. (2002)* has presented a pioneer work in this sense in his doctoral thesis with specific examples on descriptive models of lateritic deposits of Fe, Ni and Co.

In the present paper is proposed a descriptive model for the deposits of natural zeolites in the east region of Cuba, where explored and evaluated zeolitic deposits exist linked with the volcanic island arcs of the Cretaceous and Tertiary.

It is used for the modeling of deposits of natural zeolites of the east region of Cuba the methodology described by *Ariosa, J.D. (2002)*. According to the bibliographical revision proposals of descriptive models exist for deposits of natural zeolites in the cases of deposits linked to the open and closed hydrological systems, *Sheppard, R.A. and Simandl, G.J. (1999)*.

As a result of this work a generalization of the existent geologic information is achieved on the deposits of natural zeolites of the east region of Cuba for the making of the descriptive model what being of utility for his application to other Cuban regions and of the world whose geologic characteristics are similar.

## Introducción

La modelación de yacimientos minerales está poco desarrollada en Cuba, trabajo pionero en este sentido lo ha presentado *Ariosa, J.D. (2002)* con ejemplos específicos sobre modelos descriptivos de yacimientos lateríticos de Fe, Ni y Co. En la literatura se reportan propuestas de modelos descriptivos para yacimientos de zeolitas naturales en los casos de yacimientos



vinculados a los sistemas hidrológicos abiertos y cerrados. En el presente trabajo se ha partido de los resultados de las investigaciones desarrolladas en los últimos años sobre los yacimientos de zeolitas cubanos, en particular de la zona oriental de Cuba para proponer un nuevo modelo descriptivo de yacimientos de zeolitas naturales vinculado a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas volcánicas.

## **Desarrollo**

La modelación de yacimientos es el proceso de ordenar sistemáticamente la información sobre los yacimientos de un tipo determinado y sus ambientes, con la finalidad de definir y describir sus atributos esenciales, Ariosa (2002). El programa de modelación de yacimientos, según Ariosa (2002), se inició en 1983 con la finalidad de promover técnicas de avanzada en la exploración y evaluación de los recursos minerales para apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo, como un programa conjunto entre la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Para la confección del modelo descriptivo de depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas se escogió el formato que describe Ariosa (2002) y que se expone a continuación:

Nombre

Sinónimos

Productos y subproductos

Ejemplos

### **Características geológicas**

Descripción resumen

Escenario tectónico

Ambiente deposicional/escenario geológico

Edad de la mineralización

Tipos de rocas encajantes/tipos de rocas asociadas

Forma del yacimiento

Textura / estructura

Mineralogía de las menas (Principal y subordinada)

Intemperismo

Controles de las menas

Modelo genético

Tipos de yacimientos asociados

Comentarios

### **Guías de exploración**

Características geoquímicas

Características geofísicas

Otras guías de exploración

### **Factores económicos**

Ley y Tonelaje

Limitaciones económicas

Usos finales

Importancia



A continuación se detallan cada uno de los aspectos antes relacionados del formato escogido para la confección del modelo descriptivo.

### **Modelo descriptivo de depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas**

Nombre: Depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas

Sinónimos: En el campo es imposible prácticamente distinguir estos depósitos de las zeolitas formadas por enterramiento metamórfico.

Productos: Clinoptilolita, mordenita.

Ejemplos: Caimanes, Moa, Holguín; Palmarito del Cauto, Santiago de Cuba; Madre Vieja, Palenque, Guantánamo.

### **Características geológicas**

Descripción resumen: zeolitas microcristalinas (clinoptilolita, mordenita) se presentan en secuencias de rocas vulcanógeno-sedimentarias relativamente potentes depositadas en ambiente marino. Las zonas mineralizadas tienen entre 1 y 100 m de espesor, a veces más, y comúnmente exhiben una zonación vertical en el contenido de las zeolitas y de los minerales silicatos asociados dentro de la secuencia. Las zeolitas cristalizan en el ambiente postdeposicional diagenético.

Escenario tectónico: complejos de arcos de islas volcánicos no metamorfizados.

Ambiente deposicional/ escenario geológico: cuencas marinas medias a profundas vinculadas a terrenos volcánicos de arcos de islas, depósitos de rocas tobáceas potentes donde el vidrio volcánico ha sido afectado y transformado por los procesos diagenéticos.

Edad de la mineralización: Los depósitos de zeolitas analizados para Cuba oriental son de edad Paleoceno a Eoceno medio.

Tipos de rocas encajantes/ tipos de rocas asociadas: Las rocas zeolitizadas son capas de tobas de diferentes granulometrías con pequeñas intercalaciones o no de otras litologías. La composición química de las tobas varía desde media a ácida.

Forma del yacimiento: estratiforme. El espesor de las tobas zeolitizadas en los depósitos más grandes puede sobrepasar los 100 m. La extensión areal puede variar entre 10 y 50 km<sup>2</sup>. Depósitos más pequeños y porciones minables de las tobas arriba descritas pueden tener espesores menores de 30 metros.

Textura / estructura: Finamente cristalina, vitrioclástica, comúnmente estratificada en paquetes que se suceden a lo largo del corte. Es común una zonación vertical del contenido de los minerales silicatos autógenos. En la secuencia de tobas alteradas de composición medio a ácida, aparecen las zeolitas ricas en álcalis (clinoptilolita y mordenita) en la parte superior del depósito, hacia la parte inferior ellas se asocian a la montmorillonita lo que se atribuye a una secuencia de diagénesis de enterramiento con migración de elementos.

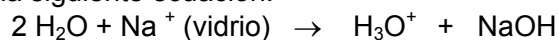


Mineralogía de las menas (principal y subordinada): Los minerales principales de las tobas zeolitizadas son clinoptilolita y mordenita. En Palmarito del Cauto predomina la mordenita. En la propia roca de forma subordinada aparecen esmectita autógena, ópalo-cristobalita (Opal-CT), cuarzo, plagioclasa, calcita, fragmentos de rocas volcánicas, material vítreo inalterado.

Intemperismo: Las tobas zeolitizadas comúnmente resisten el intemperismo, no considerándose que por este proceso se produzcan cambios significantes en el depósito.

Controles de las menas: La granulometría de los materiales vulcanógeno-sedimentarios que constituyen el sedimento que se deposita en la cuenca marina y su composición química inicial. La velocidad de sedimentación y el coeficiente de difusión. La variación del pH que se eleva desde neutro (agua de mar) a alcalino (> 9). Los procesos de hidrólisis y disolución del vidrio volcánico al reaccionar el material vítreo con las soluciones de poro. La actividad del Mg que condiciona la formación de montmorillonita. Las tobas alteradas a montmorillonita tienen con relación a las tobas zeolitizadas una relación SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menor y mayores contenidos de Fe, Ti y Mg. Las tobas de granulometrías más finas que aparecen en las partes superiores del corte tienden a presentar un mayor contenido de zeolitas, disminuyendo éste con la profundidad y el aumento de la granulometría de las tobas.

Modelo genético: Es aceptado que la formación de zeolitas está vinculada a reacciones sin- y postdeposicionales del vidrio volcánico con soluciones alcalinas. La deposición de las tobas ocurrió en un medio marino, indicado por la típica gradación granulométrica de las tobas a lo largo del corte. El agua de poro incluida en los sedimentos tiene en un principio el mismo quimismo que el agua de mar. El componente vítreo de composición medio-ácido y pobre en Mg de las tobas no se encuentra en equilibrio con el agua de poro. Comienza una migración de los elementos en correspondencia con la velocidad de sedimentación y el coeficiente de difusión. El Si es liberado y el Mg es fijado. Bajo estas condiciones se favorece la formación de montmorillonita a partir del vidrio volcánico en medio neutro. La presencia de concreciones piriticas en tobas lapillíticas indican condiciones reductoras durante la diagénesis inicial. La transformación del vidrio volcánico exige una gran necesidad de Mg. Mientras más intensa es la transformación del vidrio volcánico en montmorillonita, mayor será el contenido de Mg en la roca alterada. La formación de la montmorillonita consume los iones Mg que están a disposición. Al disminuir la actividad del Mg, generarse un medio más alcalino y una saturación creciente de la solución en ácido silícico, se alcanzan las condiciones para la formación de las zeolitas. La transformación del vidrio volcánico de composición medio-ácida se inicia con la liberación de NaOH según la siguiente ecuación:



La formación del NaOH condiciona un elevado valor del pH (> 9), que al mismo tiempo favorece una ulterior disolución del vidrio volcánico. Durante la hidrólisis ocurre una migración del Cl y un incremento del K. El Fe permanece casi constante pero es fuertemente oxidado. En lugar del vidrio volcánico se forma pseudomórficamente la clinoptilolita, la composición química del vidrio original cambia poco, aunque hay tendencia al aumento de la Sílice. La mordenita se forma en los espacios de poro a partir de las soluciones residuales y desde ahí altera a la clinoptilolita cuando la temperatura aumenta debido a la profundidad durante el hundimiento de los sedimentos, se estima una temperatura entre 50 y 90 °C para este proceso y una profundidad del hundimiento no mayor de 2000 m, dada por la presencia del ópalo-cristobalita así como por la porosidad elevada de las tobas alteradas. La presencia de las tobas zeolitizadas en las partes altas de los cortes, corresponde al proceso de migración de los elementos durante la diagénesis bajo la acción de las soluciones de poro al hundirse las rocas..



La zonación que se produce en este proceso, tobas alteradas a montmorillonita en la parte baja de los cortes y tobas zeolitizadas en las partes altas ocurre no solo a nivel del corte completo sino también en los ciclos de deposición mas pequeños, que pueden repetirse a lo largo de la secuencia. Localmente pueden observarse zeolitas (clinoptilolita y mordenita) en vetillas que cortan a las tobas zeolitizadas asumiéndose en estos casos un origen hidrotermal posterior.

Tipos de yacimientos asociados: Entre los depósitos que pueden aparecer en la misma área geográfica se incluyen bentonitas y vidrio volcánico.

Comentarios: En Cuba oriental la clinoptilolita es el constituyente principal de los depósitos de zeolitas con excepción del depósito Palmarito del Cauto, donde predomina la mordenita.

### **Guías de exploración**

Características geoquímicas: En la mayoría de los casos las zeolitas sólo pueden ser detectadas positivamente con técnicas analíticas directas como difracción de rayos X, se recomienda en las primeras etapas de prospección la realización del ensayo de  $\Delta T$ , valores mayores que 6 son perspectivas; este ensayo es muy sencillo y exige poca cantidad de muestra (5g) para su realización.

Características geofísicas: algunas áreas de tobas zeolitizadas están vinculadas con anomalías de K, lo que puede ser un criterio muy general y preliminar de prospección.

Otras guías de exploración: terrenos volcánicos donde aparecen potentes secuencias de tobas cuyas características generales son que las tobas pueden ser ligeras, compactas, de colores verde o blanco e higroscópicas.

### **Factores económicos**

Ley y tonelaje: Los contenidos de zeolitas estimados sobrepasan el 60 % del contenido total de la roca, en algunos sectores de los yacimientos pueden alcanzar el 80 %. La capacidad de intercambio catiónico sobrepasa los 100 meq/100 g y puede llegar hasta valores de 150 meq/100 g. Algunos depósitos pueden alcanzar los 100 millones de toneladas y mas.

Limitaciones económicas: Las minas son a cielo abierto. Por el yacimiento Palmarito del Cauto pasa la línea férrea y la carretera a Santiago de Cuba lo que abarata los costos de transportación. Por el yacimiento Caimanes pasa la carretera Moa-Farallones lo que permite un fácil acceso al yacimiento que se ubica a 26 Km de Moa, ya que el costo de transportación es uno de los elementos económicos limitantes principales. El contenido de minerales no zeolíticos en la roca puede limitar algunos usos. La mordenita es considerada por algunos como un mineral asbestiforme, debido a su morfología fibrosa.

Usos finales: Las tobas zeolitizadas de Palmarito del Cauto se han utilizado durante años como materiales puzolánicos en la fábrica de cemento Mariano Merceron de Santiago de Cuba y para la producción de cemento romano, existiendo una planta con ese fin en las inmediaciones de dicho yacimiento. Ensayos de laboratorios y a escala piloto que se han desarrollado con tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes indican excelentes resultados para la remoción de metales pesados (Ni y Co) de efluentes de la metalurgia del Níquel en Moa. Estos ensayos han demostrado también la alta capacidad de las tobas zeolitizadas de Caimanes para la remoción del  $NH_4^+$ . Las tobas zeolitizadas de Caimanes se emplean en el zeopónico del Cupey, Moa.



Importancia: Las tobas zeolitizadas son las únicas fuentes de clinoptilolita y mordenita naturales que tienen amplia utilización en la agricultura y muchos procesos industriales.

## Conclusiones

Se logra establecer un nuevo modelo descriptivo para zeolitas, estableciéndose como subtipo: zeolitas en tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas volcánicas.

## Referencias bibliográficas

- Ariosa, J.D., 2000. La modelación descriptiva de yacimientos minerales en Cuba. Tesis doctoral.
- Coutin, D., A. Brito, 1995. 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.
- Orozco Melgar, G.A., 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 Melgar, G.A., 1989. Mecanismo de alteración del vidrio volcánico a zeolitas y montmorillonita. I Congreso Cubano de Geología, La Habana, Cuba.
- Orozco Melgar, G.A., 1996. Caracterización geólogo-mineralógica del yacimiento de tobas zeolitizadas Caimanes, Moa, Holguín. Minería y Geología, 13(3), 27-35.
- Orozco Melgar, G.A., R. Rizo, 1998. Depósitos de zeolitas naturales de Cuba, Acta Geológica Hispánica, v.33, n° 1-4, p. 335-349.
- Rojas Purón, L.A., 1981. Estudio de la composición mineralógica de las rocas vulcanógeno-sedimentarias alteradas de Palenque. Trabajo de diploma. Facultad de Geología y Minería, ISMM.
- Sheppard, R.A., G.J. Simandi, 1999. Open-system Zeolites; in Selected British Columbia Mineral Deposits Profiles, Volume 3, Industrial Minerals.
- Sheppard, R.A., G.J. Simandi, 1999. Closed-basin Zeolites; in Selected British Columbia Mineral Deposits Profiles, Volume 3, Industrial Minerals.