

## Zeolita – una roca útil

## Zeolite - a useful rock

Vitalii Petranovskii<sup>1\*</sup>, Miguel Ángel Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Nanocatálisis, Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN) – Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).  
Carretera Tijuana-Ensenada, Km 107. Ensenada, B.C. México.

E-mail: [vitalii@cnyun.unam.mx](mailto:vitalii@cnyun.unam.mx)

\*Estancia sabática en el Departamento de Investigación en Zeolitas, BUAP.

<sup>2</sup>Departamento de Investigación en Zeolitas, Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, México. Edificio 103-O, Complejo de Ciencias, Ciudad Universitaria, CP 72570, Puebla, Pue. México.  
2-29-55-00 ext. 7270  
E-mail: [vaga1957@gmail.com](mailto:vaga1957@gmail.com)

### Resumen:

En esta presentación se hace referencia al uso y posibles aplicaciones de las zeolitas naturales con la finalidad de incrementar su producción y consumo, y obtener productos con alto valor añadido. Su futuro está vinculado directamente con nuevas tecnologías sustentables donde este tipo de minerales brillan con luz propia. Actualmente se tienen grandes avances en la adsorción de gases con efecto invernadero utilizando zeolitas erionitas enriquecidas con nanodepositos de cationes monovalentes las cuales actúan específicamente frente a estos gases. Otra línea muy prolífica es la regeneración de tejidos por el uso de fases activas eficientes, que están depositadas en el área externa de cierto tipo de materiales zeolíticos con nanoporos. La nanotecnología aplicada, utilizando estos materiales, es un tema recurrente en esta presentación, ya sea como un soporte de catalizador, como la regeneración de tejidos o de un intercambiador de iones adecuado para su uso en plantas de tratamiento de aguas en las zonas de alta marginación. Las zeolitas utilizadas en nuestro Departamento de Investigación en Zeolitas proceden de distintos yacimientos ubicados en la República Mexicana, estas zeolitas son del tipo erionita, mordenita, epistilbita y clinoptilolita. Un aspecto muy importante de estos materiales es que no aparecen hasta ahora en los registros mexicanos de materiales no metálicos como materiales importantes para la industria.

**Palabras clave:** zeolitas naturales; aplicaciones; usos médicos; tratamiento de aguas; adsorción.

### Summary:

This presentation relates to the use and potential applications of natural zeolites in order to increase their production and consumption, and to obtain products with high added value. Their future is directly linked to new sustainable technologies, where these minerals glow with own light. Currently there are breakthroughs in the adsorption of greenhouse gases, using erionite zeolites, enriched with nanodeposits of monovalent cations those act specifically against these gases. Another very prolific line is tissue regeneration by using efficient active phases; those are deposited in the outer area of certain zeolite type materials with nanopores. Applied nanotechnology, using these materials, is a recurring theme in this presentation, whether as a catalyst support, such as regenerating tissue or a suitable ion exchanger for use in water treatment plants in areas of high deprivation. The zeolites used in our Department of Zeolite Research are from different Mexican deposits; these are the erionite, mordenite, clinoptilolite and epistilbite type zeolites. A very significant aspect of these materials is that they are not listed until now in the Mexican records of non-metallic materials as important materials for industry.

**Key words:** natural zeolites; applications; medical uses, water treatment; adsorption.



## 1. Introducción.

Integrando la información disponible a finales del siglo XX sobre el uso de las zeolitas naturales, el famoso científico estadounidense Dr. Frederick Mumpton nombró su artículo “La roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry” (Mumpton, 1999). Para su tiempo este artículo fue visionario, abriendo los ojos de la industria a las propiedades únicas y sorprendentes de las zeolitas naturales.

Tras 15 años de estudios intensos, actualmente las zeolitas han encontrado aplicaciones nuevas, mucho más amplias y desarrolladas. Hoy en día sus propiedades no se consideran magia, debido a que sus nuevas aplicaciones han sido basadas en resultados de estudios científicos. Entre todos los colaboradores que han trabajado en esta área, se encuentran científicos de la BUAP, del Departamento de Investigación en Zeolitas del Instituto de Ciencias de la BUAP.

Como sucede frecuentemente en la tecnología, las zeolitas se comenzaron a usar mucho antes de descubrir su verdadera naturaleza. En la figura 1 podemos observar la fachada de la Catedral de Nuestra Señora de la Asunción en la ciudad de Oaxaca, México, la cual empezó a fungir como tal en el año 1640. El término “zeolita” fue acuñado mucho más tarde, en 1756, por el mineralogista sueco Axel Fredrik Cronstedt, quien observó que al calentar rápidamente el material de estilbita, éste produjo grandes cantidades de vapor de agua. Después de dos siglos, el mencionado Dr. Mumpton publicó en 1973 el artículo titulado “Primera ubicación reportada de zeolitas en rocas sedimentarias de México” (Mumpton, 1973), refiriéndose al yacimiento de Etna, Oaxaca, México, del cual proviene la roca de cantera zeolítica, utilizada en la construcción de la Catedral de esta ciudad.



Figura 1. Catedral de Oaxaca, construido de “cantera verde”, proveniente de Etna

La utilización más antigua de zeolitas es, sin duda, la construcción; considerada también el uso más importante en cuanto a la cantidad de material empleado. Una estimación reciente, es del orden de unas 107 toneladas por año (Colella, 2007). Esta valoración se realizó en varios países, incluyendo, Alemania, China, Cuba, EE.UU., España, Italia, Japón, Jordania, México, Rusia, Serbia. Sin embargo, no es el único campo de aplicación de zeolitas; su producción anual para el año 2012 en varios países está presentada en la figura 2 de acuerdo con los datos de Borsatto y col., 2012. Se estima que la producción mundial se encuentra en el intervalo de 2,5 a 3 millones de toneladas por año, en base a los informes estadísticos presentados por los principales productores. De esos datos se sabe que cerca de 1/3 parte de la zeolita natural producida en el mundo se aplica como una piedra de construcción.

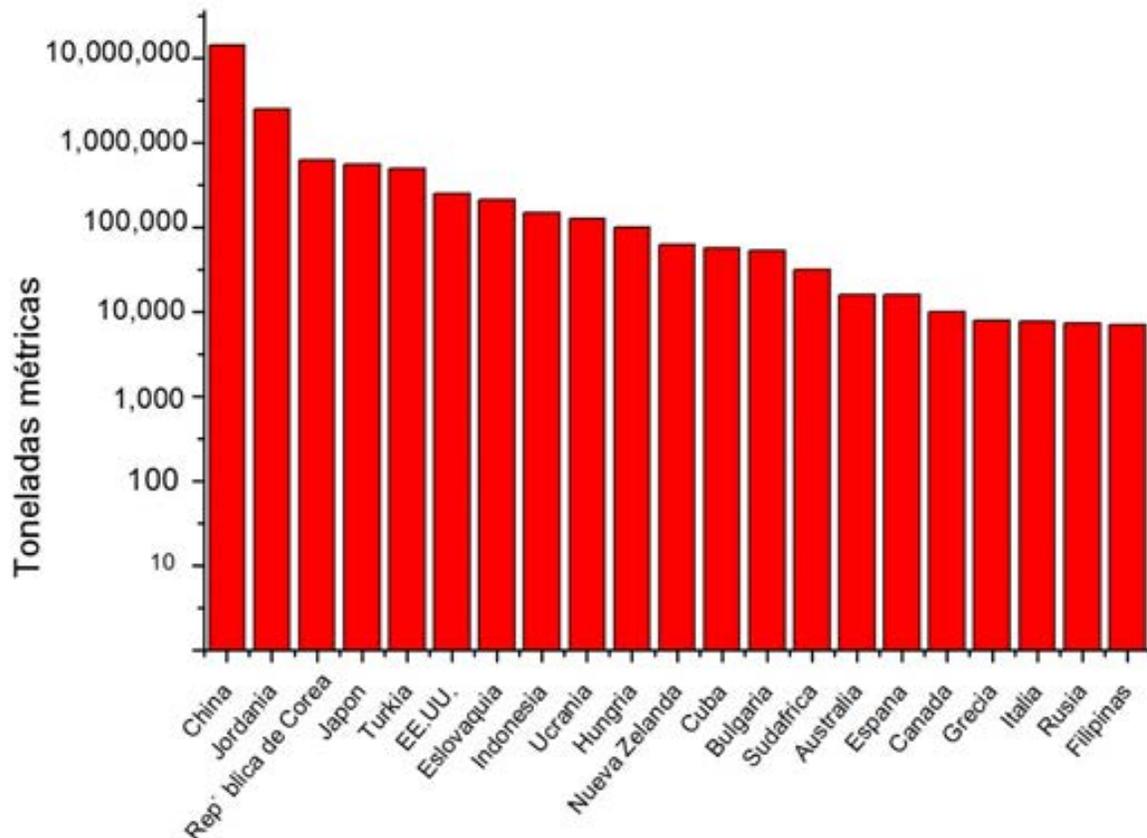


Figura 2. Países productores de zeolitas naturales; datos de Borsatto y col., 2012.

La variedad de los posibles usos de las zeolitas naturales se deriva de su alto potencial como intercambiadores iónicos, adsorbentes y tamices moleculares. Una aplicación más conocida es la eliminación de metales pesados y otros cationes en agua potable o contaminada o en aguas residuales. Las zeolitas naturales juegan un papel importante en la agricultura, ya que se utilizan para mejorar tierras cultivables, potenciar los componentes químicos y abonos orgánicos así como los sustratos zeopónicos para el desarrollo de las plantaciones. También se utilizan en la industria de ganado, comúnmente como aditivo alimenticio.

Se ha demostrado que las aplicaciones de este mineral natural son numerosas, en consecuencia se observa que se ha obtenido mayor atención mundial del sector empresarial interesado en el desarrollo de productos y tecnologías basadas en zeolitas naturales. Como resultado, hay una tendencia en todo el mundo para aumentar la producción y consumo de zeolitas naturales a fin de poder realizar investigación enfocada en el desarrollo de productos de alto valor añadido. El futuro de las zeolitas naturales parece estar relacionado con la sustentabilidad y tecnologías que respeten al medio ambiente. En tal escenario, las zeolitas naturales se destacan como productos importantes para el desarrollo de nuevas tecnologías verdes (Borsatto y col., 2012). Algunas aplicaciones existentes de las zeolitas se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Los campos de aplicación de zeolitas naturales y sintéticas

1. Construcción	1.1. Piedra de cantera 1.2. Particiones ligeros 1.3. Paredes resistentes al fuego
2. Materiales de construcción	2.1. Astringentes de puzolana y cemento 2.2. Producción de hormigón de yeso; paneles de yeso resistentes al agua 2.3. Anti-aglomerantes de los materiales de construcción. 2.4. La producción de hormigones especiales y mezclas de inyección 2.5. La producción de pinturas y barnices 2.6. Ladrillos cerámicos 2.7. Aislamiento térmico y auditivo 2.8. Tabiques ligeros 2.9. Tabiques incombustibles 2.10. Fortalecedores de cemento 2.11. Componente del cemento
3. Industria química	3.1. Reactivos químicos 3.2. Filtros 3.3. Cromatografía 3.4. Deshumidificadores de gases 3.5. Prolongador de acciones de los productos químicos 3.5. Desecantes
4. Petroquímica	4.1. Catalizadores 4.2. Desalación y deshidratación de petróleo crudo
5. Industria del gas natural	5.1. Deshidratación de gas
6. Energéticos	6.1. Secado de aceites de transformadores 6.2. Limpieza y regeneración de aceites de energía 6.3. Preparación de agua para calderas y calentadores de agua
7. Industria de pulpa, papel y materiales pelliculares	7.1. Relleno de refuerzo de cuero sintético 7.2. Relleno de refuerzo de papel 7.3. Cartón de tara para las frutas
8. Industria atómica	8.1. Captura y retención de radionúclidos 8.2. La filtración y adsorción
9. Industria alimenticia	9.1. Antiséptico para el almacenamiento de verduras, frutas etc. 9.2. Conservador 9.3. Absorbentes de olores en la refrigeración industrial 9.4. Suplementos nutricionales 9.5. Limpieza de líquidos alimenticios.
10. Agricultura	10.1. Cultivos 10.1.1. Producción de fertilizantes orgánicos. 10.1.2. Producción de fertilizantes <u>organo-minerales</u> . 10.1.3. Producción de fertilizantes nitrogenados 10.1.4. Ablandamiento de materiales en la producción de fertilizantes y mezclas de fertilizantes 10.1.5. Suplementos minerales en el suelo de invernaderos para las flores, las plantas de semillero, las plántulas 10.1.6. <u>Sustratos zeopónicos</u> 10.2. Ganado 10.3. Tratamiento de efluentes de granjas ganaderas y avícolas 10.4. Aves de corral 10.5. Suplementos nutricionales para animales y aves. 10.6. Producción de alimentación combinada y premezclada 10.7. La piscicultura
11. La Industria de productos para animales	11.1. Rellenos sanitarios para animales domésticos 11.2. Fabricación de alimentos para mascotas 11.3. Producción de suelo y filtros para acuarios 11.4. Arena para bañar las chinchillas
12. Bienes de consumo	12.1. Agentes contra los insectos domésticos 12.2. Perfumes secos 12.3. Desodorantes 12.4. Saborizantes/Aromatizantes 12.5. Deshumidificadores de zapatos 12.6. Absorbentes de olores 12.7. Detergentes 12.8. Pasta de dientes (zeolita como agente de pulido) 12.9. Polvos compactos en maquillaje
13. Abastecimiento de agua y saneamiento	13.1. <u>Sorbentes</u> para la purificación del agua a partir de compuestos de nitrógeno, hierro, manganeso, isótopos radiactivos, petróleo 13.2. Reducción de la dosis de coagulantes, floculantes 13.3. Reducción de aluminio residual 13.4. Ablandamiento del agua 13.5. Purificación de aguas residuales a partir de compuestos de nitrógeno, plomo, azufre, cromo, aluminio, zinc, hierro
14. Suministro de agua.	14.1. Purificación de agua potable 14.2. Purificación de agua en circulación
15. Ecología	15.1. Purificación de agua y suelo de, metales pesados como cesio, estroncio 15.2. La purificación del agua y suelo ante derrames de

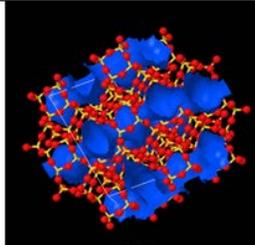
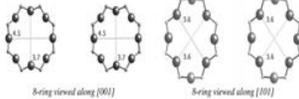
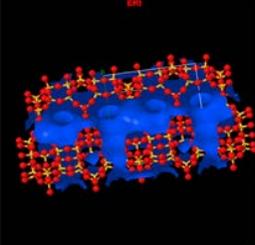
	<p>petróleo y/o productos químicos peligrosos</p> <p>15.3. Eliminación de las emisiones a la atmósfera y gases asociados</p> <p>15.4. Limpieza de estanques, piletas, pozos</p> <p>15.5. Eliminación de olores</p> <p>15.6. Tratamiento de aguas residuales</p> <p>15.7. Limpieza de las cuencas hidrográficas</p> <p>15.8. Rehabilitación y restauración de suelos</p> <p>15.9. Eliminación de los daños causados por las instalaciones de transporte</p>
16. Medicina	<p>16.1. Purificación de la insulina</p> <p>16.2. Purificación de la sangre</p> <p>16.3. Estomatología</p> <p>16.4. Medicinas gástricos</p> <p>16.5. Tratamiento para la piel</p> <p>16.6. Anti-cancerígeno</p>
17. Las zeolitas naturales en aplicaciones espaciales	<p>17.1. Las siguientes posibles aplicaciones principales son reconocidos en misiones espaciales:</p> <p>17.1.1. Zeopónicos, es decir, los cultivos de plantas en sustratos de zeolita</p> <p>17.1.2. Reciclaje de aguas residuales</p> <p>17.1.3. Separación de gases y su purificación</p>

## 2. Nuevos Desarrollos en la BUAP para introducir usos inteligentes de las zeolitas naturales

El departamento de Investigación de Zeolitas del ICUAP contempla el uso y aplicación de las zeolitas en diversas áreas del conocimiento y sobre todo el enfoque que este tipo de materiales tenga en el sector industrial. Para ello tenemos contempladas las siguientes áreas de aplicación: Catálisis, Adsorción, Modificaciones estructurales, Sector agropecuario, y Aplicaciones tecnológicas.

Las zeolitas naturales estudiadas en nuestro Departamento son: erionita, clinoptilolita, mordenita y epistilbita, Tabla 2. Cada una de ellas proviene de yacimientos ubicados en diferentes zonas de México, por ejemplo las zeolitas erionitas son de yacimientos ubicados en Agua Prieta, Sonora, aunque reportes recientes nos indican que este tipo de zeolitas han sido detectados en una población del Edo. de Guanajuato llamada Tierra Blanca de Abajo (Ilgren y col., 2008). Otra de las zeolitas la llamada epistilbita, estas rocas zeolíticas o tobas provienen de yacimientos ubicados en Zapopan, Jalisco. Por su parte las zeolitas mordenitas provienen de yacimientos ubicados en la población de Chalma en el Estado de México y en Cruillas, en el Estado de Tamaulipas (Hernández y col., 2005). Finalmente las zeolitas clinoptilolitas son las más abundantes debido a que existen reportes de que yacimientos de estas zeolitas se encuentran en San Juan Atzinco, San Gabriel Chilac, San Juan Raya, San Diego Chalma, Chinantla y Chiautla de Tapia, todos ellos en el estado de Puebla, ver Tabla 3. Sus usos son variados sin embargo en nuestro laboratorio las estamos aplicando principalmente en la adsorción de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , compuestos orgánicos volátiles (COVs), regeneradores de tejido, en tratamientos de aguas, en la formulación de medicamentos para tratamiento de colesterol, control de niveles de glucosa en sangre y en los suelos para cultivos zeopónicos. En la Tabla 3 están reportados yacimientos de zeolitas naturales en México.

Tabla 2. Detalles estructurales de zeolitas estudiadas en la BUAP.

Nombre	Celda unitaria	Detalles de los canales
<u>Epistilbita</u>		<p>Crystal chemical data: <math>\text{K}_2(\text{H}_2\text{O})_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7]\text{EPI}</math> monoclinic, <math>C2/m</math> <math>a = 9.08\text{\AA}</math>, <math>b = 17.74\text{\AA}</math>, <math>c = 10.25\text{\AA}</math>, <math>\beta = 124.54^\circ</math></p> <p>Framework density: <math>17.6 \text{ T}/1000\text{\AA}^3</math></p> <p>Channels: <math>[001] 8 \ 3.7 \times 4.5 \leftrightarrow [100] 8 \ 3.6 \times 3.6^{**}</math> (The 8-ring along [100] is tilted and has its normal along [101]).</p>  <p><i>8-ring viewed along [001]</i>      <i>8-ring viewed along [101]</i></p>
<u>Erionita</u>		<p><math>[(\text{Ca}, \text{Na})_2]_2 \text{K}_2 (\text{H}_2\text{O})_{24} [\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7]\text{-ERI}</math> hexagonal, <math>P6/mmc</math>, <math>a = 13.27\text{\AA}</math>, <math>c = 15.05\text{\AA}</math> <sup>(3)</sup></p> <p><math>15.7 \text{ T}/1000\text{\AA}^3</math></p> <p><math>\perp [001] 8 \ 3.6 \times 5.1^{***}</math></p>  <p><i>8-ring viewed normal to [001]</i></p>

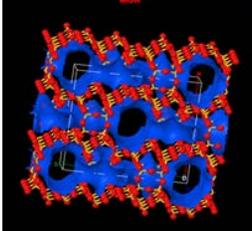
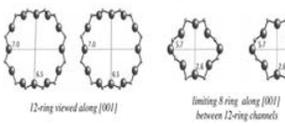
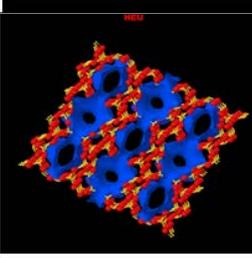
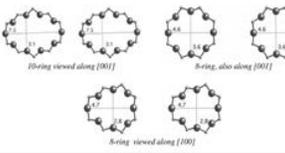
Mordenita		<p>Crystal chemical data: <math>\text{Na}_4(\text{H}_2\text{O})_2[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}]\text{MOR}</math> orthorhombic, <math>\text{Cmcn}</math>, <math>a = 18.1 \text{ \AA}</math>, <math>b = 20.5 \text{ \AA}</math>, <math>c = 7.5 \text{ \AA}</math><sup>(1)</sup></p> <p>Framework density: <math>17.2 \text{ T/1000 \AA}^3</math></p> <p>Channels: <math>[001] 12.65 \times 7.0^\circ \leftrightarrow [100] 8.26 \times 5.74^\circ</math></p>  <p>12-ring viewed along [001]      limiting 8-ring along [001] between 12-ring channels</p>
Clinoptilolita		<p>Crystal chemical data: <math>\text{K}_2(\text{H}_2\text{O})_2[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}]\text{HEU}</math> monoclinic, <math>\text{Cm}</math> <math>a = 17.716 \text{ \AA}</math>, <math>b = 17.897 \text{ \AA}</math>, <math>c = 7.428 \text{ \AA}</math>, <math>\beta = 116.42^\circ</math><sup>(2)</sup></p> <p>Framework density: <math>17.1 \text{ T/1000 \AA}^3</math></p> <p>Channels: <math>[001] 18.3 \times 7.3^\circ \leftrightarrow 8.3 \times 4.6^\circ \leftrightarrow [100] 8.28 \times 4.7^\circ</math> (variable due to considerable flexibility of framework)</p>  <p>10-ring viewed along [001]      8-ring, also along [001] 8-ring viewed along [100]</p>

Tabla 3. Yacimientos de zeolitas naturales en México

Estado	Población	Fases cristalinas presentes
Oaxaca	<u>Etla</u>	HEU; MOR; Q
	<u>La Magdalena</u>	MOR; K
Sonora	San Juan Guaymas	HEU; Q
	Agua Prieta	ERI; CHA
	La Palma	CHA
	Divisaderos	HEU; MOR; Q
	<u>Chinantla</u>	HEU; Q
	<u>Atzinco</u>	HEU; Q
	<u>Tetela</u>	HEU; Q
Baja California	Vizcaíno	HEU; Q
Tamaulipas	<u>Cruillas</u>	MOR
Michoacán	El Viejo	MOR
	<u>Tumbiscatio/Apo</u>	MOR
Jalisco	Zapopan	EPI
San Luis Potosí	Villa de Reyes	HEU; Q
	Escalenillas	HEU; Q
Zacatecas	San Lucas	HEU; Q
Chihuahua	Cerro Prieto	HEU; Q
Guanajuato	<u>Tlalco</u>	HEU; MOR; Q
	Tierra Blanca de Abajo	HEU; MOR; Q

Siendo: Mor = mordenita, HEU = clinoptilolita, EPI = epistilbita, CHA = chabasita, Q = cuarzo y K = caolinita.

## 2.1. Adsorción de $\text{CO}_2$ en zeolitas naturales de México

El calentamiento global de nuestro planeta es causado, esencialmente, por la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero tales como  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y otros (Rojas y col., 2011). Como parte de los esfuerzos para reducir la concentración de estos gases, se han comenzado a utilizar adsorbentes microporosos para remover selectivamente el  $\text{CO}_2$  (u otro tipo de gas contaminante) de mezclas gaseosas emitidos por fuentes móviles o estacionarias. La liberación de  $\text{CO}_2$  desde plantas de energía eléctrica ocasionada por el quemado de combustibles fósiles es una fuente mayor de contaminación de la atmósfera por  $\text{CO}_2$  (Hernández y col., 2010a). En este caso, la adsorción de gases puede jugar un papel decisivo para lograr la separación, purificación o captación selectiva de gases y ser una alternativa para atrapar el  $\text{CO}_2$  emitido (Ackley y col., 2003).

La adsorción de gases con efecto invernadero en zeolitas naturales ha sido tema de estudio en nuestro laboratorio desde hace varios años (Hernández y col., 2010b). Recientemente estamos trabajando con nanodepositos de cationes en este tipo de zeolitas con la finalidad de incrementar la capacidad de adsorción de estos nanomateriales frente a gases en condiciones dinámicas. Los resultados son y han sido prometedores desde el inicio en virtud de que los materiales obtenidos cumplen con los requisitos que marca la nanotecnología: Altas superficies específicas disponibles, efectos cuánticos que generan altas energías, los fenómenos que ocurren se realizan en tres dimensiones y sobre todo que existe una gran disposición, pureza y accesibilidad de los yacimientos, Figura 3, hasta ahora detectados y estudiados en nuestro Departamento de Investigación en Zeolitas de la ICUAP-BUAP.



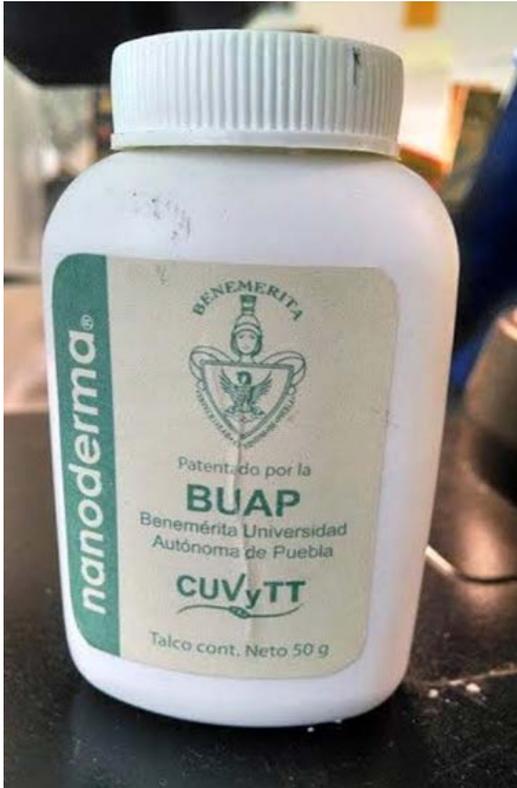
Figura 3. Yacimientos de zeolitas en Etna, Oaxaca, México.

Los sólidos microporosos como las zeolitas naturales o sintéticas, son sustratos excelentes para atrapar fuertemente diversos gases en su interior. Estudios recientes han demostrado, por ejemplo, que las zeolitas 13X y 4A pueden adsorber  $\text{CO}_2$  a temperatura ambiente con preferencia al  $\text{H}_2$  y  $\text{N}_2$ . Zeolitas del tipo erionita y mordenita, tanto naturales como sintéticas, ya han sido utilizadas para adsorber  $\text{CO}_2$ . Otros estudios sobre zeolitas se han concentrado en la adsorción de gases con moléculas no polares o cuadrupolares, tomando en cuenta el potencial de interacción adsorbible-adsorbente. La adsorción de gases en zeolitas cristalinas microporosas es la base de muchos procesos de purificación y separación de mezclas gaseosas. Las zeolitas de los tipos epistilbita, clinoptilolita, mordenita y erionita se encuentran en vetas naturales de gran extensión en México y ofrecen la posibilidad de atrapar gases de baja masa molecular tales como el  $\text{CO}_2$ . Una característica distintiva de las zeolitas deshidratadas, en su desempeño como adsorbentes microporosos es la presencia tanto en sus canales como en sus cavidades de cationes ( $\text{M}^+$ ) compensatorios de la excesiva carga negativa de su esqueleto de aluminosilicato. Las interacciones de las moléculas adsorbidas con los centros de adsorción en zeolitas, que convencionalmente se llaman interacciones electrostáticas, se añaden a las interacciones provenientes de las fuerzas de dispersión, conduciendo de esa forma a la existencia de una considerable energía de adsorción en los sustratos zeolíticos (Hernández y col., 2014a).

Las zeolitas naturales, en contraparte a las zeolitas sintéticas, están constituidas principalmente de dos tipos de porosidad: i) porosidad primaria, atribuible a la presencia de microporos y ii) porosidad secundaria, debida a los mesoporos. La matriz sólida insertada entre las partículas mesoscópicas de estos sólidos ocasiona la presencia de mesoporos. La porosidad secundaria que normalmente acompaña a las zeolitas naturales, permite que en ellas se realicen fenómenos muy importantes como la adsorción de moléculas relativamente grandes, y juegan un papel muy importante en procesos específicos como la difusión y la catálisis heterogénea. Las zeolitas naturales son de origen volcánico y por lo tanto existen en grandes cantidades en zonas geológicas con intensa actividad volcánica.

## 2.2. Materiales híbridos para regeneración de tejido.

Registrado en la solicitud de patente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), con el número MX/a/2012/006381, y la denominación “Material híbrido para tratar pacientes con úlceras de pie diabético”, figura 4, el talco para pie diabético llamado “Nanoderma” ha sido desarrollado en el Departamento de Investigaciones en Zeolitas del Instituto de Ciencias de la BUAP (ICUAP), que elaboró un material a base de zeolitas, cuyas bondades han sido demostradas para tratar úlceras y heridas de pacientes con pie diabético (Hernández y col., 2010c). Tras varios años de investigación y demostradas sus propiedades curativas en el campo experimental, el talco para pie diabético representa la primera venta tecnológica patentada por la BUAP, para el tratamiento de heridas y úlceras -una de las complicaciones más comunes de diabéticos que deriva en la amputación de una o ambas extremidades-, que está en el mercado.



Este producto está respaldado científica y experimentalmente, y una vez que se otorgue la patente, el talco para pie diabético, conocido como “polvos mágicos” por quienes han experimentado sus propiedades sanativas, representa la primera transferencia tecnológica de la BUAP: un producto que hoy no tiene similar en el mercado. El pie diabético es la infección, ulceración o destrucción de los tejidos profundos relacionados con alteraciones neurológicas y distintos grados de enfermedad vascular periférica en las extremidades inferiores, provocado por insuficiencia arterial, frecuente en diabéticos debido al daño que sufren los vasos sanguíneos. La diabetes mellitus, uno de los problemas de salud pública más importante en el país, es la causa más recurrente de amputaciones de miembros inferiores de origen no traumático. Se estima que una cuarta parte de los diabéticos presenta afectación cardiovascular o insuficiencia arterial, lo que provocará la amputación de una o ambas piernas, según el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). En el campo experimental, un equipo de la Facultad de Enfermería de la BUAP aplicó el talco para pie diabético en pacientes con ulceraciones, con resultados satisfactorios en la cura y regeneración del tejido, figura 5. Hoy se puede afirmar que no existe otro producto similar en el mercado, respaldado con investigaciones científicas, capaz de sanar heridas y ulceraciones en pie diabético. Producido a partir de zeolitas y el extracto de una planta, el talco fue desarrollado a partir de la formación de nanopartículas orgánicas depositadas en sistemas nanoporosos a base de zeolitas naturales, sintéticas y en algunas arcillas, obteniendo así el citado talco. Desde el punto de vista clínico, las investigaciones permitieron elaborar un producto de bajo costo que hasta ahora ha mostrado su eficacia en el tratamiento del pie diabético, lo cual representa grandes beneficios sociales, dado el elevado índice de pacientes con esta enfermedad, ya que de acuerdo con el INSP la prevalencia en la población mexicana es de 14.4 por ciento, es decir 14 millones de personas sufren esta enfermedad y 74 mil mueran cada año por esa causa.

Figura 4. Talco Nanoderma, primer producto de desarrollo tecnológico en la BUAP, basado en zeolitas.



Figura 5. Curación de la ulcera con talco “Nanoderma”.

### 2.3. Diseño y construcción de plantas zeolíticas para tratamiento de aguas en zonas de alta marginación.

En este proyecto de investigación se planteó la Construcción, diseño y montaje de una planta piloto zeolítica apropiada para tratar aguas contaminadas de comunidades en extrema pobreza de la zona mixteca de Puebla, México; la caracterización de zeolitas específicas para la planta zeolítica de origen natural provenientes de distintas zonas ubicados en los Estados de Puebla y Oaxaca, México y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar la calidad de los pozos de la zona RH-18 con el fin de hacer una evaluación cualitativa y cuantitativa de estos pozos. La tecnología desarrollada para la modificación de zeolitas naturales en el tratamiento de aguas contaminadas, ha sido aplicada para que aguas tratadas cumplan con los parámetros establecidos por las normas vigentes para uso y consumo humano; adecuadas para satisfacer las demandas de agua a bajo costo en localidades que se encuentran en la mixteca poblana, en la región hidrológica perteneciente al río Balsas, subcuenca del río Atoyac, Puebla, México.

Con base en los resultados de las etapas anteriores, se diseñó un prototipo en acero inoxidable para el tratamiento de las aguas de los pozos, Figura 6. El prototipo basa su funcionamiento en la capacidad de intercambio iónico y adsorción de las zeolitas naturales modificadas, el cuál es un eficiente método para tratar aguas contaminadas. El funcionamiento de la planta piloto se ha realizado en el laboratorio en su primera etapa para montarse posteriormente en un remolque y se prueba con agua del lago de ciudad universitaria de la BUAP. Se han realizado los experimentos necesarios que permitieron tratar las aguas de la región y entregarles como producto final agua potable para uso y consumo humano.



Figura 6. Vista lateral de la planta zeolítica, la cual contempla: a) generador de corriente eléctrica, b) inyección de los reactivos específicos para la coagulación-floculación, c) el intercambio de las especies iónicas y la filtración en carbón activado del agua contaminada.

### 3. Conclusiones

La variedad de los posibles usos de las zeolitas naturales se deriva de su alto potencial como intercambiadores iónicos, adsorbentes y tamices moleculares en un gran número de procesos. La gran mayoría de las zeolitas para que sean aplicables en distintas áreas de la industria deben reunir ciertos requisitos pero además deben ser/estar en sitios accesibles y tener una pureza aceptable. Un gran reto se avecina para las nuevas generaciones en virtud de que la aplicación de las zeolitas naturales en la industria mexicana es cercana a nula. Por lo tanto es una nueva oportunidad para las nuevas generaciones quienes pueden convertir a México en un país con un excelente desarrollo en esta temática, sobre todo considerando el gran número de yacimientos reportados y no reportados de este tipo de minerales.

### Referencias

- Ackley, M. W., S. U. Rege, H. Saxena. Application of natural zeolites in the purification and separation of gases. *Micropor. Mesopor. Mater.* 61(1-3):25-42, (2003).
- Borsatto, F., V. J. Inglezakis, Chapter: "Natural zeolite markets and strategic considerations", in: "Handbook of natural zeolites", Editors: V. J. Inglezakis and A. A. Zorpas, Bentham Science Publishers, Sharjah, United Arab Emirates, 2012, pp. 11-27.
- Colella, C., Natural zeolites and environment. *Stud. Surf. Sci. Catal.* 168:999-1035, (2007).
- Hernández, M. A., F. Rojas, L. Corona, V. Hugo Lara, R. Portillo, M. A. Salgado, V. Petranovskii. Evaluación de la porosidad de zeolitas naturales por medio de curvas diferenciales de adsorción. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21(2):71-81, (2005).
- Hernández, M. A., R. Portillo, M. A. Salgado, F. Rojas, V. Petranovskii, G. Pérez, R. Salas. Comparación de la Capacidad de Adsorción de CO<sub>2</sub> en Clinoptilolitas Naturales y Tratadas Químicamente. *Superficies y Vacío* 23(S):67-72, (2010a).
- Hernández, M. A., R. Portillo, F. Rojas, F. Hernández, M. A. Salgado. Adsorption of CO<sub>2</sub> on Homoionic and Dealuminated Clinoptilolite Zeolites. En "8th International Conference on the Occurrence, Properties, and Utilization of Natural Zeolites", Editors: O. Petrov and Y. Tzvetanova, Bulgaria, p. 109 (2010b).
- Hernandez, M. A., F. Rojas, M. A. Salgado. Nanopore Organic-Inorganic Hybrid Materials with Properties of Cell Regeneration: Physicochemical and Morphological Characterization. *Proc. Mater. Res. Soc.* 487(1):1530-1536, (2010c).
- Hernández, M. A., F. Rojas, R. Portillo, M. A. Salgado, E. Rubio, A. Sánchez, S. Ruíz. Nanoporosity in Na, Ca and Mg Exchanged Erionite. *J of Nanotechnology*, Enviado (2014a).
- Hernández, M. A., F. Rojas, R. Portillo, M. A. Salgado, L. Corona. Nanoporosity and Dealuminated Zeolites from Mexico. In "Zeolite 2014 – 9th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites" Belgrade, Serbia, p. 95 (2014b).
- Ilgren E. B., F. D. Pooley, J. C. Larragoitia, M. Talamantes, G. L. Navarrete, E. Kraus, A. F. Breña. First confirmed erionite related mesothelioma in North America. *Indoor and Built Environ.* 17(6):567-568, (2008).
- Mumpton, Frederick A. First Reported Occurrence of Zeolites in Sedimentary Rocks of Mexico, *Amer. Mineralogist.* 58:287-290, (1973).
- Mumpton, Frederick A. La roca mágica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96(7):3463-3470, (1999).
- Rojas, F., I. Kornhauser, G. Aguilar, R. Portillo, M. A. Hernández, "Adsorción de CO<sub>2</sub> sobre Erionita natural o intercambiada con iones Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> y H<sup>+</sup>". Capítulo en "Contaminación atmosférica y tecnologías de Cero emisiones de Carbón". Editores: L. García-Colín y J. R. Varela Ham, Universidad Autónoma Metropolitana; ISBN 978-607-477-504-4, México, pp. 33-54 (2011).

